



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/08.10.18.21-TDI

**MODELAGEM DE MUDANÇA DO USO DA TERRA NA
AMAZÔNIA: EXPLORANDO A HETEROGENEIDADE
INTRARREGIONAL**

Ana Paula Dutra de Aguiar

Tese de Doutorado do Curso de
Pós-Graduação em Sensoriamento
Remoto, orientada pelo Dr. Gil-
berto Câmara, aprovada em 08 de
junho de 2006.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/08.10.18.21>>

INPE
São José dos Campos
2012

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

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

Presidente:

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

Membros:

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

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

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

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

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

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

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

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

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

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

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



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/08.10.18.21-TDI

**MODELAGEM DE MUDANÇA DO USO DA TERRA NA
AMAZÔNIA: EXPLORANDO A HETEROGENEIDADE
INTRARREGIONAL**

Ana Paula Dutra de Aguiar

Tese de Doutorado do Curso de
Pós-Graduação em Sensoriamento
Remoto, orientada pelo Dr. Gil-
berto Câmara, aprovada em 08 de
junho de 2006.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/08.10.18.21>>

INPE
São José dos Campos
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Aguiar, Ana Paula Dutra de.

Ag93m Modelagem de mudança do uso da terra na amazônia: explorando a heterogeneidade intrarregional / Ana Paula Dutra de Aguiar. – São José dos Campos : INPE, 2012.

xxiv + 182 p. ; (sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/08.10.18.21-TDI)

Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

Orientador : Dr. Gilberto Câmara.

1. Amazônia. 2. desflorestamento. 3. modelagem de mudança de uso da terra. 4. CLUE. 5. estatística espacial. 6. sensoriamento remoto. I.Título.

CDU 528.855(811)

Copyright © 2012 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2012 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

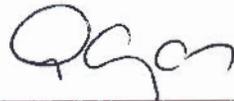
Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Doutor(a)** em
Sensoriamento Remoto

Dr. Dalton de Morisson Valeriano



Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Gilberto Câmara



Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Corina da Costa Freitas



Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Maria Isabel Sobral Escada



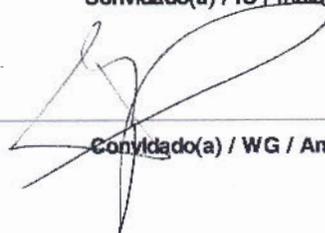
Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Emilio Frederico Moran



Convidado(a) / IU / Indianapolis - EUA

Dr. Antonie Veldkamp



Convidado(a) / WG / Amsterdam - NL

Aluno (a): **Ana Paula Dutra de Aguiar**

São José dos Campos, 08 de junho de 2006

“Nada é menos real que o realismo... Detalhes são confusos. É apenas por seleção, por eliminação, por ênfase que se chega ao verdadeiro significado das coisas”.

Georgia O'Keeffe, 1922

*Dedico a meus filhos,
José Guilherme e Ana Elisa.
Tudo é uma questão de saber escolher,
dar ênfase às coisas certas.
E transformar pedras e ossos em arte...*

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial a duas pessoas: ao Gilberto, a quem eu devo muito mais do que este Doutorado, e que sempre confiou em mim. E a minha amiga e colega Isabel, que com seu bom senso e serenidade tanto me ensinou e ajudou. Agradeço ao Miguel, não apesar, mas justamente pelas nossas divergências, que me fizeram refletir e ter certeza do caminho a seguir. Aos meus demais companheiros de grupo, Silvana, Tiago, Felix e Luciana, pelo apoio, troca construtiva de ideias, e amizade. Que a gente continue trabalhando junto por muito tempo! Ao Dalton, pelas sugestões e ideias. Agradeço ao Kasper, por tudo que me ensinou. E ao Diógenes, por ter me aberto os olhos para as coisas que deviam ser enfatizadas.

Agradeço ao Cartaxo, Lúbia e todo o pessoal da Terralib, pelo apoio no desenvolvimento de software. Ao Simeão e ao Consórcio ZEE/Brasil pelo banco de dados da Amazônia. À equipe do CLUE em Wageningen por ter cedido o código para que pudéssemos adaptá-lo para a Amazônia.

Agradeço à Rede de Pesquisa GEOMA que financiou parcialmente esta pesquisa. E aos colegas do GEOMA, em especial aos companheiros do Museu Goeldi, INPA e EMBRAPA nos trabalhos de campo, pela experiência e ótimos momentos. E, como uma pequena homenagem, agradeço às pessoas ligadas à Comissão Pastoral da Terra que conheci na Amazônia, em especial o Manu e o Tarcísio, que tanto me impressionaram pelo exemplo de desprendimento e dedicação aos outros.

Agradeço à Etel, e a todos os professores e coordenadores da Pós Graduação. Aos colegas de curso (e de “infortúnio”), em especial ao Fábio e Eduardo, pelo bom humor e companheirismo nas intermináveis listas de exercício... Ao Cláudio, por ser tão prestativo sempre. À Helen, Luciana, Dinha e todas as secretárias da OBT, pela ajuda e delicadeza. Ao Maurício pela tradução da tese para o Português.

Agradeço muito a meus pais pela ajuda com as crianças, e principalmente pelo incentivo e apoio incondicional, mesmo quando achavam que eu estava errada... Às minhas irmãs e cunhados, por todo o carinho e amizade (e chopes no Heinz!!!). Em especial minha

querida Cecília, que esteve tão presente mesmo tão distante. Às minhas sobrinhas, Lulu, Lele, Bibi, por alegrar nossas vidas. Agradeço ao Graco, pela amizade, ajuda “matemática”, pelo apoio, por não me deixar desistir... E pela ajuda com as crianças sempre que preciso. À D. Elda e ao Seu José pelo carinho comigo e com as crianças, que sempre me tranquilizam nas minhas ausências. Aos meus amigos que me ajudaram a atravessar os momentos difíceis, e a entender o valor de saber pedir ajuda quando a gente precisa. Em especial, Sueli, Isabel, Tiago, Nuno e Nei. Obrigada. E também ao Sidnei pela inestimável e alegre companhia, e pelas músicas! E à Grace, por tantas vezes me mostrar como existe sempre uma maneira nova de olhar velhos problemas.

A todos da DPI pelos muitos e muitos momentos de alegria, descontração e carinho. Tenho muito orgulho de trabalhar aqui, e ser parte deste time. Agradeço também à D. Amélia, por cuidar de nós, e finalmente, mas não menos, ao Marcelo, pelo exemplo de vida, com certeza alegrando as festas do céu agora...

RESUMO

Este trabalho descreve os resultados da aplicação do arcabouço de modelagem dinâmica CLUE para explorar como fatores alternativos, políticas públicas e condições de mercado influenciam o processo de ocupação da Amazônia. Trabalhos anteriores na Amazônia enfatizaram aspectos como distância a estradas, quase sempre desconsiderando a enorme heterogeneidade biofísica e socioeconômica da região. A análise estatística realizada utiliza um banco de dados espacial (células de 100 x 100 km² e 25 x 25 km²) com 40 variáveis ambientais, demográficas, de estrutura agrária, tecnológicas, e indicadores de conectividade a mercados como variáveis independentes, e variáveis de uso e cobertura da terra (desflorestamento, pastagem, agricultura temporária e permanente) como variáveis dependentes. Os fatores determinantes dos padrões de uso da terra foram identificados usando modelos de regressão (*spatial lag* e regressão linear múltipla) para toda a região e três sub-regiões. Os resultados dos modelos de regressão demonstram que a importância relativa dos fatores determinantes apresenta grande variação na região. Modelos de regressão enfatizam fatores associados a políticas públicas, em especial variáveis de acessibilidade e áreas protegidas. Os modelos foram utilizados para realizar diferentes explorações de cenários de mudança de uso até 2020. Explorações incluem a análise da influência de diferentes fatores na dinâmica das novas fronteiras na Amazônia, de possíveis impactos políticas públicas, e aumento e diminuição da demanda. As principais conclusões são: (a) conexão a mercados nacionais é o fator mais importante para capturar os padrões espaciais das novas fronteiras; (b) a interação entre os fatores de conexão e demais fatores biofísicos e socioeconômicos que influencia a dinâmica intrarregional heterogênea; (c) estas diferenças levam a impactos diferenciados das políticas públicas na região. Este trabalho reflete a importância da exploração de cenários como uma ferramenta para auxiliar o entendimento do processo de ocupação da Amazônia e a formulação de políticas para a região.

MODELING LAND USE CHANGE IN THE BRAZILIAN AMAZON: EXPLORING INTRA-REGIONAL HETEROGENEITY

ABSTRACT

This work describes the results of applying the CLUE modeling framework to explore how alternative determining factors, policies and market constraints influence the process of land occupation in Amazonia. Previous work regarding deforestation in Amazonia has emphasized aspects such as distance to roads, and has disregarded the region's enormous biophysical and socio-economical heterogeneity. The statistical analysis uses a spatially-explicit database (cells of 100 x 100 km² and 25 x 25 km²) with 40 environmental, demographical, agrarian structure, technological, and market connectivity indicators as independent variables, and land-use (pasture, temporary and permanent crops, non-used agricultural land) patterns as dependent variables. The determinant factors of land patterns were identified using regression models (spatial lag and multiple linear regressions) at multiple spatial resolutions for the whole region and for three sub-regions. Regression models results showed that the relative importance and significance of land use determining factors greatly vary across the Amazon. Models emphasize policy-relevant factors, especially those related to connection to national markets, connection to ports, and protected areas. The models were used to build different exploration scenarios of land use change until 2020. Explorations include an analysis of the influence of different factors in the new Amazon frontiers dynamics, the possible impacts public policies, and increasing or decreasing demand. The main conclusions drawn from the scenario explorations are: (a) connection to national markets is the most important factor for capturing the spatial patterns of the new Amazonian frontiers; (b) it is the interaction between connectivity and other factors that influence the heterogeneous intra-regional dynamics; (c) these differences led to heterogeneous impact of policies across the region. This work reflects the importance of scenario exploration as a tool to understand the process of occupation in the Brazilian Amazonia, and subsidize public policies for the region.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – Ocupação humana em 1976 e 1987 (fonte: IBGE).....	14
FIGURA 2.2 – Novas fronteiras e futuros eixos de desenvolvimento na Amazônia Brasileira (fonte: adaptado de (Escada et al., 2005b)).....	19
FIGURA 2.3 – <i>Hot-spots</i> de desflorestamento em 2005 (fonte: INPE (2005)).	22
FIGURA 3.1 – Área de estudo, células de: (a) 25 x 25 km ² ; e (b) 100 x 100 km ²	34
FIGURA 3.2 – Partições do espaço: macro-regiões propostas por Becker (2005).	34
FIGURA 3.3 – Padrão espacial de áreas desflorestadas em 1997 em células de 25 x 25 km ² (fonte dos dados: INPE).	36
FIGURA 3.5 – Padrão de agricultura temporária em 1996/1997 em células de 25 x 25 km ² (fonte de dados: Censo Agropecuário do IBGE e INPE).....	38
FIGURA 3.6 – Padrão de agricultura permanente em 1996/1997 em células de 25 x 25 km ² (fonte de dados: Censo Agropecuário do IBGE e INPE).....	38
FIGURA 3.7 – Indicador da conectividade para mercados nacionais em células de 25 x 25 km ² (São Paulo e Nordeste) em 1997 (fonte da rede de rodovias: IBGE).	50
FIGURA 3.8 – Indicador de conectividade para portos da Amazônia em 1997 em células de 25 x 25 km ² (fonte da rede de rodovias: IBGE).	50
FIGURA 3.9 – Distância a centros urbanos em 1997 em células de 25 x 25 km ² (fonte de dados: IBGE).	51
FIGURA 3.10 – Distância a rodovias em 1997 em células de 25 x 25 km ² (fonte de dados: IBGE).	51
FIGURA 3.11 – Distância a rodovias pavimentadas em 1997 em células de 25 x 25 km ² (fonte de dados: IBGE).	52
FIGURA 3.13 – Distância a pólos madeireiros em 1997 em células de 25 x 25 km ² (fonte de dados: MMA).	53
FIGURA 3.14 – Distância a depósitos minerais em células de 25 x 25 km ² (fonte de dados: CPRM).	53
FIGURA 3.15 – Densidade populacional em 1996 em células de 25 x 25 km ² (fonte de dados: contagem populacional do em 1996).	54
FIGURA 3.16 – Indicador tecnológico: número médio de tratores por propriedade em 1996 em células de 25 x 25 km ² (fonte de dados: Censo Agr. IBGE de 1996).....	55
FIGURA 3.17 – Indicador tecnológico: % de fazendas que receberam assistência técnica em 1996 em células de 25 x 25 km ² (fonte: Censo Agr. IBGE).	55
FIGURA 3.18 – Indicador de estrutura agrária: porcentagem de áreas de pequenas fazendas em relação à área de fazendas em células de 25 x 25 km ² (fonte: Censo Agropecuário do IBGE de 1996).	56
FIGURA 3.19 – Indicador de estrutura agrária: porcentagem de pequenas fazendas em relação ao número de fazendas em células de 25 x 25 km ² (fonte: idem).....	56
FIGURA 3.20 – Número de famílias assentadas de 1970 até 1999 em células de 25 x 25 km ² (fonte: INCRA).	57
FIGURA 3.21 – Porcentagem de áreas protegidas em 1997: Terras Indígenas e Unidades de Conservação Estadual e Federal em células de 25 x 25 km ² (fontes: MMA e FUNAI).	57

FIGURA 3.22 – Porcentagem de solos férteis em células de 25 x 25 km ² (fonte: IBGE).	58
FIGURA 3.23 – Porcentagem de solos de pântanos em células de 25 x 25 km ² (fonte: IBGE).	58
FIGURA 3.24 – Média de umidade nos três meses consecutivos mais secos do ano em células de 25 x 25 km ² (fonte: INMET).	59
FIGURA 3.25 – Média de precipitação nos três meses consecutivos mais secos do ano em células de 25 x 25 km ² (fonte: INMET).	59
FIGURA 4.1 – Padrão de desflorestamento concentrado no Arco reforçado pela conectividade a mercados nacionais, e sua interação com os demais fatores, como estradas e centros urbanos.	73
FIGURE 4.2 – Comparação gráfica dos principais fatores de desflorestamento ao longo das macro-regiões. Os valores apresentados são a média de coeficientes beta significativos. Valores em branco são coeficientes não significativos em algum dos modelos para aquela partição.	77
FIGURA 4.3 – Comparação entre padrões de desflorestamento e estrutura agrária e no Arco.	81
FIGURE 5.1 – Estrutura dos principais componentes no arcabouço de modelagem CLUE (fonte: adaptado de Verburg et al. (1999b)).	89
FIGURA 5.2 – Distribuição de taxas de desflorestamento temporal ao longo das macro-regiões.	102
FIGURA 5.3 – Mudanças no cenário pavimentação e proteção: (a) áreas protegidas; (b) rede viária.	103
FIGURA 5.4 – Conexão a mercados nacionais (São Paulo e Nordeste) em 1997.	104
FIGURA 5.5 – Conexão a mercados nacionais (São Paulo e Nordeste) em 2010.	104
FIGURA 5.6 – Conexão a portos na Amazônia em 1997.	105
FIGURA 5.7 – Conexão a portos na Amazônia em 2010.	105
FIGURA 5.8 – Amostras para verificação quantitativa de diferenças intra-regionais.	107
FIGURA 5.9 – <i>Exploração A</i> : Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos <i>amazon25</i> e <i>amazon_roads100</i> , e cenários: Alocação sem mudança, Não cumprimento das leis, e Demanda Constante.	111
FIGURA 5.10 – <i>Exploração A</i> : Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos <i>arch25</i> , <i>central25</i> , <i>occidental25</i> e <i>amazon_roads100</i> , e cenários: Alocação sem mudança, Não cumprimento das leis, e Demanda Constante.	111
FIGURA 5.11 – <i>Explorações A e B</i> : Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos <i>arch25</i> e <i>amazon_roads100</i> , e cenários: Alocação sem mudança, Não cumprimento das leis, e Demanda Constante.	112
FIGURA 5.13 – <i>Exploração A</i> : comparação quantitativa entre amostras de teste selecionadas.	113
FIGURA 5.14 - <i>Exploração B</i> : comparação quantitativa entre amostras de teste selecionadas.	116
FIGURA 5.15 - <i>Exploração C</i> – Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos <i>arch25</i> e <i>amazon_roads100</i> , e cenários: <i>Pavimentação e Proteção</i> , Não cumprimento das leis, e Demanda Constante.	118

FIGURA 5.16 - Exploração C – Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos <i>arch25</i> e <i>amazon_urban100</i> , e cenários: <i>Pavimentação e Proteção</i> , Não cumprimento das leis, e <i>Demanda Constante</i>	118
FIGURA 5.17 - Exploração C: comparação quantitativa entre as amostras de teste selecionadas (fora das áreas protegidas).....	119
FIGURA 5.18 - Exploração D – Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos <i>arch25</i> e <i>amazon_roads100</i> , e cenários: <i>Alocação sem mudança</i> , <i>Respeito às Reservas Legais</i> , e <i>Demanda Constante</i>	122
FIGURA 5.19 - Exploração D: comparação quantitativa entre as amostras de teste selecionadas no cenário <i>Respeito às Reservas Legais</i>	123
FIGURA 5.20 - Exploração D – Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos <i>arch25</i> e <i>amazon_roads100</i> , e cenários: <i>Alocação sem mudança</i> , <i>Sem cumprimento da lei</i> , e <i>Demanda Constante</i> (são mostrados os locais das ações de comando e controle para comparação).....	124
FIGURA 5.21 - Exploração D – Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos <i>arch25</i> e <i>amazon_roads100</i> , e cenários: <i>Alocação sem mudança</i> , <i>Comando e Controle Local</i> , e <i>Demanda Constante</i>	124
FIGURA 5.22 - Exploração D: comparação quantitativa entre as amostras de teste selecionadas no cenário de cumprimento da lei <i>Comando e Controle Local</i>	125
Figura 5.23 - Exploração D: comparação quantitativa entre amostras de teste selecionadas no cenário de cumprimento da lei <i>Reservas Privadas Parciais</i>	126
FIGURA 5.24 - <i>Exploração E</i> –Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos <i>arch25</i> e <i>amazon_roads100</i> , e cenários: <i>Pavimentação e Proteção</i> , Não cumprimento da lei, e <i>Demanda Decrescente</i>	128
FIGURA 5.25 – <i>Exploração E</i> –Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos <i>arch25</i> e <i>amazon_urban100</i> , e cenários: <i>Pavimentação e Proteção</i> , Não cumprimento da lei, e <i>Demanda Decrescente</i>	128
FIGURA 5.26 - <i>Exploração E</i> –Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos <i>arch25</i> e <i>amazon_roads100</i> , e cenários: <i>Pavimentação e Proteção</i> , Não cumprimento das leis, e <i>Demanda Crescente</i>	129
FIGURA 5.27 - <i>Exploração E</i> – Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos <i>arch25</i> e <i>amazon_urban100</i> , e cenários: <i>Pavimentação e Proteção</i> , Não cumprimento das leis, e <i>Demanda Crescente</i>	129
FIGURA 5.28 - Exploração E: comparação quantitativa entre as amostras de teste selecionadas (fora das áreas protegidas).....	130
FIGURA 5.29 - Exploração E: comparação quantitativa entre as amostras de teste (dentro das áreas protegidas).....	130
FIGURA A.1 - Exemplo de localização de áreas desflorestadas dentro de municípios.	165
FIGURA A.2 - Representação esquemática da combinação de dados de censo e PRODES.....	168

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 – Comparação de indicadores quantitativos da heterogeneidade no uso da terra na região. O indicador apresenta o número de células de 25 x 25 km ² ocupadas pelos usos de terra diferentes.....	39
TABELA 3.2 – Categorias, fatores determinantes potenciais e variáveis no banco de dados celular (células de 25 x 25 km ² e células de 100 x 100 km ²).....	43
TABELA 4.1 – Subconjunto de variáveis explanatórias potenciais selecionadas para a análise estatística espacial	63
TABELA 4.2 - Grupos de variáveis explanatórias não correlacionadas para as análises estatísticas espaciais.	65
TABELA 4.3 – Modelos de regressão linear e <i>spatial lag</i> dos fatores determinantes de desflorestamento (log) em toda a Amazônia.	70
TABELA 4.4 – Comparação dos principais fatores determinantes de desflorestamento (toda a Amazônia).	71
TABELA 4.5 – Modelos de regressão <i>spatial lag</i> de fatores determinantes de desflorestamento em diferentes macro-regiões.	76
TABELA 4.6 – Modelos de regressão <i>spatial lag</i> de pastagem, agricultura temporária e permanente no Arco.....	83
TABELA 5.1 – Subconjunto de variáveis explanatórias potenciais selecionado para rodar o modelo CLUE.	93
TABELA 5.2 – Grupos de variáveis explanatórias não correlacionadas utilizadas para construir os modelos de regressão.	95
TABELA 5.3 – Resumo das explorações de cenários.....	100
TABELA 5.5 – Parâmetros de cenário de cumprimento da lei.	106
TABELA 5.6 – Descrição das amostras para verificação quantitativa de diferenças intra-regionais fora de áreas protegidas.	108
TABELA 5.7 – Amostras para verificação quantitativa de diferenças intra-regionais dentro de áreas protegidas.	108
TABELA 5.8 – Três fatores determinantes mais importantes de desflorestamento em relação aos betas normalizados. As variáveis são listadas em ordem de importância. O sinal positivo ou negativo indica uma relação linearmente ou inversamente proporcional, respectivamente, no aumento do desflorestamento.	110
TABELA A.1 - Mapeamento entre classes de cobertura da terra do PRODES e do IBGE.....	166
TABELA B.1 – Lista de potenciais fatores determinantes compilada com base na literatura como parte do processo de modelagem.	171
TABELA C. 1 – Correlações entre variáveis dependentes e explanatórias potenciais, com transformações logarítmicas.	175
TABELA C.2 – Matriz de correlação entre variáveis explanatórias potenciais na Amazônia.....	177
TABELA C.3 – Matriz de correlação entre variáveis explanatórias potenciais no Arco.	178

TABELA C.4 – Matriz de correlação entre variáveis explanatórias potenciais na Amazônia Central.	179
TABELA C.5 – Matriz de correlação entre variáveis explanatórias potenciais na Amazônia Ocidental.	180
TABELA D.1 – Exemplo de bateria de testes de calibração.....	182

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- ALAP – Área sob Limitação Administrativa Provisória
- ARPA – Áreas Protegidas da Amazônia
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil
- FUNAI – Fundação Nacional do Índio
- FUNBIO – Fundo Brasileiro para a Biodiversidade
- G7 – Grupo dos Sete (Alemanha, Canadá, Estados Unidos da América, França, Inglaterra, Itália, Japão)
- GEF – Fundo para o Meio Ambiente Global (GEF)
- GEOMA – Rede Temática de Pesquisa em Modelagem Ambiental da Amazônia
- GIS – *Geographical Information System* (Sistema de Informações Geográficas)
- GPM – *Generalized Proximity Matrix* (Matriz de Proximidade Generalizada)
- GTZ – Agência de cooperação da Alemanha
- IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- KfW – Banco de Cooperação do Governo da Alemanha
- LUCC – *Land Use and Cover Change* (Mudanças de uso e cobertura da terra)
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- ONG – Organização não governamental
- PPA – Plano Pluri-anual do Governo Federal
- PIB – Produto Interno Bruto
- PPG7 – Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil

PRODES – Projeto Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite

UC – Unidade de Conservação

TI – Terra Indígena

WWF – *Wildlife World Foundation*

SUMÁRIO

Pág.

LISTA DE FIGURAS.....
LISTA DE TABELAS.....
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Modelos LUCC e a Amazônia.....	4
1.3 Objetivos e hipóteses da tese.....	9
1.4 Estrutura do documento.....	11
CAPÍTULO 2.....	13
AMAZÔNIA BRASILEIRA: REVISÃO DO PROCESSO DE OCUPAÇÃO HUMANA E MODELAGEM LUCC.....	13
2.1 Ocupação humana e novas fronteiras.....	13
2.2 Revisão de modelos LUCC anteriores na Amazônia Brasileira.....	23
CAPÍTULO 3.....	33
ÁREA DE ESTUDO E CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS.....	33
3.1 Área de Estudo.....	33
3.2 Padrões de uso da terra.....	35
3.3 Fatores determinantes potenciais.....	40
CAPÍTULO 4.....	61
MODELAGEM ESPACIAL DOS DETERMINANTES DO USO DE TERRA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA.....	61
4.1 Introdução.....	61
4.2 Métodos.....	61
4.3 Resultados e discussão.....	67
CAPÍTULO 5.....	87
EXPLORAÇÃO DE CENÁRIOS DE DESFLORESTAMENTO NA AMAZONIA BRASILEIRA.....	87
5.1 Introdução.....	87
5.2 Métodos.....	88
5.3 Resultados e discussão.....	107
CAPÍTULO 6.....	133
CONCLUSÕES.....	133
6.1 Hipóteses de pesquisa.....	133
6.2 Considerações sobre aspectos metodológicos.....	137
6.3 Recomendações para políticas públicas.....	143
6.4 Sugestões para futuros trabalhos de pesquisa.....	151

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	155
APÊNDICE A	165
INTEGRAÇÃO DE DADOS DO CENSO AGROPECUÁRIO E MAPA BASEADO EM DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO	165
APÊNDICE B.....	171
PROCESSO DE MODELAGEM: EXEMPLO DE LISTA INICIAL DE FATORES DETERMINANTES CANDIDATOS	171
APÊNDICE C	175
MATRIZES DE CORRELAÇÃO	175
APÊNDICE D	181
BATERIA DE TESTES INICIAIS (CALIBRAÇÃO)	181

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Introdução

A floresta tropical da Amazônia Brasileira cobre uma área de 4 milhões de km². Devido ao intenso processo de ocupação humana das últimas décadas, aproximadamente 16% da floresta original foi removida, e as taxas atuais ainda são muito altas (INPE 2005). O desflorestamento na Amazônia é um dos maiores fatores isolados de contribuição na emissão de CO₂ no mundo (SANTILLI et al., 2005). A Amazônia possui recursos valiosos de biodiversidade que são ameaçados pelo desflorestamento. O processo de ocupação humana na região durante a última década tem sido associado com a concentração da posse de terra, desigualdades sociais, conflitos relacionados com a terra, violência e atividades ilegais (BRITO, 1995; GEOMA, 2003; MACHADO, 1998). O crescimento da demanda regional e externa por carne bovina (ARIMA et al., 2005; FAMINOW, 1997; MARGULIS, 2004), e o potencial de expansão de colheitas mecanizadas são as principais ameaças à floresta (BECKER, 2005; FEARNSSIDE, 2001).

O processo de ocupação humana na Amazônia é heterogêneo em tempo e espaço. De acordo com Becker (2001), sub-regiões com velocidades de mudança diferentes coexistem na Amazônia, devido à diversidade ecológica, socioeconômica, política e condições de acesso. Até a década de 60 a ocupação humana estava concentrada ao longo dos rios e regiões costeiras (BECKER, 1997; MACHADO, 1998). A maior mudança na região começou na década de 60 e 70, durante o regime militar, devido a um esforço governamental de popular a região e integrá-la ao resto do país (BECKER, 1997; COSTA, 1997; MACHADO, 1998). Após a década de 90, o processo de ocupação continuou intensamente, porém mais associado a interesses econômicos regionais do que promovido pelo governo Federal (BECKER, 2005).

De acordo com (ALVES, 2001; 2002), o desflorestamento tende a ocorrer próximo a áreas previamente desflorestadas, mostrando um padrão espacialmente dependente, concentrado numa faixa de 100 km (COSTA, 1997) das principais rodovias e zonas de desenvolvimento da década de 70, como ilustrado na Figura 1.1. Estradas que oferecem acesso mais fácil para outras partes do Brasil concentram uma grande proporção de desflorestamento, indicando que embora o desflorestamento esteja inicialmente associado à criação das zonas de desenvolvimento e estradas durante o governo militar, permaneceu mais elevado nas áreas que estabeleceram sistemas de produção encadeados às áreas mais prósperas do Brasil (ALVES, 2001, 2002). Figura 1.1 também mostra as três macrorregiões propostas por Becker (2005) com características distintas relacionadas ao processo de ocupação humana: *Arco Densamente Povoado*, *Amazônia Central*, e *Amazônia Ocidental*.

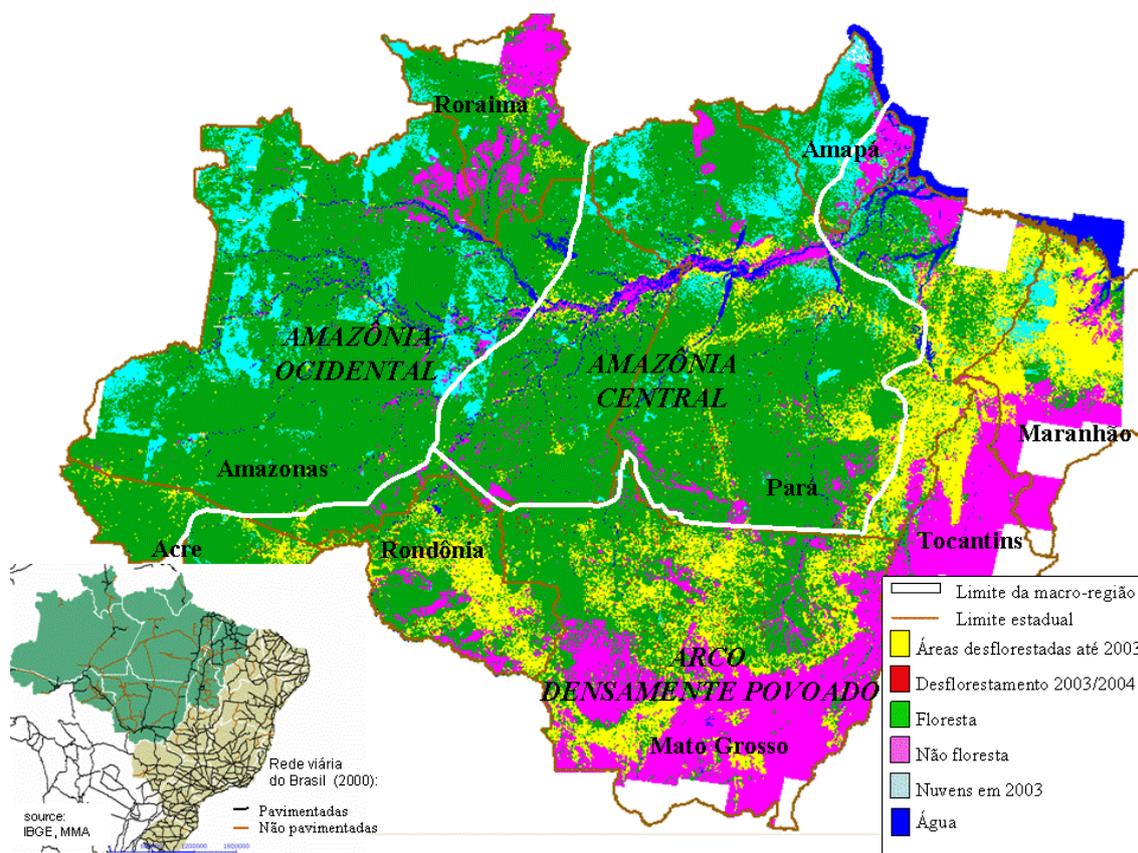


FIGURA 1.1 – Áreas de desflorestamento da Amazônia e as três macro-regiões

Fonte: Becker (2005); INPE (2005).

Como mostra a Figura 1.1, a maioria das áreas desflorestadas está concentrada na região sudeste da Amazônia, a área usualmente conhecida como “*Arco do Desflorestamento*”, ou *Arco Densamente Povoado*, como proposto por Becker (2005), onde a maioria dos centros urbanos, estradas e cerne das atividades econômicas estão localizadas. Atualmente, porém, a área mais vulnerável é a *Amazônia Central*. Esta é a área cruzada pelos novos eixos de desenvolvimento, do centro do estado do Pará até a região leste do estado do Amazonas, onde a fronteira da nova ocupação está localizada (BECKER, 2005; GEOMA, 2003). A *Amazônia Ocidental* é a região mais preservada por causa da influência dos eixos das principais rodovias (BECKER, 2005).

Devido à importância da região da Amazônia Brasileira, tanto em escala nacional como em escala internacional, é importante definir indicadores confiáveis para subsidiar a elaboração de políticas públicas. A elaboração de políticas requer a verificação quantitativa dos fatores que causam alterações na Amazônia, e deve levar em conta a heterogeneidade intrarregional. Como colocado por Becker (2000): “entender as diferenças é a primeira etapa para ações de regras apropriadas”. Quantificar o desflorestamento e, de forma mais ampla, fatores determinantes das *mudanças de uso e cobertura da terra*¹ (LUCC), é também um dos requisitos para o desenvolvimento de modelos LUCC. Modelos computacionais são ferramentas úteis para complementar a capacidade mental de modelagem, de forma a permitir tomadas de decisão mais informadas (COSTANZA; RUTH, 1998). Modelos LUCC podem ajudar na avaliação de impactos possíveis das regras alternativas através da construção de cenários e contribuem para os processos de tomada de decisão. Este é o escopo desta tese: o uso de modelos LUCC na Amazônia Brasileira para explorar a heterogeneidade intrarregional e as políticas de impacto.

¹ *Cobertura da Terra* se refere aos seus atributos físicos (por exemplo, floresta, água, gramíneas, áreas construídas, etc.). *Uso da Terra* se refere ao uso humano de tais atributos (por exemplo, recreação, proteção, pastagem, área residencial, área comercial, etc.). *Mudanças de Uso e Cobertura da Terra* se refere tanto à conversão entre classes (por exemplo, processos de desertificação e desflorestamento), quanto à alterações nessas classes (e.g., intensificação de uso agrícola, degradação da cobertura vegetal). Para uma revisão completa sobre teorias de mudanças de uso e cobertura e métodos associados, consultar Briassoulis (2000) e Gutman et al. (2004).

O restante desta Seção é organizado da seguinte forma. A Seção 1.2 apresenta uma breve revisão dos modelos LUCC e discute os aspectos principais de sua aplicação na Amazônia. A Seção 1.3 apresenta as hipóteses e objetivos desta tese. A Seção 1.4 apresenta a estrutura deste documento.

1.2 Modelos LUCC e a Amazônia

Uma grande variedade de modelos LUCC pode ser encontrada na literatura, com objetivos, técnicas, embasamento teórico e tradições de modelagem distintas. Uma revisão extensa de teorias de uso da terra e técnicas de modelagem podem ser vistas em Briassoulis (2000). Irwin (2001) apresenta uma revisão de modelos de uso da terra baseados na teoria econômica. Uma revisão dos modelos baseados em agentes pode ser encontrado em Parker et al. (2001). Brown e Pearce (1994), Lambin (1997), Kaimowitz e Angelsen (1998) e Barbier e Burgess (2001) apresentam revisões de modelos de desflorestamento. Uma comparação técnica dos mecanismos internos de nove modelos de mudança no uso da terra está em Eastman et al. (2005). Lambin et al. (2000) discute a aplicação de modelos LUCC de estudos intensificados de uso da terra. Veldkamp and Lambin (2001) e Verburg et al. (2004) discutem prioridade na pesquisa de modelos LUCC, focando em modelos projetivos espacialmente explícitos. Veldkamp et al. (2001) discutem tópicos de escala também nos modelos espacialmente explícitos.

No escopo desta tese, nós focamos em modelos LUCC espacialmente explícitos que visem:

- Explicar e testar hipóteses sobre mudanças passadas, através da identificação de fatores determinantes de mudanças no uso e cobertura da terra;
- Projetar e visualizar mudanças futuras, sua intensidade, localização e data;
- Verificar como escolhas de políticas públicas podem influenciar as mudanças, através da construção de cenários considerando opções alternativas de políticas.

Nesta Seção nós discutimos cinco tópicos relacionados a modelos LUCC e sua aplicação na Amazônia: a seleção de fatores determinantes; a distinção entre modelos

que projetam quantidade e localização de mudanças; as abordagens para quantificar as relações entre uso da terra e forças determinantes; e, finalmente, os fatores de escala.

A seleção e verificação das forças determinantes de mudanças é um dos pontos principais na modelagem LUCC (GEIST; LAMBIN, 2001; LAMBIN; GEIST, 2003; LAMBIN; GEIST, 2001; LAMBIN et al., 2001). O entendimento atual afasta-se de explicações simplificadas baseadas em fatores únicos (como o crescimento populacional), e aponta para que mudanças de uso e cobertura da terra são determinadas por uma complexa rede de fatores biofísicos e socioeconômicos que interagem no tempo e no espaço, em diversos contextos históricos e geográficos, criando trajetórias diferentes de mudanças. É a resposta das pessoas para oportunidades econômicas mediadas por fatores institucionais que determinam as mudanças; estas oportunidades e restrições são criadas pelos mercados e políticas locais, nacionais e internacionais (LAMBIN et al., 2001).

Na Amazônia, poucos estudos analisaram diferenças intra-regionais nos fatores determinantes. Vários modelos econométricos² foram desenvolvidos (ANDERSEN ET AL., 2002; ANDERSEN; REIS, 1997; PFAFF, 1999; REIS; GUZMÁN, 1994; REIS; MARGULIS, 1991), utilizando dados no nível municipal para toda a Amazônia, para analisar a importância de fatores de desflorestamento como crédito, pressão populacional, presença de rodovias, fatores biofísicos, etc. Análise espacial explícita de 10 fatores determinantes de desflorestamento foram realizados por Kirby et al. (2006) e Laurance et al. (2002) usando células regulares como a unidade de análise em duas resoluções espaciais: 50 x 50 km² e 20 x 20 km². Dos estudos anteriores, apenas Perz e Skole (2003) realizaram uma análise comparativa em três partições espaciais (*remota, fronteira, consolidada*), porém focando especificamente em determinantes sociais do crescimento de vegetação secundária.

Além disso, a maioria dos trabalhos anteriores foca no desflorestamento como uma medida unificada, não considerando a heterogeneidade de atores e usos agrícolas, os

² Modelos econométricos explicam mudanças no uso da terra através de uma ou mais equações que expressam a relação entre demanda e/ou produção e seus fatores determinantes, normalmente através de modelos de regressão múltipla, com uma ênfase em fatores econômicos (Briassoulis, 2000).

quais podem ter forças determinantes próprias e diferentes trajetórias de mudança. Uma exceção é o trabalho de Margulis (2004), que apresenta um modelo econométrico quantificando o relacionamento no tempo e no espaço das principais atividades agrícolas (extração de madeira, pastagem e colheitas).

Outro aspecto relevante em modelagem LUCC é a distinção entre modelos que projetam a quantidade de mudanças e modelos que identificam possíveis locais de mudanças (LAMBIN et al., 2000; VELDKAMP; LAMBIN, 2001). Isto requer uma clara diferenciação entre determinantes espaciais de mudança, isto é, *causas próximas* locais diretamente ligadas a mudanças no uso da terra (no caso de desflorestamento, por exemplo, o tipo de solo ou a distância a estradas) de *forças determinantes subjacentes*, que são normalmente remotas no espaço e tempo, e operam em níveis hierárquicos mais altos, incluindo mudanças macroeconômicas e mudanças políticas. Projetar a distribuição temporal das mudanças (quanto e onde as mudanças irão ocorrer) requer uma compreensão mais profunda das forças subjacentes, incluindo demanda por *comodities* baseadas no uso da terra. A localização das mudanças é mais simples de projetar, e basicamente requer a identificação dos determinantes espaciais de mudança (*causas próximas*). A confusão entre determinantes espaciais e causas subjacentes tem levado a uma ênfase exagerada em fatores como estradas, tipos de solo ou topografia como *causas* de desflorestamento (VELDKAMP; LAMBIN, 2001).

Trabalhos anteriores que projetam o desflorestamento na Amazônia de modo espacialmente explícito (LAURANCE et al., 2001; NEPSTAD et al., 2001) misturam ambos os conceitos. Estes modelos utilizam padrões espaciais de desflorestamento no Arco, em relação à proximidade de estradas, para projetar linearmente quantidades futuras de desflorestamento em outras áreas da Amazônia. Estes modelos desconsideram o complexo contexto socioeconômico e histórico no qual se deu a ocupação da Amazônia nas últimas décadas, reduzindo a uma variável a explicação dos padrões espaciais do passado. O recente trabalho de Soares-Filho et al. (2006) utiliza dois modelos separados para projetar a localização e a quantidade de mudanças. Porém, também neste caso, causas próximas e subjacentes também são misturadas: o modelo de quantidade utiliza fatores espaciais (tais como distância a estradas a serem

pavimentadas) para projetar a taxa total de desflorestamento. Estes modelos (LAURANCE et al., 2001; NEPSTAD et al., 2001; SOARES-FILHO et al., 2006) adotam como premissa básica que pavimentar estradas causa um aumento na quantidade de desflorestamento, não apenas localmente, mas globalmente, sendo a principal “causa” do desflorestamento. E, por adotar tais premissas na sua concepção, tais modelos não permitem avaliar outros possíveis resultados de obras de infraestrutura, como intensificação do uso agrícola em áreas mais consolidadas (ANDERSEN et al., 2002), ou possíveis efeitos regionais de políticas aplicadas localmente, como será discutido nos próximos parágrafos.

Um terceiro aspecto relacionado com a modelagem LUCC é a abordagem para quantificar as relações entre uso da terra e suas forças determinantes. De acordo com Verburg (2004) três abordagens distintas podem ser adotadas: (a) teorias de processo e leis da física; (b) métodos empíricos, especialmente análise de regressão; (c) e conhecimento de especialistas. Quando toda a Amazônia está sendo modelada, devido à complexidade dos processos e atores na região, e à falta de teorias que expliquem tais processos heterogêneos de ocupação, o uso de dados empíricos é a abordagem mais indicada. Por outro lado, modelos LUCC podem ser utilizados para verificar hipóteses sobre o processo de ocupação da Amazônia através da combinação destas abordagens, por exemplo, comparando modelos alternativos de regressão, ou modificando coeficientes de regressão através do conhecimento de especialistas.

Relacionamentos empíricos podem ser obtidos de duas formas (VERBURG et al., 2004): (a) usando dados *cross-section* (um ponto no tempo) para analisar as relações entre fatores determinantes e a *estrutura* (ou *padrão*) de uso/cobertura da terra; (b) usando um *painel de dados* (vários pontos no tempo) para analisar o relacionamento entre fatores determinantes e as *mudanças* no uso/cobertura da terra em *determinado período*. Os relacionamentos estabelecidos através de métodos empíricos não podem ser considerados como a “causa” do padrão (no caso (a)) ou das mudanças (no caso (b)), e não devem ser aplicadas em projeções de longo prazo, pois os processos de mudança do uso e cobertura da terra são não estacionários (VELDKAMP; LAMBIN, 2001; VELDKAMP et al., 2001). Porém, análises do tipo *Seção-cruzada* do sistema do uso da

terra resulta em relacionamentos mais estáveis, pois se referem à estrutura resultante uma longa história de mudanças, não a um período específico (VERBURG et al., 2004).

Finalmente, o último aspecto a ser discutido é a escala de análise e interações regionais. A escala³ na qual o processo é estudado afeta a explicação encontrada para o fenômeno. Relacionamentos entre o uso da terra e as forças determinantes estabelecidas em estudos locais não podem ser diretamente extrapolados para escalas regionais, devido a propriedades como não linearidade, emergência e comportamento coletivo (VERBURG et al., 2004). Em diferentes escalas, processos diferentes podem ter influência dominante sobre o sistema de uso da terra (GIBSON et al., 2000). Dinâmicas regionais afetam (e são afetadas por) condições locais em interações *top-down* e *bottom-up* (VERBURG et al., 2004). De acordo com Becker (2005): “hoje é impossível, mais do que nunca, compreender o que ocorre em um local, e conseqüentemente, criar e implementar políticas públicas adequadas, sem considerar os interesses e ações conflitantes em escalas geográficas diferentes”.

Evidências obtidas através de dados recentes de desflorestamento (INPE, 2005) indicam a existência de interações intrarregionais em relação aos efeitos de políticas públicas. Políticas governamentais aplicadas a uma região, tal como a criação de áreas protegidas ou ações de comando e controle pontuais (BRASIL, 2005), pode induzir a *ocupação de uma outra área*. Portanto, a criação de áreas de proteção necessariamente não resulta em uma redução geral nas taxas de desflorestamento, desde que existam áreas virgens a serem ocupadas. Por outro lado, a melhoria das condições em uma dada área, tal como a pavimentação de estradas e o fortalecimento de cadeias de produção, pode favorecer a ocupação nestas áreas em *detrimento de outras*. Não existem trabalhos anteriores que tenha explorado tais aspectos de *interação intrarregional na Amazônia*, resultante de processos que atuem em diferentes níveis hierárquicos, incluindo a demanda por terra decorrente da pressão do mercado por produtos agropecuários. De fato, trabalhos

³ De acordo com Gibson et al., (2000), escala é composta pelas “dimensões espacial, temporal, quantitativa, ou analítica usadas para medir e estudar qualquer fenômeno”. Todas as escalas possuem extensão e resolução. No caso de escalas espaciais, *extensão* se refere à dimensão da área de estudo, e *resolução* à precisão da medida (exemplo: resolução do pixel; unidade administrativa, no caso de dados de censo).

anteriores, como os de Laurance et al. (2001), Nepstad et al. (2001), e Soares-Filho et al. (2006), adotaram premissas tão rígidas sobre impactos positivos e negativos de políticas locais sobre a *quantidade regional de mudança total*, que tais interações não são possíveis em seus modelos.

Dadas estas considerações gerais sobre modelagem LUCC e sua aplicação na Amazônia, a próxima seção apresenta as hipóteses e objetivos específicos desta tese, e um sumário da contribuição deste trabalho em relação aos trabalhos anteriores na Amazônia.

1.3 Objetivos e hipóteses da tese

Esta tese explora duas hipóteses principais sobre o processo de ocupação humana na Amazônia utilizando abordagens quantitativas de modelagem espacial:

1. A heterogeneidade de fatores espaciais determinantes de uso da terra e dos efeitos de políticas públicas na Amazônia.
2. A importância de medidas de conectividade a mercados para explicar diferenças intrarregionais no processo de ocupação da Amazônia.

A hipótese de heterogeneidade de fatores baseia-se nas diferentes características das macrorregiões propostas por Becker (2005), ilustradas na Figura 1.1. Na segunda hipótese, as medidas de conectividade a mercados indicam inserção no sistema produtivo nacional. Esta hipótese é derivada de conclusões de Alves (2001; 2002).

Os *objetivos específicos* deste trabalho são:

1. *Quantificar a heterogeneidade intrarregional da importância relativa de fatores determinantes, utilizando métodos de análise estatística espacial.* Este trabalho quantifica comparativamente os fatores determinantes de desflorestamento e usos principais da terra (pastagem, agricultura temporária, e agricultura permanente) em toda a Amazônia e nas três macrorregiões.

2. *Explorar como alternativas de fatores determinantes, políticas públicas e condições de mercado poderiam influenciar o processo de ocupação humana na Amazônia, utilizando arcabouço de modelagem dinâmica LUCC.* Modelos de regressão alternativos são comparados para verificar a importância relativa de diferentes fatores na captura de novas fronteiras da Amazônia. Políticas analisadas incluem a pavimentação de estradas, a criação de áreas protegidas e ações de comando e controle visando o cumprimento das leis. Cenários de aumento e redução de demanda permitem a análise do impacto de diferentes condições e restrições de mercado no processo de ocupação.

Para alcançar o segundo objetivo, o arcabouço de modelagem CLUE foi selecionado e adaptado para as características da Amazônia. Este arcabouço de modelagem foi selecionado pelas seguintes razões:

- a) As mudanças projetadas são espacialmente explícitas;
- b) Permitir a incorporação de uma ampla gama de fatores determinantes, relacionados aos padrões de uso de terra (estrutura) com base em métodos empíricos;
- c) Foi projetado para aplicações de grandes áreas e dados de baixa resolução, tais como dados de censos;
- d) Empregar uma abordagem de alocação (localização) de multiescala, nas quais as mudanças projetadas numa resolução mais baixa influenciam mudanças em resoluções mais finas;
- e) Em cada escala, diferentes fatores e relações estatísticas podem ser utilizados, permitindo explorar influências de processos que ocorrem em diferentes níveis hierárquicos; e,
- f) Separar claramente os aspectos de projeção temporal e espacial de mudanças.

A principal modificação adicionada por esta tese ao modelo original CLUE é a inclusão de indicadores de níveis de governança não-uniformes através da região, o que permite a exploração de cenários sobre políticas que visem o cumprimento da lei (por exemplo, a presença efetiva de instituições em determinadas áreas, ou ações de comando e controle locais). A premissa incorporada neste modelo é que a presença ativa do governo numa área inibe atividades ilegais, e, portanto pode reduzir o ritmo de conversão da floresta nestas áreas.

Em resumo, esta tese adiciona aos modelos prévios LUCC esforços na Amazônia:

- Uma larga categoria de fatores biofísicos e socioeconômicos espacialmente explícitos foram utilizados, incluindo medidas de conectividade e indicadores de estrutura agrária não utilizados anteriormente;
- A quantificação de heterogeneidade intrarregional dos fatores determinantes do desflorestamento e sua decomposição nos principais usos da terra (pastagem, agricultura temporária e permanente).
- O uso de um arcabouço de modelagem dinâmica para refinar a compreensão sobre a contribuição de fatores diferentes no processo de ocupação, através da comparação de projeções utilizando modelos de regressão alternativos;
- A inclusão de indicadores da presença do Estado no modelo dinâmico para explorar cenários de governança não uniformemente distribuída na região;
- A adoção de premissas flexíveis em relação aos efeitos de políticas públicas na distribuição da quantidade de mudanças na região, permitindo a emergência de efeitos de interação intrarregional dessas políticas.

A próxima Seção descreve a estrutura deste documento.

1.4 Estrutura do documento

Esta tese está estruturada da seguinte forma:

- Capítulo 2 apresenta uma visão geral do processo de ocupação da Amazônia, e uma revisão mais detalhada dos trabalhos anteriores de modelagem LUCC na Amazônia, já mencionados nesta introdução.
- Capítulo 3 apresenta a área de estudo e o banco de dados espacialmente explícito construído para suportar a análise apresentada nos Capítulos 4 e 5.
- Capítulo 4 apresenta os métodos e resultados de análise estatística espacial. Este Capítulo corresponde ao primeiro objetivo específico da tese apresentado acima;
- Capítulo 5 apresenta métodos e resultados de modelagem dinâmica e exploração de cenários, correspondendo ao segundo objetivo específico da tese mencionado acima;
- Capítulo 6 apresenta as conclusões desta tese, sugestões de trabalhos futuros, e um resumo de recomendações de políticas públicas com base nos resultados da tese.

CAPÍTULO 2

AMAZÔNIA BRASILEIRA: REVISÃO DO PROCESSO DE OCUPAÇÃO HUMANA E MODELAGEM LUCC

2.1 Ocupação humana e novas fronteiras

2.1.1 História da ocupação: 1950-2000

Até os anos 50, a presença humana na Amazônia estava limitada à região costeira, e a áreas nas margens de rios dos principais rios navegáveis, e à cidade de Manaus. Migrações de outras regiões do Brasil para a Amazônia aumentaram nos anos 50 devido a ações governamentais tais como a construção das rodovias Belém-Brasília (BR 153) e Cuiabá-Porto Velho (BR 364). De 1950 até 1965, a população na Amazônia aumentou de 1 para 5 milhões de habitantes (Becker, 1997). No entanto, as maiores mudanças ocorreram de 1965 até 1985 (Becker, 1997; Costa, 1997; Machado, 1998; Homma, 2003), durante o regime militar, que considerou a ocupação da Amazônia uma prioridade nacional. O governo foi responsável pelos principais projetos públicos na região, através de três eixos estratégicos principais, de acordo com Becker (1997):

- *Estabelecimento de conexões integrativas*: uma grande rede de rodovias (e.g., Transamazônica), infraestrutura de comunicações e grandes usinas hidrelétricas (e.g., Tucuruí, Samuel, etc.).
- *Fluxo de migração e de capital*: o governo estabeleceu muitos programas de colonização, que geraram um grande fluxo migratório e ao estabelecimento de novos centros urbanos; redução de impostos e subsídios induziram grandes investimentos privados na região (MORAN, 1981; FERNSIDE, 1986).

- *Criação de territórios federais*: o governo determinou que uma área de 100 km ao redor das rodovias federais fosse definida como território público, e utilizada para induzir projetos de colonização.

A extensão da ocupação humana neste período está apresentada na Figura 2.1. Após o término do regime militar, a intervenção direta do estado foi reduzida, e a ocupação na Amazônia tem sido mais determinada por interesses econômicos regionais (BECKER, 2005).

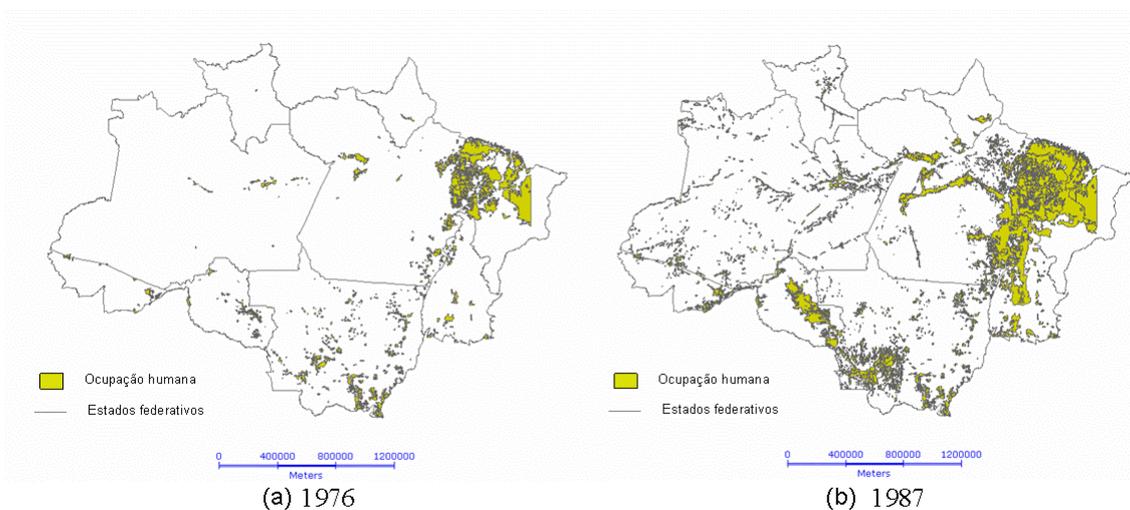


FIGURA 2.1 – Ocupação humana em 1976 e 1987.
Fonte: IBGE (2000).

Para compreender o processo recente das mudanças no uso da terra na Amazônia, a heterogeneidade biofísica e socioeconômica da região devem ser consideradas. As sociedades regionais incluem indígenas e populações tradicionais, trabalhadores rurais e urbanos, fazendas pequenas, médias e grandes, empresários capitalistas ligados ao agronegócio, num emaranhado complexo de atores, atividades econômicas e conflitos de interesses (BECKER, 2005; BRITO, 1995). De acordo com último censo a população da Amazônia em 2000 era de 21 milhões de habitantes, a maioria vivendo em áreas urbanas (IBGE, 2000). Nos últimos 20 anos, as quatro atividades principais relacionadas ao uso de terra têm sido: extração de madeira, criação de gado, agricultura em pequena e grande escala. Estas atividades têm ocorrido em diferentes áreas, em

diferentes trajetórias. Cada tipo de atividade é induzido pela combinação da ocupação histórica, condições geofísicas, conexões de mercado, e uma mistura de ações governamentais e privados.

A extração de madeira é associada principalmente à exploração predatória da floresta. De acordo com Schneider et al. (2000), o setor de extração de madeira é uma das principais atividades econômicas da região e corresponde a 15% da economia dos estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia, gerando cerca de 500 mil empregos. De acordo com Lentini et al. (2005), pelo menos 5% da população economicamente ativa na Amazônia Brasileira trabalha com atividades madeireiras, direta ou indiretamente. De acordo com Nepstad et al. (1999), 90% da extração de madeira é ilegal e contribui para o empobrecimento da floresta e a torna mais suscetível a queimadas. Quando se esgota a floresta em uma determinada região, a indústria de extração de madeira migra para novas áreas. No início dos anos 90, a indústria de extração de madeira estava concentrada no sul do Pará, norte do Mato Grosso e Rondônia. Posteriormente houve uma migração para o oeste do Pará e para o sul do Amazonas. De acordo com pesquisas recentes (LENTINI et al., 2005), 36% da produção de madeira é vendida para o mercado internacional.

Após o corte da floresta, a terra na região é apropriada por pessoas físicas, na maior parte das vezes através de corrupção do sistema de cadastro de terras (GEOMA, 2003). Apenas muito recentemente, em 2005, o governo brasileiro iniciou ações para evitar o uso inadequado do sistema de cadastro. Quando a floresta é removida, seu uso geralmente passa a ser para a criação de gado. Margulis (2004) mostra que a criação de gado responde por 70% do uso das áreas da floresta convertidas, e que o motor do processo dos desmatamentos da Amazônia brasileira é a viabilidade financeira dos grandes e médios pecuaristas da fronteira consolidada. Inicialmente mais associada a médios e grandes pecuaristas, a criação de gado é cada vez mais praticada também por pequenos proprietários em diversas localidades (VEIGA et al., 2001; MERTENS et al, 2002, HOMMA, 2005). De 1990 até 2003 o tamanho do rebanho na Amazônia cresceu de 26,6 milhões para 64 milhões (IBGE, 2006b). O mercado nacional absorve a maior parte da carne produzida na Amazônia especialmente nas regiões nordeste e sudoeste

(ARIMA et al., 2005). Faminow (1997) mostrou que a demanda local para produtos relacionados a criação de gado, tais como carne e leite, é outra causa no aumento da produção de gado, e conseqüentemente desflorestamento.

A partir dos anos 90, a agricultura capitalizada também se expandiu na região (especialmente a soja). A expansão inicial de agriculturas de larga escala ocorreu na região de cerrado no sul da Amazônia. Posteriormente esta expansão começou a ocorrer também em áreas da floresta. De acordo com Margulis (2004), a agricultura não compete com a criação de gado em termos de reuso das áreas da floresta; existem barreiras geográficas e ecológicas para a expansão de agriculturas de larga escala; áreas com quantidade de chuva superior a 2000 mm não são adequadas para o plantio de soja (MARGULIS, 2004). Culturas de larga escala tendem a ocupar regiões com terrenos planos e solos melhores, sem limitações estruturais, nos quais as deficiências químicas possam ser facilmente corrigidas (SANCHEZ, 1976).

Agricultura de pequena escala ocorre principalmente em áreas de ocupação antiga, tais como o nordeste do Pará, e o Maranhão, e em áreas do Pará (especialmente ao longo da rodovia Transamazônica), Mato Grosso e Rondônia que foram colonizadas por projetos de reforma agrária do governo (MORAN, 1981; BECKER, 1997). Cabe notar que existe na Amazônia um histórico de expulsão de pequenos produtores por atores mais capitalizados (BRITO, 1995; GEOMA, 2003). Se pequenos agricultores serão expulsos por grandes fazendeiros capitalizados dependerá, entre outros, das características do solo em termos de fertilidade e topografia mencionadas acima; o sucesso ou fracasso da produção em pequena escala depende também do acesso a mercados para seus produtos.

2.1.2 Políticas governamentais para a Amazônia: 1995-2005

Após uma década da falta de envolvimento direto na Amazônia, o desflorestamento permaneceu intenso: cerca de 200.000 km² de 1985 até 1995 (INPE, 2005). Neste período de crise no Estado, configura-se na Amazônia uma fronteira socioambiental, resultante da pressão ambientalista internacional e nacional, aliada ao fortalecimento dos movimentos sociais na região (BECKER, 2005). O ano de 1996 marca uma nova fase no processo de ocupação regional, caracterizadas por políticas por vezes

conflitantes, com uma vertente desenvolvimentista e uma ambientalista (HOMMA, 2003; BECKER, 2005).

Em 1996, o governo retoma o planejamento territorial da região através do plano “Avança Brasil” estabeleceu corredores de fluxo de produção na região, incluindo o asfaltamento da rodovia Cuiabá-Santarém, novas usinas hidrelétricas, e a combinação de rodovias e hidrovias na região do rio Madeira. A motivação básica foi estimular a exportação de grãos para o hemisfério norte. Estes planos incentivaram a especulação de terras em algumas áreas, e também uma reação forte do setor ambiental. As obras do plano “Avança Brasil” terminaram sendo adiadas, porém a maior parte delas ainda faz parte dos planos do atual governo (PPA 2004-2007), como discutido em Becker (2004) e Thery (2005).

Na vertente ambientalista, o Ministério do Meio Ambiente vem trabalhando numa política para a preservação da floresta, incluindo a criação de 170,000 km² de áreas protegidas (BRASIL, 2005), muitas em regiões onde mudanças rápidas no uso da terra estão ocorrendo. Atualmente, terras indígenas e unidades de conservação compreendem, respectivamente, a 22% e 8% da Amazônia. Uma rede de iniciativas socioambientais também foi estabelecida na região, com base em populações locais, atividades alternativas sustentáveis e suporte internacional. Os projetos do PPG7 (Programa Piloto para a Proteção de Florestas Tropicais), financiados pelo Banco Mundial, G7 (Grupo dos Sete) e o governo Brasileiro, são exemplos de tais iniciativas. Atualmente, o setor ambiental, incluindo NGO, organizações religiosas, cientistas nacionais e internacionais, e instituições governamentais, possui voz ativa e é capaz de influenciar a elaboração de políticas públicas na Amazônia (BECKER, 2005). Atualmente, está em discussão o programa ARPA (Áreas Protegidas da Amazônia), um programa do Governo Federal, que pretende até 2013, atingir um total de 50 milhões de hectares de unidades de conservação na Amazônia. Este programa é uma parceria entre o MMA, o IBAMA, governos estaduais e municipais, o Fundo para o Meio Ambiente Global (GEF), o Banco Mundial, o KfW (Banco de cooperação do governo da Alemanha), a GTZ (Agência de cooperação da Alemanha), o WWF-Brasil (Wildlife World Foundation) , o Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (Funbio), e organizações da

sociedade civil. Juntos, esses parceiros comprometeram-se em investir US\$ 400 milhões ao longo de 10 anos, na criação, consolidação e manutenção de áreas protegidas na Amazônia.

De acordo com Becker (2004), “a ação combinada de processos globais, nacionais e locais, e políticas contraditórias⁴ – ambientais e de desenvolvimento – alteram o povoamento da região, expressando-se territorialmente no embate entre três grandes padrões de uso da terra: (a) a reprodução da extração de madeira/expansão da pecuária/desflorestamento; (b) as experiências sustentáveis de extrativismo florestal e de pesqueiro tradicional melhorados; (c) e a agropecuária capitalizada”. Some-se a isso a ampliação da rede de áreas protegidas. O desafio para a modelagem de uso da terra na Amazônia é justamente incluir o embate entre estas forças em modelos computacionais.

2.1.3 Novas áreas de expansão e eixos futuros de desenvolvimento

Esta Seção apresenta um resumo do atual processo de desflorestamento na Amazônia, focando na distribuição espacial das novas áreas de expansão e dos potenciais futuros eixos de desenvolvimento. Atualmente, a principal área de desflorestamento é o Arco, especialmente no norte do Mato Grosso e sudeste do Pará (INPE, 2005). Porém, conforme a disponibilidade de terra diminui no Arco, e aumenta o controle social, o processo de desflorestamento tende a migrar para novas áreas de ocupação. Estas novas áreas estão principalmente concentradas na Amazônia Central, como ilustrado na Figura 2.2. A Figura 2.2 também mostra áreas ainda ativas no Arco, e os possíveis futuros eixos de desenvolvimento, como inicialmente apresentado por Escada (2005b), combinando dados recentes de desflorestamento (INPE, 2005) para as novas fronteiras de verificação de (BECKER, 2004, 2005).

⁴ Uma tentativa inovadora de conciliação entre políticas de conservação e desenvolvimento está sendo proposta num plano para a área de influência da BR 163, a Cuiabá-Santarém, cuja pavimentação está prevista no PPA 2004-2007. Um conjunto de políticas está sendo proposto para minimizar impactos negativos e induzir desenvolvimento. Estas políticas incluem medidas de ordenamento territorial e fundiário, incentivos para atividades produtivas, obras de infraestrutura. O objetivo de desenvolver um novo modelo de ocupação que poderá futuramente ser adaptado a outras áreas. Processo semelhante começa a ocorrer também na BR 319, a Porto Velho-Manaus, como discutido na próxima seção.

Estas novas fronteiras são diferentes daquelas dos anos 60 e 70 (Becker, 2004, 2005). Elas são promovidas por atores (indústria madeireira, criadores de gado e produtores de soja) instalados na região. As três principais novas áreas de expansão são (Becker, 2005):

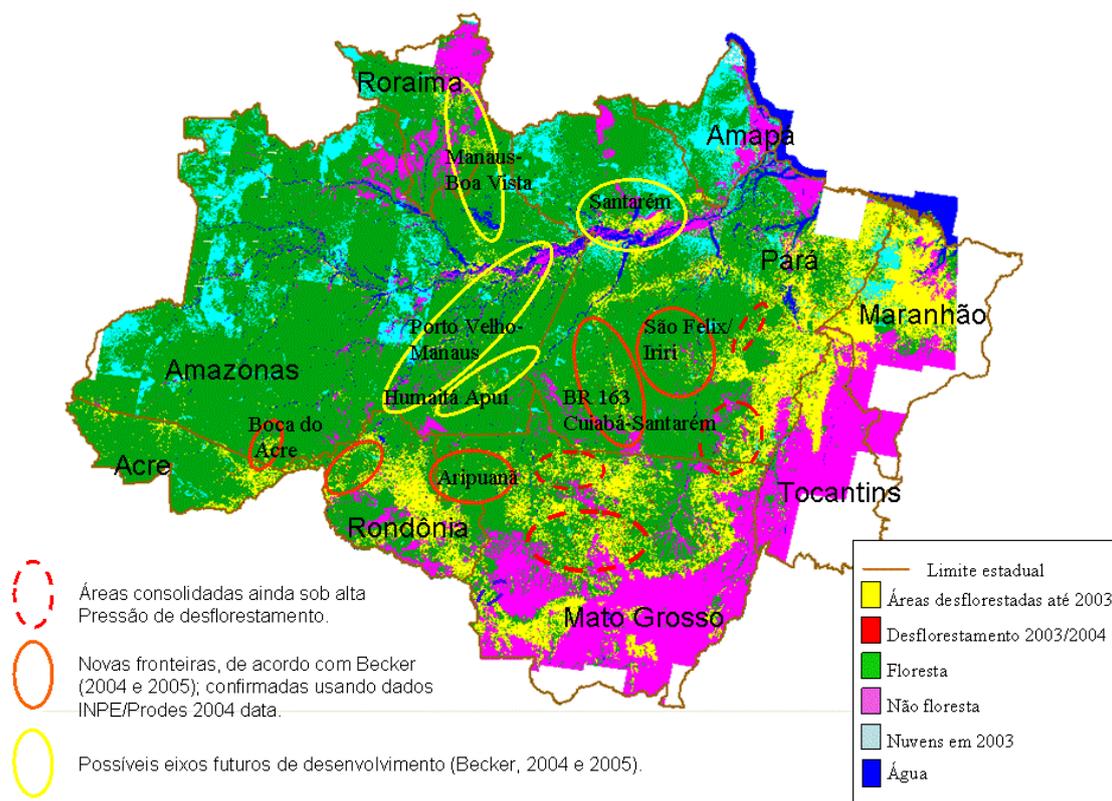


FIGURA 2.2 – Novas fronteiras e futuros eixos de desenvolvimento na Amazônia Brasileira.

Fonte: adaptado de Escada et al. (2005b)).

- *Cuiabá-Santarém*: consiste na área do estado do Pará atravessada pela rodovia BR 163. É uma extensão das fronteiras de gado/madeira vindo do Estado do Mato Grosso, intensificada nos últimos anos devido à perspectiva do asfaltamento da rodovia, desde o plano Avança-Brasil, como discutido na Seção 2.2. Existe ainda uma convergência de criadores de gado no Pará vindos da rodovia Transamazônica. Em 2003, o anúncio da intenção do governo federal de pavimentar a rodovia BR

163 causou um processo de especulação imobiliária. Grandes extensões de áreas foram apropriadas pela produção de soja. Houve uma forte reação dos setores ambientais. Este debate levou a uma proposta de um conjunto integrado de políticas para a área, como mencionado na seção anterior. Em 2005, houve uma redução das taxas de desflorestamento nesta área (INPE, 2005). Além das ações de comando e controle focadas na região (BRASIL, 2004, 2005), outros fatores, como a queda do preço da soja no mercado externo, podem também ter contribuído para a redução nas taxas de desflorestamento nesta área.

- *Iriri/SãoFelix*: criadores de gado de São Felix do Xingu, Estado do Tocantins e Estado de Goiás levaram a um processo de expansão na área conhecida como “Terra do Meio”, uma área cercada por terras indígenas, entre os rios Iriri e Xingu. Estradas são abertas pelos próprios fazendeiros, com o suporte dos governos municipais locais, incluindo uma conexão com a rodovia Cuiabá-Santarém. A perspectiva dos produtores locais está mais voltada mais para a produção de carne do que para a soja. Nos municípios de São Felix, Tucumã e Ourilândia, uma cadeia de mercado de carne muito bem organizada já está instalada (ESCADA et al., 2005a; GEOMA, 2003; MERTENS et al., 2002; POCCARD-CHAPUIS, 2004). Solos férteis e o clima úmido são apontadas pelos criadores de gado como os principais atrativos desta área (ESCADA et al., 2005a). O rebanho de gado aumentou 780% de 1997 até 2004 (Escada et al., 2005a), e atualmente tem 10% do rebanho total do estado do Pará. São Felix do Xingu apresenta uma das taxas de desflorestamento mais altas dos últimos anos, porém em 2005 um declínio nesta taxa também foi notado nesta área (INPE, 2005). Medidas de controle têm sido tomadas na região (BRASIL, 2005), incluindo a criação de um mosaico de áreas protegidas.
- *Corredor do Rio Madeira*: inclui toda a área sob influência do rio Madeira, uma hidrovía importante que conecta o Estado de Rondônia a Manaus, no coração da Amazônia. Esta nova fronteira não consiste de uma única localidade, mas de diversas áreas no sul do estado do Amazonas, combinando múltiplos atores e processos. Em conjunto, estas localidades formam uma área de expansão significativa (BECKER, 2004; 2005), que inclui: (a) a rodovia Rio Branco-Boca do

Acre, o sul do município de Labrea, e a área de Humaitá-Labrea, ocupadas por pastagens; (b) Manicoré, onde as terras têm sido apropriadas por grupos de Rondônia e Mato Grosso para a produção de soja; (c) Apuí, com uma forte produção ilegal de madeira; e (d) a rodovia Porto-Velho Manaus, especialmente nos municípios de Humaitá e Cassutana, que constitui a localidade com expansão mais recente, tecnicizada e rápida, onde fazendeiros capitalizados do sul estão formando grandes fazendas mecanizadas para produção de soja. O processo expansão no corredor Madeira não tem sido tão forte como o das duas outras fronteiras nos últimos anos. Mas a perspectiva de reconstrução da rodovia Porto Velho-Manaus (BR-319) tem causado preocupação do setor ambiental. O governo delimitou a área sob influência da rodovia BR 319, ALAP (Área sob Limitação Administrativa Provisória), e pretende realizar o ordenamento desta área, para mitigar os possíveis efeitos negativos da reconstrução da rodovia. A ALAP da BR 319 abrange cerca de 15,4 milhões de hectares, excluídas as terras indígenas já reconhecidas e unidades de conservação já criadas, e envolve 17 municípios do Estado do Amazonas.

Outro aspecto que deveria ser enfatizada na Figura 2.2 é a heterogeneidade das novas fronteiras em termos do estágio de ocupação e intensidade do desflorestamento. Isto indica uma heterogeneidade temporal entre as novas fronteiras e a existência de condições locais diferenciados entre as mesmas.

Como mencionado acima, em 2005 o governo executou várias ações conjuntas da Polícia Federal e IBAMA do tipo “comando e controle” na Amazônia, para conter o desflorestamento ilegal e extração ilegal de madeira (BRASIL, 2004, 2005). As taxas de desflorestamento aumentaram de 2001 para 2004 de 18.165 km² para 27.971 km². Em 2005, as taxas estimadas caíram para 18.900 km² (INPE, 2005). As ações da Polícia Federal na região e os baixos preços de soja no mercado internacional podem explicar a redução em 2005, o que não indica necessariamente uma tendência. As ações de comando e controle foram principalmente concentradas na rodovia Cuiabá-Santarém, no norte do Mato Grosso, na área de São Felix/Iriri, e também em algumas áreas no sul do Amazonas (BRASIL, 2004, 2005). De acordo com INPE (2005), um decréscimo na

intensidade do desflorestamento foi identificado nestas áreas, porém o aumento da pressão em outras áreas, tal como o sul do Pará, como ilustra a Figura 2.3.

Outra área da Amazônia Central que merece atenção são as margens do rio Amazonas na região de Santarém, onde uma nova área de produção de soja tem sido organizada (BECKER, 2005). O conhecimento sobre estas novas fronteiras e futuros eixos de desenvolvimento será utilizado em nosso processo de modelagem para selecionar e refinar modelos estatísticos que capturem corretamente áreas mais suscetíveis a mudanças. Modelos que capturem melhor as dinâmicas destas novas regiões serão adotados na análise de políticas alternativas, como discutido no Capítulo 5.

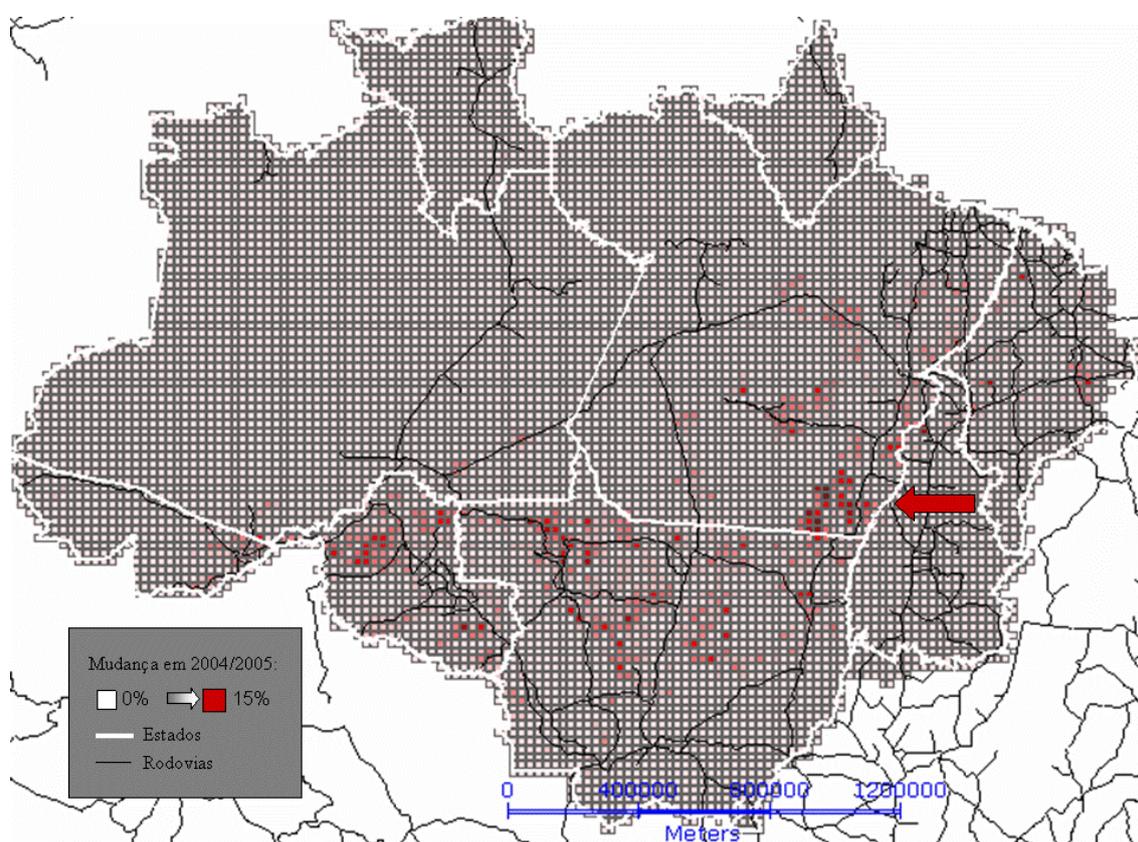


FIGURA 2.3 – *Hot-spots* de desflorestamento em 2005.
Fonte: INPE (2005).

2.2 Revisão de modelos LUCC anteriores na Amazônia Brasileira

2.2.1 Análise estatística de fatores de uso da terra

Esta Seção apresenta uma revisão de trabalhos anteriores sobre fatores relacionados a mudanças no uso da terra na Amazônia, focando principalmente em estudos que considerem toda a região. Para outras áreas de florestas tropicais, Kaimowitz e Angelsen (1998) apresentam uma vasta revisão sobre modelos de desflorestamento. Uma das abordagens revistas é o uso de *métodos econométricos*. Dentro desta linha, Reis e Guzmán (1994) desenvolveram uma análise econométrica não espacial do desflorestamento para toda a região usando dados municipais. Na sua análise, *densidade da população*, *a densidade da malha de rodovias* e *a extensão de áreas cultivadas* foram os fatores considerados mais importantes.

Também utilizando métodos econométricos, Andersen e Reis (1997) analisaram os fatores determinantes no desflorestamento de 1975 até 1995, utilizando dados municipais para toda a região. Os resultados indicam que o desflorestamento foi inicialmente causado pela ação governamental associada à construção de rodovias e ao estabelecimento de programas de desenvolvimento. Depois, forças do mercado local se mostraram como o fator mais importante, substituindo as ações governamentais como fatores principais de desflorestamento. O modelo deles indicou que as mudanças no uso da terra estão relacionadas a onze fatores: *distância à capital federal*, *extensão da rodovia*, *desflorestamento prévio na área*, *desflorestamento prévio em municípios vizinhos*, *densidade da população rural*, *preço da terra*, *crescimento do GDP urbano*, *tamanho do rebanho bovino*, *mudança no tamanho do rebanho bovino*, *mudança na produção agrícola*, e *mudança no preço da terra*.

Pfaff (1999) analisou fatores determinantes no desflorestamento utilizando um modelo econométrico para toda a região, com base em dados municipais de 1978 até 1988, e dados de desflorestamento obtidos através de sensoriamento remoto. Seus resultados indicam a relevância de variáveis biofísicas (*qualidade do solo e tipo de vegetação*), variáveis relacionadas com o transporte (*densidade da malha rodoviária na área e em*

suas redondezas), e variáveis relacionadas ao governo (*políticas de desenvolvimento*). A *densidade populacional* foi considerada um fator significativo apenas quando o modelo utilizou uma formulação não linear (quadrática). O autor concluiu que, em áreas ocupadas recentemente, a migração inicial possui um maior impacto no desflorestamento que os assentamentos posteriores.

Margulis (2004) apresenta um modelo econométrico que analisa a ocupação da Amazônia quantificando as relações no espaço e no tempo das principais atividades agrícolas (extração de madeira, pastagem e colheitas), e seus efeitos na região desflorestada. Ele também considerou os *fatores ecológicos e econômicos* condicionando estes relacionamentos. Os modelos são baseados num painel de dados municipais de cinco censos agrícolas, de 1970 até 1996, complementados por informações geocológicas (*cobertura vegetal, relevo, média de chuvas em junho*), e o custo de transporte (*custo de transporte até São Paulo por rodovias*). Os resultados indicam: (a) não há evidência da precedência entre a extração de madeira e pastagens; (b) a chuva parece ser um grande determinante agroecológico; (c) a redução nos custos de transporte induz uma intensificação, porém os resultados não são conclusivos em relação a intensidade no aumento ou redução no desflorestamento.

O segundo tipo de pesquisa sobre as causas de mudança no uso de terra na Amazônia estuda os fatores sociais baseados em dados municipais e de sensoriamento remoto. Perz e Skole (2003) desenvolveram um modelo de regressão espacial para vegetação secundária utilizando *indicadores sociais* como fatores determinantes. Eles utilizam dados dos censos demográfico (1980 e 1991) e agropecuário (1980 e 1985) do IBGE, agregados num nível municipal. Os resultados mostram que os fatores possuem uma variação significativa entre as três sub-regiões consideradas pelos autores (*remotos, fronteira, consolidado*), e que análises de fatores determinantes de mudanças no uso de terra na Amazônia deveriam considerar as diferenças intrarregionais.

Uma terceira linha de trabalho utiliza células regulares como unidades de análise. Laurance et al. (2002) desenvolveu análises estatísticas para verificar a importância relativa de 10 fatores em duas resoluções espaciais: 50 x 50 km² e 20 x 20 km². As

principais conclusões deste trabalho foram que tanto na escala mais fina, como na mais grosseira, três fatores foram considerados os mais relevantes para o desflorestamento: *densidade populacional, distância a estradas, e extensão da estação da seca*. Kirby et al. (2006) refinam esta análise, e reforçam que estradas, pavimentadas ou não, são os principais fatores determinantes de desflorestamento.

Uma quarta linha de trabalho são análises sub-regionais que consideram áreas específicas e fatores localizados. Soares-Filho et al. (2002) analisou uma pequena área colonizada no norte do Mato Grosso durante dois períodos: 1986-1991 e 1991-1994. Modelos de regressão logísticos foram construídos para analisar os fatores determinantes para as seguintes transições: floresta-desflorestamento, desflorestamento-vegetação secundária, e vegetação secundária para remoção de vegetação secundária. Os fatores considerados foram: *tipo de vegetação, fertilidade do solo, distância até rios, distância até as principais rodovias, distância a desflorestamentos, distância a vegetações secundárias, fatores de atração urbana*. Mertens et al. (2002) estudou os padrões de desflorestamento na região de São Felix do Xingu (estado do Pará). A área de estudo foi dividida em sub-regiões de acordo com padrões identificados por sensoriamento remoto, e relacionados a diferentes tipos de atores sociais. Então, modelos de regressão logística foram construídos para analisar fatores determinantes pelo tipo de ator em três períodos de tempo (antes de 1986, 1986-1992, 1992-1999). Os fatores analisados foram: *presença de áreas de colonização, presença de áreas protegidas, presença de relevos, distância até cidades, distância até vilas, distância até indústria de leite, distância até rodovias, distância a estradas secundárias, e distâncias até rios*.

A análise estatística executada nesta tese soma a esses esforços anteriores em três aspectos: (a) a maioria dos estudos anteriores na Amazônia é restrita a fatores determinantes do desflorestamento, enquanto este trabalho avança um passo, decompondo padrões de desflorestamento em pastagens, agricultura permanente e temporária; (b) a região Amazônica é dividida em três macrorregiões para verificar diferenças intrarregionais na importância relativa dos fatores determinantes; (c) em adição aos fatores socioeconômicos e biofísicos usualmente adotados, nós incluímos

medidas de conectividade a mercados nacionais e a portos, e introduzimos indicadores de estrutura agrária que não foram utilizados anteriormente. A abordagem de análise estatística será descrita no Capítulo 4.

2.2.2 Modelos projetivos recentes e construção de cenários

Nesta Seção, o foco são trabalhos de modelagem LUCC recentes na Amazônia, que tiveram como objetivo projetar mudanças no uso da terra nas próximas décadas. Estes estudos analisam os impactos dos planos de infraestrutura do governo federal, e incluem os trabalhos de: Laurance et al. (2001), Nepstad et al. (2001), Andersen et al. (2002) e Soares-Filho et al. (2006). Para cada modelo, nós revisamos os fatores considerados, os cenários construídos, e os resultados principais. São também discutidas as abordagens projetivas adotadas pelos diferentes modelos.

Laurance et al. (2001) discutem o futuro da Amazônia utilizando um modelo simples baseado em operações de SGI (mapa de distâncias), e na suposição que a infraestrutura de estradas é o principal fator no processo de desflorestamento. Dois cenários alternativos são considerados, de acordo com: (1) a estimativa da extensão de áreas degradadas em volta de obras de infraestrutura existentes e planejadas; (2) o impacto estimado de áreas protegidas. Os autores extrapolaram linearmente para o futuro (2020) o relacionamento obtido empiricamente entre padrões espaciais passados de desflorestamento e distâncias a estradas. O modelo não considera a heterogeneidade biofísica e socioeconômica da Amazônia. Padrões projetados apresentam formas de mapas de distância uniformes ao redor de rodovias existentes e planejadas e outras infraestruturas através de toda a região. Resultados de modelos que incluem rodovias planejadas indicam que em 2020, 28% da Amazônia será desflorestada ou altamente degradada num cenário otimista, e 42% num cenário não otimista. Os novos planos de infraestrutura são responsáveis por um aumento na taxa de desflorestamento de 2.690 km² por ano no cenário otimista, e 5.060 km² por ano no cenário pessimista. O trabalho é um exemplo de confusão entre determinantes espaciais que estão relacionados à localização do desflorestamento, e fatores subjacentes que condicionam a quantidade de modificação.

Nepstad et al. (2001) também extrapola padrões espaciais de desflorestamento para prever quantidades futuras, tomando rodovias como o principal fator gerando o desflorestamento. Baseado em corredores de 100 km centrados nas rodovias, o modelo prevê que os 6.245 km de rodovias federais planejadas causariam o desflorestamento adicional de uma área de 120.000 km² (com base nas taxas de desflorestamento mais baixas ao longo das principais rodovias pavimentadas, 29%) e 270.000 km² (com base nas taxas de desflorestamento mais altas ao longo das principais rodovias pavimentadas, 58%) nos próximos 20 a 30 anos.

Andersen et al. (2002) desenvolveu um modelo econométrico da dinâmica de desflorestamento na Amazônia, também empregado para analisar o impacto de infraestrutura federal planejada. Utilizando dados em nível municipal de 1970 até 1999, os autores propõem um modelo com seis variáveis endógenas (dependentes): área de remoção da vegetação, crescimento do PIB rural e urbano, crescimento da população rural e urbana, e crescimento do rebanho bovino. O modelo utiliza dados socioeconômicos e de crédito federal como variáveis independentes. Os resultados em relação aos impactos das obras de infraestrutura são diferentes daqueles obtidos por Laurance et al. (2001) e Nepstad et al. (2001). Os resultados do modelo indicam que a infraestrutura federal planejada irá encorajar uma intensificação e crescimento urbano, e *diminuir o desflorestamento total*, em relação à situação na qual as obras não são construídas. A diferença principal entre o modelo de Andersen et al. (2002) e os outros dois modelos são: (a) a inclusão de variáveis socioeconômicas, tais como a população, renda e preço de terras; e (b) a separação clara dos efeitos da construção de rodovias e dos efeitos de créditos subsidiados no passado. A inclusão do desflorestamento existente nas equações permite a distinção entre o impacto da infraestrutura em áreas virgens e áreas mais consolidadas. O resultado dos modelos mostra que obras para melhorar estradas existentes influenciam de forma positiva os preços da terra, encorajando a intensificação do uso da terra, e, portanto levando a ganhos econômicos. A principal desvantagem desta abordagem de modelagem é não ser espacialmente explícita.

Uma abordagem diferente foi adotada por Soares-Filho et al (2006, 2005). Os autores desenvolveram um modelo com dois componentes, separando o cálculo das taxas de desflorestamento da alocação destas taxas no espaço. Seis cenários representando diferentes níveis de Governança são analisados. Os cenários diferem no grau de manutenção das reservas legais em propriedades privadas, e na extensão e efetiva manutenção das áreas protegidas. Existem dois cenários extremos: o cenário de governança total e o “business as usual”. O cenário governança baseia-se na hipótese de redução gradual nas taxas de desflorestamento e que o desflorestamento nas áreas privadas seja limitado a 50% das áreas de floresta. Este cenário também prevê a expansão de áreas protegidas para 41% do total de área de floresta e que 100% da floresta nas áreas protegidas permaneçam intactos. No outro extremo, no cenário “business as usual”, as áreas protegidas perderiam 40% de suas áreas de florestas. Cenários intermediários incorporam um subconjunto de medidas de governança gradualmente ao cenário “business as usual”.

Para *calcular as taxas de desflorestamento*, a bacia Amazônica foi subdividida em 40 sub-regiões. O modelo projeta taxas de desflorestamento para cada sub-região utilizando tendências históricas, somadas a um fator positivo para incorporar o efeito de obras infraestrutura. Taxas em cada sub-região variam também de acordo as tendências esperadas em determinado cenário (aumentando ou diminuindo), e o nível de cumprimento da lei em áreas protegidas e privadas hipoteticamente esperado em cada cenário. A taxa global para toda a Amazônia é a composição de taxas individuais de sub-regiões. O *modelo de alocação* considera que a proximidade de centros urbanos aumenta o desflorestamento. O desflorestamento é menor mais próximo de terrenos baixos de inundação, e em regiões elevadas e íngremes; não é influenciado pela qualidade do solo e tipo de vegetação, e não segue necessariamente a rede de rios principais. Distância a áreas desflorestadas previamente, e distância a rodovias (incluindo ambas, pavimentadas e não pavimentadas) são os fatores mais fortes para

previsão do desflorestamento, e reservas indígenas são importantes em retardar o desflorestamento⁵.

Os resultados do modelo indicam que a pavimentação da rodovia Manaus–Porto Velho, que atravessa uma região com poucas áreas protegidas e poucos assentamentos humanos, promovem *mais desflorestamento* do que a pavimentação da rodovia Cuiabá–Santarém. O modelo “business as usual” prevê a remoção de 40% do total de floresta em 2050; em torno de 250.000 km² deste desflorestamento seria creditado a novos projetos de pavimentação. Os cenários de governança intermediários indicam que a expansão e o controle efetivo das áreas protegidas poderiam evitar um terço de desflorestamento projetado, mas a conservação de terras privadas é também necessária para reduzir o desflorestamento. Os autores sugerem que a comunidade internacional pode influenciar a redução do desflorestamento, através de pressões do mercado internacional para a aplicação de métodos ecologicamente seguros na produção de carne, soja e outras commodities agrícolas. Este trabalho representa um avanço em relação aos anteriores ao incorporar o conceito de governança na construção de cenários. Na perspectiva da modelagem LUCC propriamente dita, os autores utilizam as mesmas suposições de Laurence et al. (2001) e Nepstad et al. (2001), sobre os efeitos de determinantes espaciais locais de mudanças (rodovias e a existência de áreas protegidas) nas taxas globais de desflorestamento, como será discutido abaixo.

Em resumo, a projeção da quantidade de mudanças apresentada por Laurance et al. (2001) e Nepstad et al. (2001) assumem que os padrões *espaciais* passados de desflorestamento ocorrerão novamente em áreas de floresta virgem ou áreas pouco ocupadas. Eles também assumem que determinantes espaciais são uma causa em si do desflorestamento. Soares-Filho et al. (2006) também adotam como premissa que as taxas globais de desflorestamento aumentam quando as rodovias são pavimentadas, de acordo com padrões espaciais passados, e são reduzidas, como uma medida geral para toda a região, quando as áreas protegidas são criadas. Por outro lado, Andersen (2002) e Margulis (2004) indicam que rodovias pavimentadas nem sempre causam um aumento

⁵ Estes resultados de análise estatística contrastam em diversos aspectos com os obtidos nesta tese (Capítulo 4), devido à abordagem em relação à escala de estudo, como discutido na Seção 6.2.

nas taxas de desflorestamento, pois podem causar uma intensificação no uso da terra em áreas mais consolidadas. O modelo de Soares-Filho et al. (2005) assume que o impacto da pavimentação de rodovias é maior em áreas virgens, mas não incorpora a possibilidade de intensificação, e possíveis *feedbacks* negativos das obras de infraestrutura nas taxas de desflorestamento.

Utilizando padrões passados para determinar a quantidade de mudanças não leva em conta as novas fronteiras da Amazônia são diferentes das fronteiras dos anos 70 (Becker, 2005). A quantidade de mudanças sobre toda a região é condicionada por uma malha de fatores subjacentes, incluindo demandas locais, nacional e internacional para carne, madeira, e soja, que agem como uma força contrária a medidas institucionais. Políticas e forças econômicas locais também são fatores importantes (Becker, 2004). As últimas evidências de dados de desflorestamento (INPE, 2005) indicam a existência de interações intrarregionais. Políticas de governança aplicadas a uma região, tal como a criação de áreas protegidas, pode induzir a ocupação de outras áreas. Portanto, a criação de áreas protegidas necessariamente não resulta em decréscimo na taxa de desflorestamento, desde que existam áreas virgens a serem ocupadas. Medidas para melhorar as condições numa certa área, tais como pavimentar rodovias e fortalecer determinadas cadeias produtivas, podem *favorecer a ocupação daquela área em detrimento de outras*. Estudos prévios não capturam estes processos, pois são baseados em premissas rígidas em relação aos efeitos das políticas públicas. Estas interações intrarregionais precisam melhor entendidas. Em nosso modelo, as interações intrarregionais emergem como o resultado das seguintes premissas:

- *A região Amazônica é dividida em três grandes macroregiões: o Arco Densamente Povoadado, a Amazônia Central e a Amazônia Ocidental (Becker, 2005). As três macrorregiões são utilizadas para explorar a distribuição temporal e espacial não uniforme de mudanças ao longo da região, através de cenários de demanda regionalizada. Soares-Filho et al., 2006 divide seu estudo em 40 sub-regiões, portanto limitando as possíveis interações espaciais a áreas menores. O uso de regiões maiores permite também a emergência de diferenças internas em termos de velocidade de mudança, não restrita a tendências passadas.*

- *A demanda por desflorestamento é uma variável exógena no modelo.* O modelo considera que a demanda para a abertura de novas áreas está relacionada a forças de mercado externas. O aumento ou diminuição da demanda são “proxies” de diferentes condições do mercado, e representam uma maior ou menor pressão para a conversão da floresta determinada pelo agronegócio nacional e internacional. Esta premissa contrasta com trabalhos anteriores (LAURANCE et al., 2001; NEPSTAD et al., 2001), nos quais a demanda por desflorestamento é calculada com base em modificações nas redes de rodovias e áreas protegidas.
- *Separação entre aspectos espaciais de mudanças e a distribuição temporal da quantidade de mudanças.* No modelo de Soares-Filho et al. (2005), as taxas de desflorestamento são calculadas com base na combinação de forças de mercado externas e os efeitos da pavimentação de rodovias, grau de obediência às leis e criação de áreas protegidas. Em contraste, neste trabalho, rodovias e áreas protegidas são incorporadas apenas como determinantes espaciais da localização das mudanças. Elas não influenciam as taxas globais de desflorestamento. Esta abordagem permite a análise tanto dos efeitos locais quanto regionais das políticas, incluindo a pavimentação de rodovias, criação de áreas protegidas, e medidas de controle para aumentar o grau de obediência às leis.

Esta tese analisa o impacto nos padrões de desflorestamento de fatores de acessibilidade, políticas alternativas, e restrições de mercado em cinco explorações de cenários. Cada exploração dá ênfase em um aspecto diferente do processo de ocupação da Amazônia. A abordagem de modelagem é apresentada no Capítulo 5.

CAPÍTULO 3

ÁREA DE ESTUDO E CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS

3.1 Área de Estudo

A área de estudo corresponde à área de floresta da Amazônia Brasileira. Todas as variáveis que representam os padrões de uso da terra e os fatores determinantes potenciais são decompostos em células regulares de 25 x 25 km² (*resolução fina*) e 100 x 100 km² (*resolução grosseira*) cobrindo toda a área de estudo, como ilustrado na Figura 3.1. A área de estudo exclui células com uma proporção majoritária de: vegetação não florestal (áreas de cerrado); área fora da Amazônia Legal Brasileira; e cobertas por nuvens, de acordo com o mapa de desflorestamento de 1997⁶ compilado pelo INPE (INPE, 2005). O mapa de 1997 foi escolhido por ser o mais próximo do último Censo Agropecuário realizado no Brasil, em 1996 (IBGE, 1996). Este censo é realizado usualmente a cada 10 anos⁷. Como discutido nas próximas seções, os dados do Censo Agropecuário foram utilizados para decompor os padrões de desflorestamento nos seus principais usos (pastagem, agricultura temporária, etc.), e como fonte de informações sobre fatores determinantes, nas categorias de estrutura agrária e tecnologia.

A área de estudo compreende 5.682 células de 625 km² cada (resolução fina), e 363 células de 10.000 km² cada (escala grosseira). As três macrorregiões propostas por Becker (2005), o Arco Densamente Povoado (denominada Arco neste documento), a Amazônia Central e a Amazônia Ocidental são adotadas como partições do espaço na análise estatística apresentada no Capítulo 4, e na modelagem dinâmica do Capítulo 5. A Figura 3.2 ilustra estas três macrorregiões e os nove Estados da Amazônia.

⁶ Embora 1997 tenha sido um ano de El Niño, o que pode ter influenciado as taxas de desflorestamento daquele ano (INPE, 2005), nós consideramos que isso não afeta nossa análise. Nós analisamos o padrão (*estrutura*) da ocupação, através da informação de área desflorestada acumulada desde o início da ocupação da Amazônia até 1997 (dados *cross-section*), não o desflorestamento ocorrido em 1997 (isto é, a *mudança* neste ano específico), como discutido na introdução desta tese.

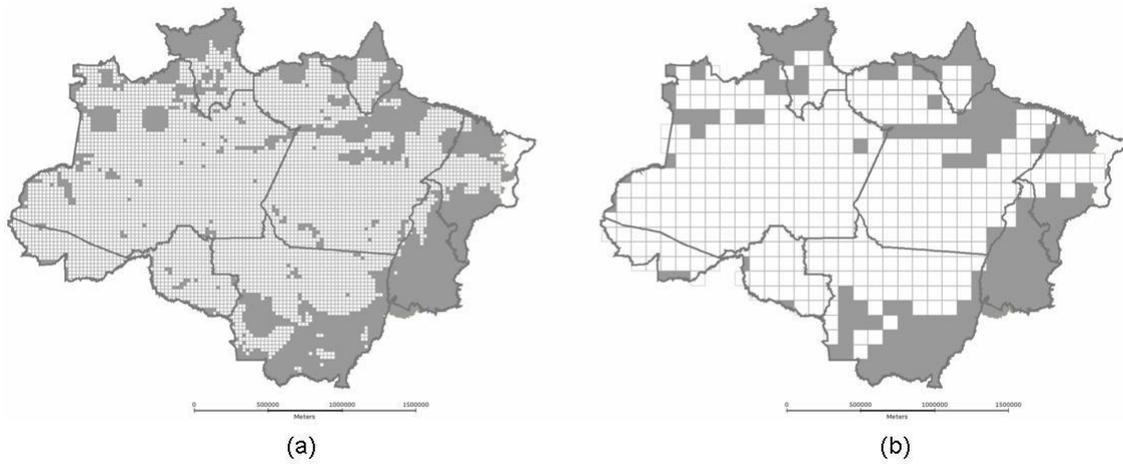


FIGURA 3.1 – Área de estudo, células de: (a) 25 x 25 km²; e (b) 100 x 100 km².

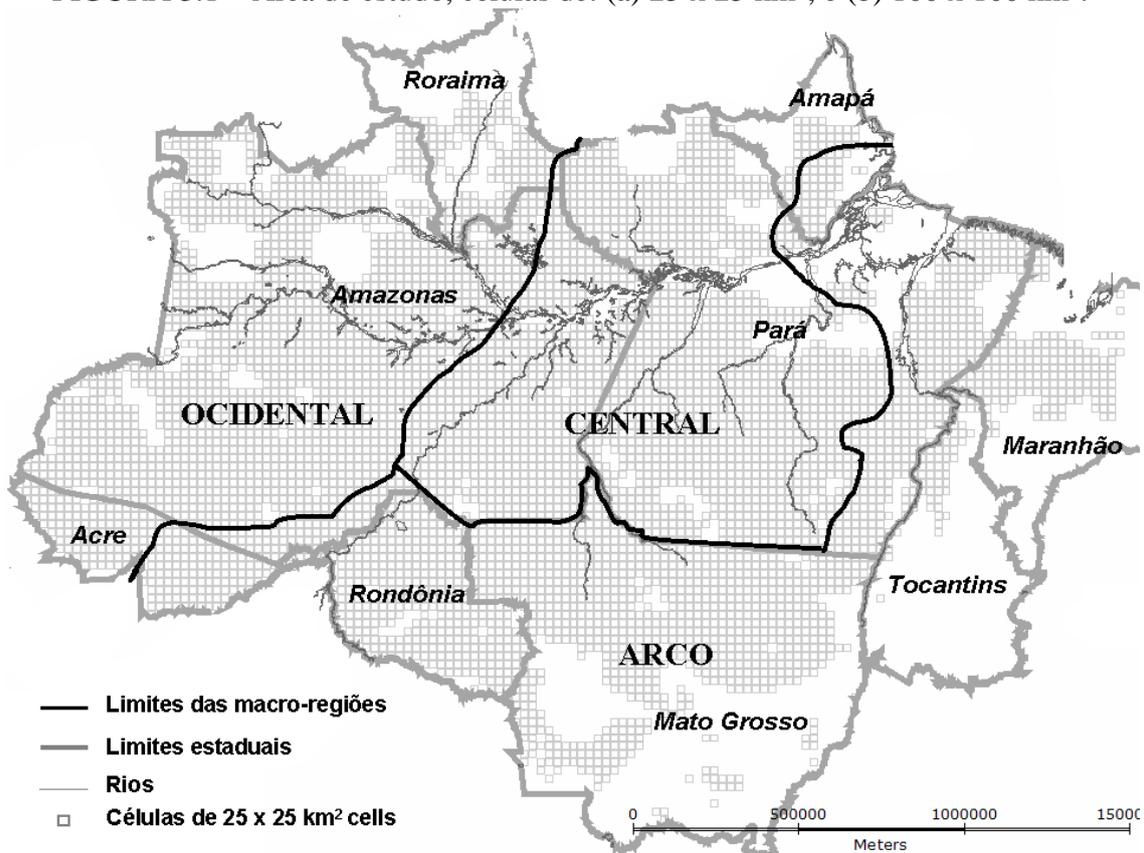


FIGURA 3.2 – Partições do espaço: macrorregiões propostas por Becker (2005).

⁷ Estava prevista a realização de um novo censo agropecuário pelo IBGE em 2006 (não confirmado).

Esta seção está organizada da seguinte forma. A Seção 3.2 apresenta as fontes de dados sobre o uso de terra, e o processo de combinação destas informações em células regulares. A Seção 3.3 apresenta os fatores determinantes candidatos, as fontes dos dados, e o processo empregado para computar os valores das células.

3.2 Padrões de uso da terra

3.2.1 Áreas desflorestadas

A proporção de floresta e desflorestamento para cada célula de 25 x 25 km² e 100 x 100 km² foi calculada com base nos dados de desflorestamento acumulado até 1997, elaborado com base em imagens LANDSAT TM (INPE, 2005). A Figura 3.3 ilustra os padrões resultantes (resolução fina).

3.2.2 Uso agrícola

Os padrões de áreas desflorestadas foram decompostos nos principais usos agrícolas (pastagem, agricultura temporária, agricultura permanente, áreas de agricultura não utilizadas, e floresta plantada), combinando dados de sensoriamento remoto do INPE referentes ao desflorestamento acumulado até 1997 (INPE, 2005) e do Censo Agropecuário de 1996 (IBGE, 1996). Os dados de censo foram convertidos de dados poligonais (municípios) para as células de 25 x 25 km². A comparação entre o total de áreas agrícolas reportadas pelos dados do censo e medidas por sensoriamento remoto mostra diferenças (INPE, 2005). Para contornar esta discrepância, a área total de uso agrícola em cada município foi calculada com base nos dados de sensoriamento remoto, e a proporção dos diferentes usos com base nos dados de censo. O processo de conversão assumiu como premissa que a proporção das classes de uso de terra é uniformemente distribuída nas áreas desflorestadas dos municípios. O detalhamento do processo de combinação dos dados de censo com o mapa de desflorestamento do INPE, baseado em dados de Sensoriamento Remoto (imagens do sensor Landsat TM), é

apresentado no Apêndice A. As Figuras 3.4, 3.5 e 3.6 apresentam o resultado de pastagem, agricultura temporária e permanente, respectivamente.

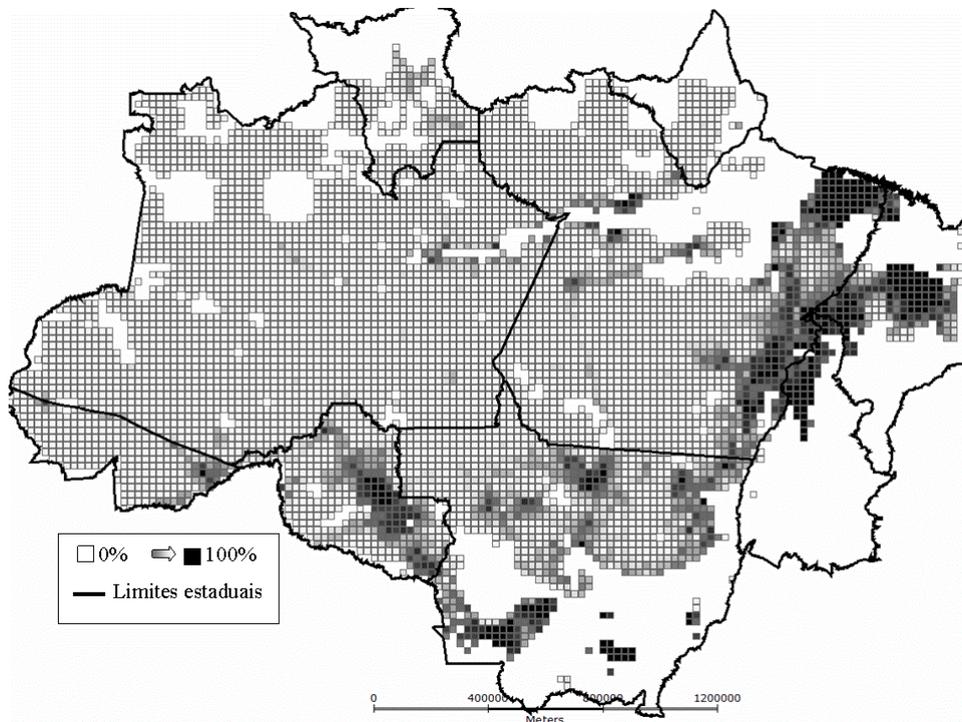


FIGURA 3.3 – Padrão espacial de áreas desflorestadas em 1997 em células de 25 x 25 km²

Fonte: INPE (2005).

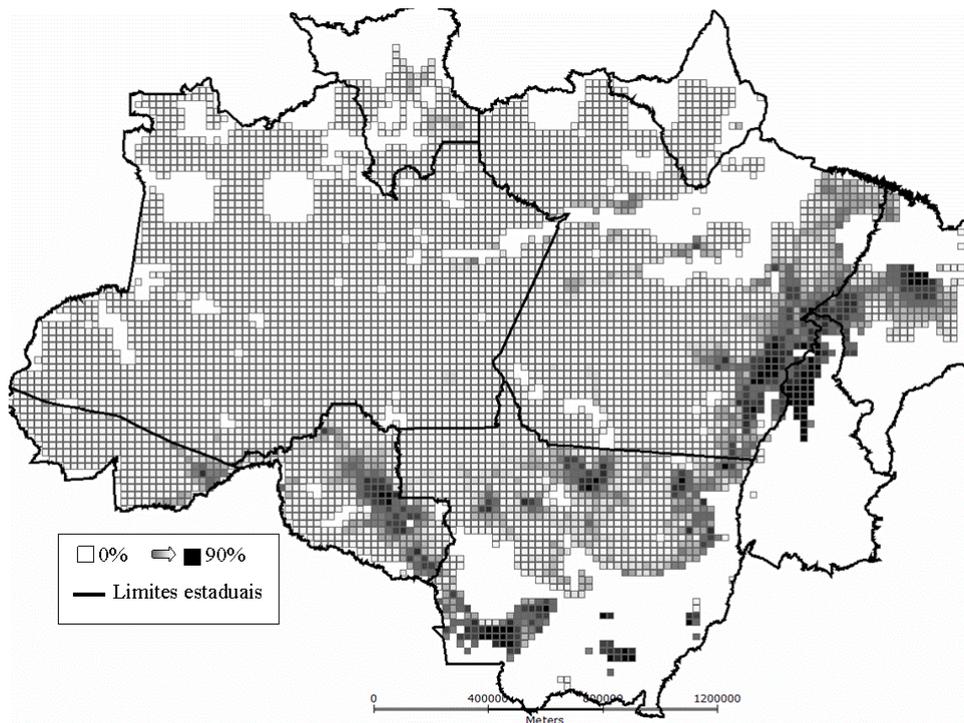


FIGURA 3.4 – Padrão de pastagem em 1996/1997 em células de 25 x 25 km².
Fonte : Censo Agropecuário do IBGE (1996) e INPE (2005).

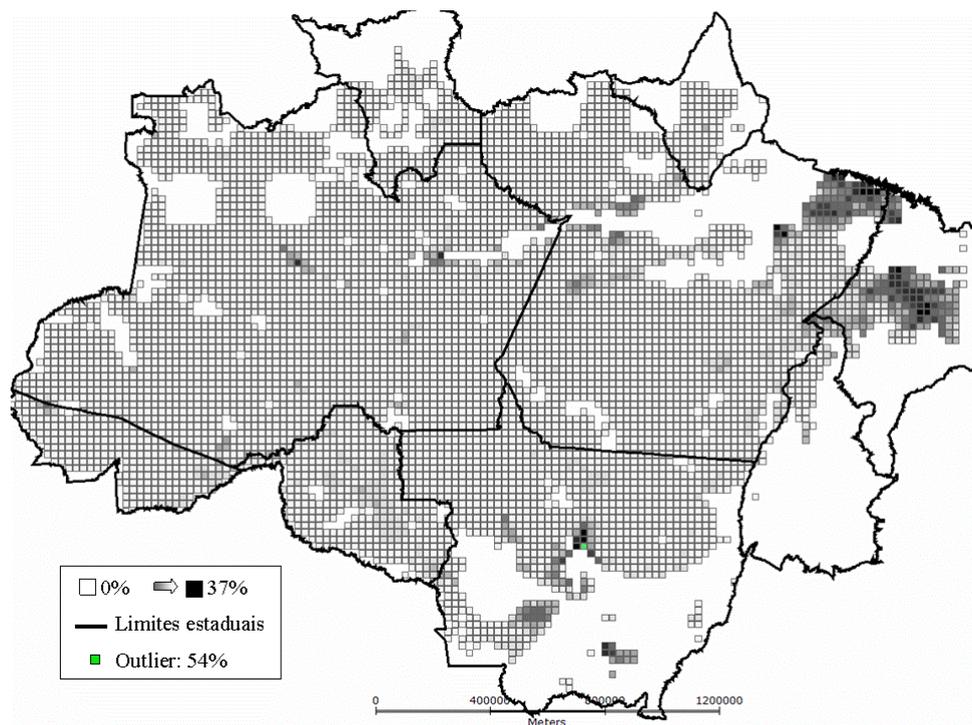


FIGURA 3.5 – Padrão de agricultura temporária em 1996/1997 em células de 25 x 25 km².

Fonte de dados: Censo Agropecuário do IBGE (1996) e INPE (2005)

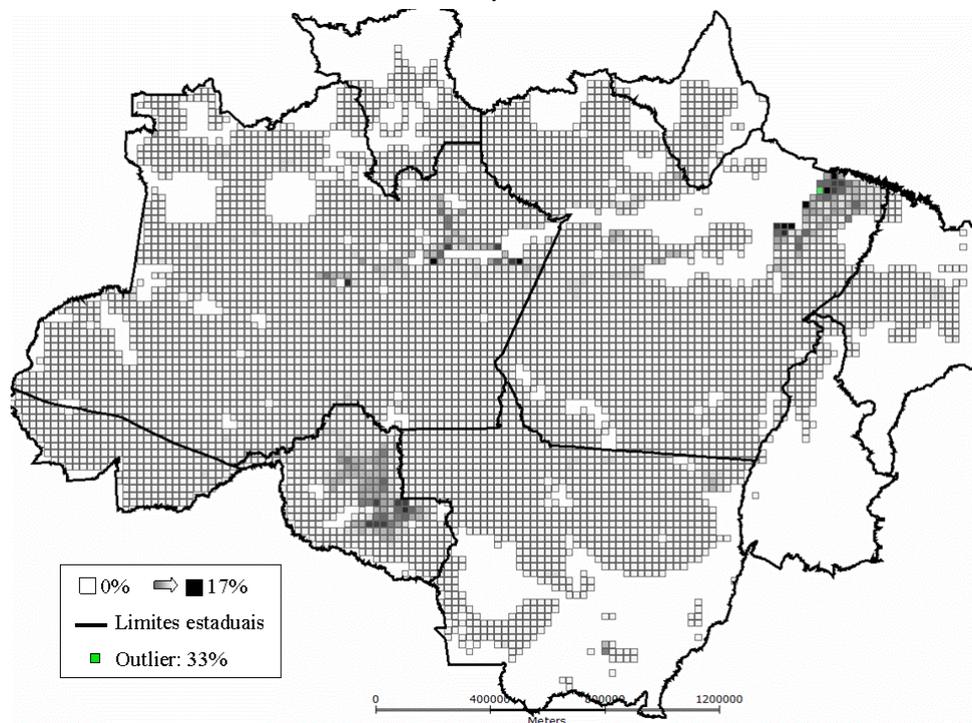


FIGURA 3.6 – Padrão de agricultura permanente em 1996/1997 em células de 25 x 25 km².

Fonte: Censo Agropecuário do IBGE (1996) e INPE (2005).

As áreas de pastagem estão distribuídas por toda a área desflorestada, sendo o principal uso da terra em 1996/1997. As pastagens cobrem aproximadamente 70% da área total desflorestada, em concordância com as estimativas apresentadas por Margulis (2004). Agricultura temporária representa aproximadamente 13% da área desflorestada, e agricultura permanente aproximadamente 3% da área desflorestada. Os padrões de agricultura são consideravelmente mais concentrados do que os de pastagem. A Tabela 3.1 apresenta indicadores quantitativos de heterogeneidade da distribuição de três padrões de uso da terra na região, considerando os diferentes Estados da Federação.

TABELA 3.1 – Comparação de indicadores quantitativos da heterogeneidade no uso da terra na região. O indicador apresenta o número de células de 25 x 25 km² ocupadas pelos usos de terra diferentes.

Estado	Número de células válidas	Número de células com mais de 10% de desflorestamento	Número de células com mais de 10% de pastagem	Número de células com mais de 10% de agricultura temporária	Número de células com mais de 10% de agricultura permanente
<i>Amazonas</i>	2117	102	25	19	6
<i>Pará</i>	1559	485	407	99	13
<i>Mato Grosso</i>	842	507	450	54	0
<i>Rondônia</i>	348	186	166	1	9
<i>Acre</i>	232	43	36	0	0
<i>Maranhão</i>	170	153	140	104	0
<i>Roraima</i>	156	31	21	0	0
<i>Amapá</i>	99	6	1	0	0
<i>Tocantins</i>	59	56	56	6	0
Total	5582	1569	1302	283	28

A agricultura temporária está concentrada principalmente na área nordeste do Estado do Pará e no Estado do Maranhão. O Estado do Mato Grosso e as áreas ao longo dos principais rios no Estado do Amazonas também apresentam uma proporção significativa de agricultura temporária. A classe agricultura temporária considera aproximadamente 80 tipos de culturas, e inclui tanto agricultura de subsistência, como a agricultura mecanizada, mais capitalizada. De acordo com os dados censo do IBGE de 1996 (IBGE, 1996), o padrão de agricultura temporária encontrado no sul da fronteira do Estado do Mato Grosso está relacionado ao início da expansão da agricultura capitalizada

(especialmente soja) nas áreas de floresta (BECKER, 2001). Por outro lado, em áreas de ocupação antigas, tais como o nordeste do Pará e Maranhão, e também em alguns municípios no norte do Mato Grosso, os dados de estrutura agrária indicam uma predominância de pequenos proprietários; nestas regiões, as culturas dominantes eram a mandioca e o milho em 1996 (IBGE, 1996). A agricultura permanente ocupa uma área menor que os outros dois usos, concentrada nas antigas áreas de ocupação do nordeste do estado do Pará e ao longo do rio Amazonas, e também em Rondônia onde a ocupação está relacionada a projetos de assentamento oficial (BECKER, 2005). Estas características específicas da distribuição de padrões de uso da terra reforçam a necessidade de incluir indicadores de estrutura agrária em nossa análise, como discutido na próxima Seção.

3.3 Fatores determinantes potenciais

O banco de dados construído para esta tese inclui 50 variáveis socioeconômicas e ambientais que representam fatores que poderiam, potencialmente, explicar macro diferenças nos padrões de uso da terra intrarregionais. A seleção de fatores candidatos, e variáveis correspondentes, foi realizada por meio de um processo iterativo, realizado em várias etapas, incluindo múltiplas escolhas.

Foi inicialmente realizada uma pré-seleção de fatores com base numa revisão de literatura sobre o processo de ocupação da Amazônia e sobre estudos empíricos semelhantes realizados na região, sumariados no Capítulo 2. O Apêndice B apresenta a lista completa de fatores levantada nesta fase. Então esta lista foi refinada de acordo com a disponibilidade de dados. Por exemplo, informações referentes a dados de crédito federal para toda a Amazônia e preço da terra, consideradas relevantes na revisão de literatura, não foram incluídas pela dificuldade em obter os dados na fase de construção do banco. Como os dados de uso da terra estão relacionados com o período de 1996/1997, as fontes de dados utilizadas para os fatores determinantes são compatíveis com este período. Diversos outros fatores foram também inicialmente considerados, como fatores sociais (indicadores de renda, educação, saúde), que poderiam ser obtidas no censo 2000. Considerando a rapidez de mudança de uso do solo, optou-se por reduzir

ao máximo a mistura de dados de vários anos, e que os dados disponíveis no Censo Agropecuário de 1996 (como estrutura agrária e tecnologia), incorporam algumas das diferenças socioeconômicas. A seleção de variáveis enfatiza por outro lado fatores mais voltados a políticas públicas de infraestrutura (acessibilidade) e conservação (áreas protegidas), que possam subsidiar a modelagem dinâmica e construção de cenários no Capítulo 5. Uma vez definidos os fatores de interesse, e verificada a disponibilidade de dados, foi realizada uma nova etapa de refinamento, na qual foram definidas e calculadas uma ou mais variáveis relativas a cada fator (por exemplo, umidade do ar foi considerada um fator ambiental importante; foram então calculadas, no formato celular, quatro variáveis referentes a este fator: umidade no primeiro, segundo e terceiro quadrimestre do ano, e umidade nos três meses mais secos do ano). A lista final de variáveis computadas para este estudo é apresentada na Tabela 3.2. O processo de modelagem apresentado nos Capítulos 4 e 5 inclui novas etapas de refinamento e seleção dessas variáveis, visando minimizar problemas de correlação. As variáveis estão agrupadas em sete categorias:

- *Acessibilidade a mercados*: distância a rodovias, rios e centros urbanos, conexão a mercados nacionais e portos, derivados de mapas cartográficos do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).
- *Atratividade econômica*: capacidade de atrair investimentos e novas ocupações, medidas como distância a polos de produção madeireira e a depósitos minerais. Dados de polos de produção madeireira foram fornecidos pelo IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis) e os dados sobre os depósitos de minerais pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil).
- *Demográficos*: densidade populacional e migrações recentes, com base no censo municipal de 1991 e na contagem de população municipal de 1996 do IBGE.
- *Tecnológicos*: nível tecnológico das fazendas, utilizando indicadores tais como densidade de tratores por propriedade, e porcentagem de propriedades que

utilizaram fertilizantes. Estas medidas utilizam o Censo Agropecuário do IBGE de 1996.

- *Estrutura Agrária*: indicadores da distribuição/concentração de terras, indicando a proporção de pequenas (menores que 200 ha.), médias (entre 200 ha e 1000 ha) e grandes (maiores que 1000 ha) fazendas, em termos do número total de propriedades e da área dos municípios. Estas medidas utilizam o Censo Agropecuário do IBGE de 1996.
- *Políticas Públicas*: fatores relacionados a ações do governo, tais como indicadores associados a projetos de assentamento, e áreas de proteção. Informações sobre projetos de assentamento foram fornecidas pelo INCRA (Instituto Brasileiro de Colonização e Reforma Agrária). Áreas de proteção combinam informações do IBAMA, relacionados às Unidades de Conservação, e a FUNAI (Fundação Nacional do Índio), relacionado a terras indígenas.
- *Ambientais*: variáveis relacionadas a condicionantes biofísicos, tais como a fertilidade do solo e o clima. Dados de fertilidade foram derivados dos mapas de recursos naturais do IBGE, integrando informações sobre o tipo de solo, morfologia, textura, e drenagem. Dados sobre clima foram obtidos do INMET.

TABELA 3.2 – Categorias, fatores determinantes potenciais e variáveis no banco de dados celular (células de 25 x 25 km² e células de 100 x 100 km²)

Categoria	Variável do banco de dados celular	Descrição	Fonte
<i>Acessibilidade a mercados</i>	dist_non_paved_road	Distância Euclidiana até uma rodovia não pavimentada mais próxima	IBGE
	dist_paved_roads	Distância Euclidiana até uma rodovia pavimentada mais próxima	IBGE
	dist_roads	Distância Euclidiana até a rodovia mais próxima	IBGE
	dist_rivers	Distância Euclidiana até o rio grande mais próximo	IBGE
	dist_urban	Distância Euclidiana até o centro urbano mais próximo	IBGE
	conn_sp_noweight	Conexão até SP (mercado nacional) através de rede viária	IBGE
	conn_sp	Conexão até SP (mercado nacional) através de rede viária considerando o tipo de rodovia	IBGE
	conn_ne_noweight	Conexão até o nordeste (mercado nacional) através de rede viária	IBGE
	conn_ne	Conexão até o Nordeste (mercado nacional) através de rede viária considerando o tipo de rodovia	IBGE
	conn_mkt_noweight	Conexão máxima a um dos mercados: SP ou Nordeste	IBGE
	conn_mkt	Conexão máxima a um dos mercados: SP ou Nordeste considerando o tipo de rodovia	IBGE
	conn_ports_noweight	Conexão máxima aos portos da Amazônia	IBGE
conn_ports	Conexão máxima aos portos da Amazônia considerando o tipo de rodovia	IBGE	
<i>Atratividade econômica</i>	dist_wood	Distância Euclidiana até os pólos de produção de madeira	IBAMA
	dist_mineral	Distância Euclidiana até os depósitos de todos os tipos de minerais	CPRM
<i>Demográficos</i>	demo_dens_91	Densidade populacional em 1991	IBGE
	demo_dens_96	Densidade populacional em 1996	IBGE
	demo_migr_91	Porcentagem de migrantes em 1991	IBGE
	demo_migr_96	Porcentagem de migrantes em 1996	IBGE
	demo_tx_urban_96	Proporção de população urbana em 1996	IBGE
<i>Tecnológicos</i>	tech_tractor	Número médio de tratores por propriedade	IBGE
	tech_assistance	Porcentagem de propriedades que receberam assistência técnica em relação ao total de propriedades no município	IBGE
	tech_fertilizer	Porcentagem de propriedades que utilizaram fertilizantes em relação ao total de propriedades no município	IBGE
<i>Estrutura Agrária</i>	agr_small	Porcentagem de pequenas, medias e grandes propriedades em termos da área dos municípios	IBGE
	agr_medium		IBGE
	agr_large		IBGE
	agr_nr_small	Porcentagem de pequenas, medias e grandes propriedades em termos do número total de	IBGE
	agr_nr_medium		IBGE
	agr_nr_large	propriedades no município	IBGE
<i>Política</i>	settl_nfamilies_70_99	Número de famílias assentadas até 1999	INCRA
	setl_area_70_99	Área de assentamentos até 1999	INCRA
	prot_all	Porcentagem de Áreas protegidas (qualquer tipo UC ou TI)	IBAMA FUNAI

	prot_il	Porcentagem de Terras Indígenas	
	prot_cu	Porcentagem de Unidades de Conservação	
<i>Ambientais</i>	soil_fert	Porcentagem de solos de alta e média fertilidade	IBGE
	soil_fert_low	Porcentagem de solos de baixa fertilidade	IBGE
	soil_wet	Porcentagem de solos de várzea	IBGE
	clima_q1_temp	Média de temperaturas em Jan, Fev, Mar, Abr	INMET
	clima_q2_temp	Média de temperaturas em Maio, Jun, Jul, Ago.	INMET
	clima_q3_temp	Média de temperaturas em Set, Out, Nov, Dez	INMET
	clima_q1_umidade	Média de umidade em Jan, Fev, Mar, Abr	INMET
	clima_q2_umidade	Média de umidade em Maio, Jun, Jul, Ago.	INMET
	clima_q3_umidade	Média de umidade em Set, Out, Nov, Dez	INMET
	clima_q1_precip	Precipitação total em Jan, Fev, Mar, Abr	INMET
	clima_q2_precip	Precipitação total em Maio, Jun, Jul, Ago.	INMET
	clima_q3_precip	Precipitação total em Set, Out, Nov, Dez	INMET
	clima_precip	Média de precipitação nos três meses subseqüentes mais secos do ano	INMET
	clima_humid	Média de umidade nos três meses subseqüentes mais secos do ano	INMET
	clima_temp	Média de umidade no três meses subseqüentes mais frios do ano	INMET

As seções 3.3.1 até 3.3.7 descrevem o processo de agregação dessas variáveis em células regulares de 25 x 25 km², e ilustram, graficamente, a distribuição espacial dos principais fatores em cada categoria. Uma vez computada na resolução mais fina, todas as variáveis foram agregadas para uma resolução mais grosseira. Para cada variável, cada célula de 100 x 100 km² recebe o valor médio de dezesseis células de resolução fina de 25 x 25 km².

Estas variáveis foram compiladas inicialmente para dar suporte à análise estatística dos fatores determinantes no uso da terra, descrita no Capítulo 4, realizada com base nos dados de uso do solo de 1996/1997. Porém, algumas das variáveis são multitemporais para suportar a modelagem dinâmica e a construção de cenários, como discutido no Capítulo 5. As variáveis dinâmicas são: *conexão a mercados*, *conexão a portos*, *distância a rodovias*, *distância a rodovias pavimentadas*, *distância a rodovias não pavimentadas e áreas protegidas*. A Seção 5.2.5.3 discute as alternativas de evolução temporal destas variáveis, de acordo com os cenários de espaciais explorados nesta tese.

3.3.1 Fatores de acessibilidade a mercados

As medidas de acessibilidade a mercados incluem *conexões a mercados nacionais e aos portos da Amazônia*. Estas variáveis mereceram atenção especial, pois permitem explorar uma das hipóteses básicas desta tese: a inserção no sistema produtivo nacional é essencial para explicar os padrões de desflorestamento e a heterogeneidade intrarregional. Cada célula possui indicadores de conectividade inversamente proporcionais ao caminho mais curto entre centróide da célula e os mercados nacionais e portos, utilizando a rede rodoviária. Quanto maior o valor do indicador, maior o grau de conectividade. Foi feita uma distinção entre estradas pavimentadas e não pavimentadas (estradas não pavimentadas supostamente dobram as distâncias). A Figura 3.7 mostra a variável *conexão a mercados nacionais*, que combina a conexão a São Paulo e ao Nordeste (`conn_mkt`). A Figura 3.8 ilustra a variável *conexão aos portos da Amazônia* (`conn_ports`).

Estas medidas foram computadas utilizando a matriz de proximidade generalizada (GPM – “Generalized Proximity Matrix”), descrita em Aguiar et al., (2003). A GPM é uma extensão da matriz de pesos espaciais utilizadas em muitos métodos de análise espacial (BAILEY; GATTREL, 1995) onde as relações espaciais são computadas levando-se em conta não apenas relações do espaço absoluto (tais como distância Euclidiana), mas também relações do espaço relativo (tais como conexões topológicas na rede). Atualmente, a maioria das estruturas de dados e métodos de análise espacial utilizadas em SGI, e também em modelagem LUCC, adotam a noção de espaço como um conjunto de localizações absolutas num sistema de coordenadas cartesianas. Deste modo falham em incorporar relações espaciais dependentes de conexões topológicas e fluxos em redes. As medidas de conectividade desenvolvidas nesta tese incorporam relações espaciais topológicas e fluxos em redes viárias na análise de fatores determinantes no uso da terra. Como apontado por Verburg et al. (2004), compreender o papel das redes é essencial para compreender a estrutura de uso da terra.

Medidas adicionais de acessibilidade a mercados incluem a *distância euclidiana a rodovias pavimentadas e não pavimentadas, a rios e a centros urbanos*. A variável

distância a centros urbanos é utilizada no contexto desta tese como uma “proxy” para acessibilidade a mercados locais e a serviços básicos⁸. Como ilustra a Figura 3.9, a maioria dos centros urbanos está localizada no Arco, e ao longo dos principais rios nas demais macrorregiões. As Figuras 3.10, 3.11 e 3.12 ilustram, respectivamente, as variáveis: distância a rodovias, distância a rodovias pavimentadas e distância aos rios principais.

3.3.2 Fatores de atratividade econômica

Esta categoria inclui duas variáveis: distância a polos madeireiros e distância a depósitos minerais. A distância a polos madeireiros é medida como a distância euclidiana de cada célula até o polo de madeireiro mais próximo. A distância mínima de cada célula a depósitos minerais foi medida da mesma forma. As Figuras 3.13 e 3.14 ilustram estes dois fatores. Os polos de produção madeireira estão concentrados nos estados de Rondônia, Mato Grosso e nordeste do Pará. Depósitos minerais apresentam uma concentração mais intensa no sudeste dos Estados do Pará e Rondônia.

3.3.3 Fatores demográficos

Esta categoria inclui fatores demográficos derivados de dados de censo no nível municipal. Os valores das variáveis nas células de 25 km² foram computados considerando a média de valores correspondentes em cada município, ponderado pela intersecção da área entre os municípios e a célula. A Figura 3.15 ilustra a densidade populacional de acordo com o censo do IBGE de 1996. Células com densidade populacional *maior que 3 pessoas por km²* estão realçadas. As densidades populacionais na Amazônia são em geral muito baixas, como mostra a Figura 3.15, com concentração em Belém e Manaus, em áreas antigas de ocupação (como na parte nordeste dos estados

⁸ Como tal, uma variável alternativa para este fator poderia ser calculada ponderando a distância pela população. Isso não foi realizado nesta tese por duas razões: (a) o dado de entrada utilizado para calcular esta variável foi o plano de informação “Centralidades” fornecido pelo IBGE, que traz informações sobre a localização de diversos tipos de áreas urbanas, desde capitais até povoados e vilas. A informação sobre o tamanho da população não estava disponível para todos os tipos, apenas para as cidades maiores; (b) uma segunda razão justifica a utilização da variável não ponderada na modelagem dinâmica: a existência de localidades, mesmo pequenas, pode servir como um foco de expansão da ocupação no futuro. Com a expansão, a localidade pode crescer. Limitar a emergência de padrões pelos níveis atuais de população poderia limitar o surgimento de novas frentes.

do Pará e do Maranhão), e áreas de projetos de assentamento do governo (Rondônia, por exemplo).

Optou-se nesta categoria por não separar a densidade populacional rural da urbana. A razão de tal escolha foi, além de minimizar o número total de variáveis, principalmente o entendimento de que a população total do município (urbana + rural) tem importante papel no desflorestamento, pois atua como mercado consumidor de produtos agropecuários, e provedor de mão de obra. As variáveis de estrutura agrária (Seção 3.3.5) por outro lado já seriam um indicativo da densidade populacional rural. Optou-se também por não normalizar a densidade populacional em função das áreas efetivamente ocupadas no município (combinando dados de desflorestamento ou sobre áreas urbanas, como proposto, por exemplo, em Amaral (2003)) pela mesma razão: *o fato de um determinado município possuir uma maior densidade populacional pode ser explorado em modelagem dinâmica como um fator de “pressão” (demanda) por terra em toda a área do município, mesmo longe dos centros urbanos.*

3.3.4 Fatores tecnológicos

As variáveis tecnológicas também são derivadas de dados no nível municipal, com base no Censo Agropecuário de 1996 (IBGE, 1996). O valor das variáveis nas células de 25 km² foi computado levando-se em conta a média de valores correspondentes em cada município (por exemplo, o número médio de tratores por fazenda) ponderados pela área de intersecção entre os municípios e a célula. A Figura 3.16 ilustra a variável número médio de tratores por fazenda e a Figura 3.17 ilustra a variável número de propriedades que recebem assistência técnica. Elas realçam, respectivamente, áreas onde o número médio de tratores por fazenda é superior a 0.50, e áreas nas quais mais que 30% das fazendas receberam assistência técnica em 1996. Como as Figuras indicam, de acordo com dados de 1996, ambas as condições permanecem válidas na região sul do estado do Mato Grosso.

3.3.5 Fatores de estrutura agrária

Os indicadores de estruturas agrárias são baseados em informações no nível municipal, também com base no Censo Agropecuário de 1996 (IBGE, 1996). A porcentagem de fazendas pequenas, médias e grandes em termos de área foi computado em relação a área total de fazendas dentro do município. Ela não considera áreas que não sejam fazendas dentro do município, tais como áreas protegidas, ou terras públicas, pertencentes ao governo Federal. Portanto, a soma das categorias pequena, média e grande é de 100%. Variáveis alternativas também foram calculadas baseadas na proporção de fazendas pequenas, médias e grandes em relação ao número total de propriedades rurais no município. Estas seis variáveis são indicadoras do domínio de certo tipo de ator em diferentes subregiões.

As Figuras 3.18 e 3.19 ilustram duas destas variáveis: porcentagem de pequenas fazendas em área e em número. Analisadas de forma conjunta, as variáveis ilustram a concentração de terras na Amazônia. A Figura 3.18 realça áreas com menos de 40% de pequenas fazendas em relação à *área de fazendas* nos municípios. A Figura 3.19 destaca áreas com menos de 40% de pequenas fazendas com relação *ao número* de fazendas no município. No Arco, apenas em Rondônia e no nordeste do Pará, as pequenas propriedades representam uma proporção significativa em área nos municípios. Por outro lado, elas são majoritárias em número de propriedades em quase toda região; apenas no sul do Estado do Mato Grosso, pequenas propriedades são minoritárias em número.

3.3.6 Fatores de políticas públicas

Variáveis referentes aos projetos de assentamento do INCRA são derivadas de dados no nível municipal. Os valores das variáveis nas células de 25 km² foram computados considerando a média dos valores correspondentes em cada município (por exemplo, o número de famílias assentadas, a área de famílias assentadas) ponderadas pela área de intersecção entre os municípios e as células. A Figura 3.20 ilustra a variável do número de famílias assentadas, realçando áreas nas quais mais que 50 famílias foram assentadas de 1970 até 1999.

As variáveis referentes às áreas de proteção representam a porcentagem de cada célula que intercepta um determinado tipo de área protegida. A Figura 3.21 ilustra a variável de inclui todos os tipos de áreas protegidas: Terras Indígenas e Unidades de Conservação Estaduais e Federais.

3.3.7 Fatores ambientais

Variáveis referentes às características do solo utilizam uma classificação de fertilidade que considera informações sobre o tipo de solo, morfologia, textura e drenagem. Baseados nesta classificação, os solos foram agrupados em três categorias: solos férteis, solos não férteis, e solos de várzea. As variáveis de solo consideradas nesta análise representam a proporção de cada uma destas categorias nas células de 25 km². A Figura 3.22 ilustra a variável referente à proporção de solos férteis em cada célula, e a Figura 3.23 a variável de solos de várzea. Solos férteis estão concentrados no Mato Grosso, Rondônia, e diversas partes do Pará (incluindo a Transamazônica, São Felix do Xingu, e a área de ocupação antiga na parte nordeste do Estado). No estado do Amazonas, a região próxima a Apuí possui os melhores solos. Solos de várzea estão concentrados na Amazônia Ocidental.

Dados de clima utilizam médias mensais de precipitação, umidade e temperatura de 1961 até 1990, numa grade com espaçamento de 0,25° de latitude e longitude. Os dados de umidade e precipitação foram convertidos em células de 25 km² computando a intensidade da estação de seca em cada célula. A estação da seca não ocorre no mesmo período em cada célula, e varia de Junho-Julho-Agosto na região do estado do Mato Grosso até Novembro-Dezembro-Janeiro no estado de Roraima. Entre as possíveis variáveis, computou-se um indicador de clima de cada célula que considera estas diferenças, calculando a média dos três meses consecutivos mais secos em cada célula. As Figuras 3.24 e 3.25 ilustram as variáveis de umidade e precipitação.

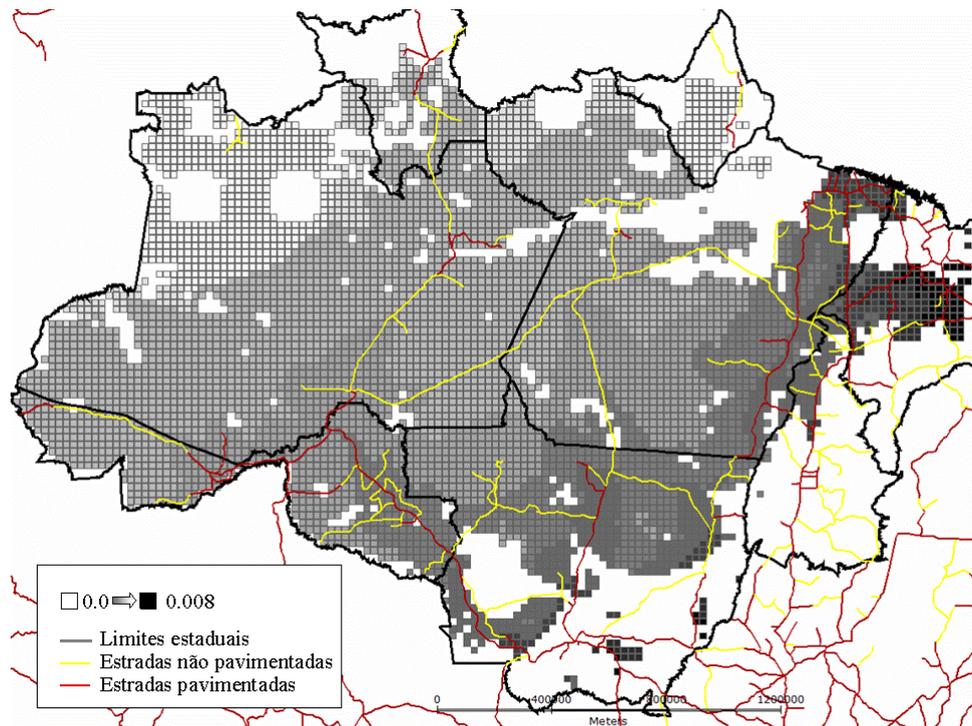


FIGURA 3.7 – Indicador da conectividade para mercados nacionais em células de 25 x 25 km² (São Paulo e Nordeste) em 1997 (fonte da rede de rodovias: IBGE).

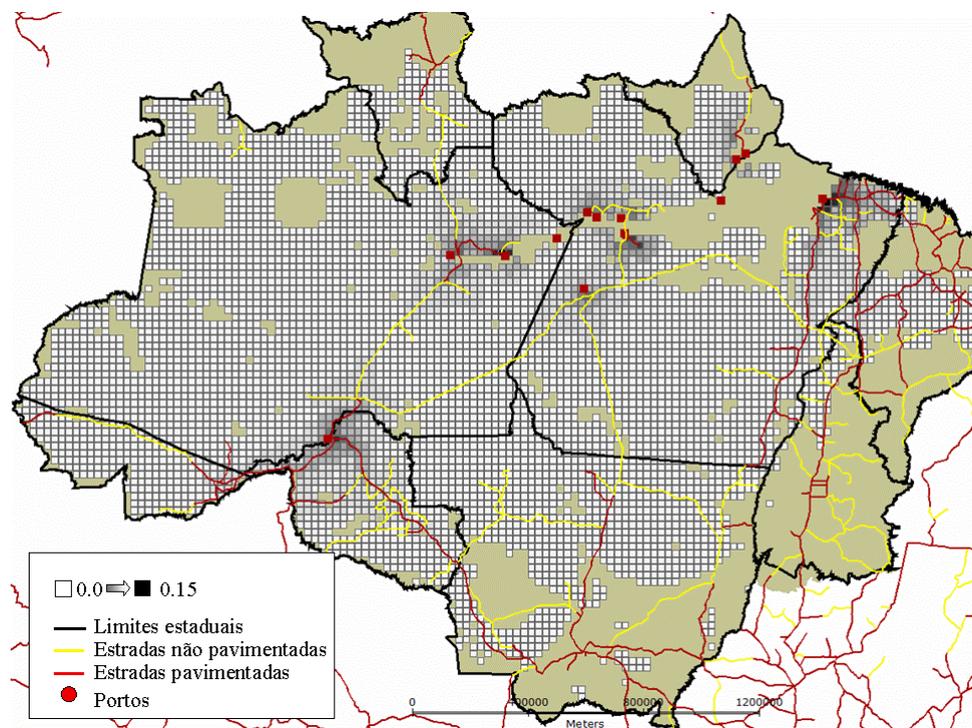


FIGURA 3.8 – Indicador de conectividade para portos da Amazônia em 1997 em células de 25 x 25 km² (fonte da rede de rodovias: IBGE).

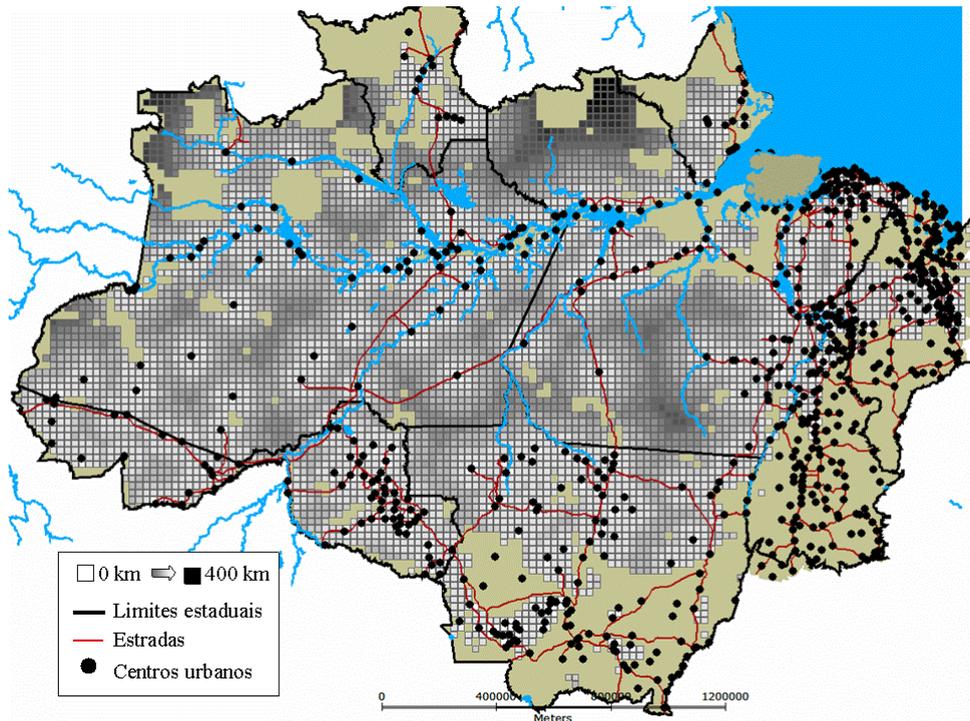


FIGURA 3.9 – Distância a centros urbanos em 1997 em células de 25 x 25 km² (fonte de dados: IBGE).

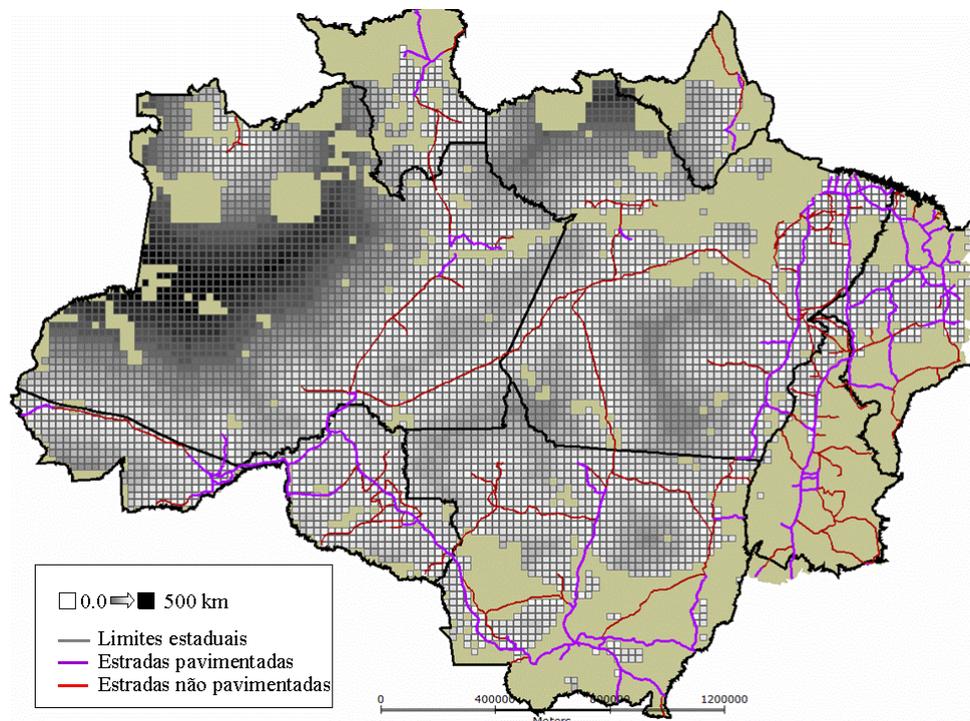


FIGURA 3.10 – Distância a rodovias em 1997 em células de 25 x 25 km² (fonte de dados: IBGE).

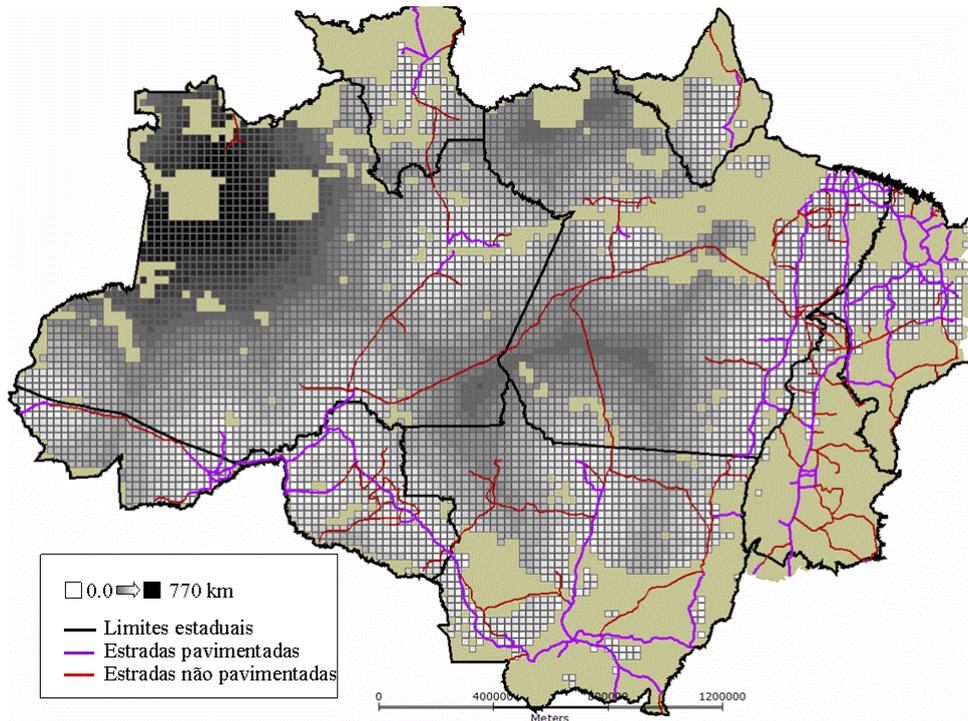


FIGURA 3.11 – Distância a rodovias pavimentadas em 1997 em células de 25 x 25 km² (fonte de dados: IBGE).

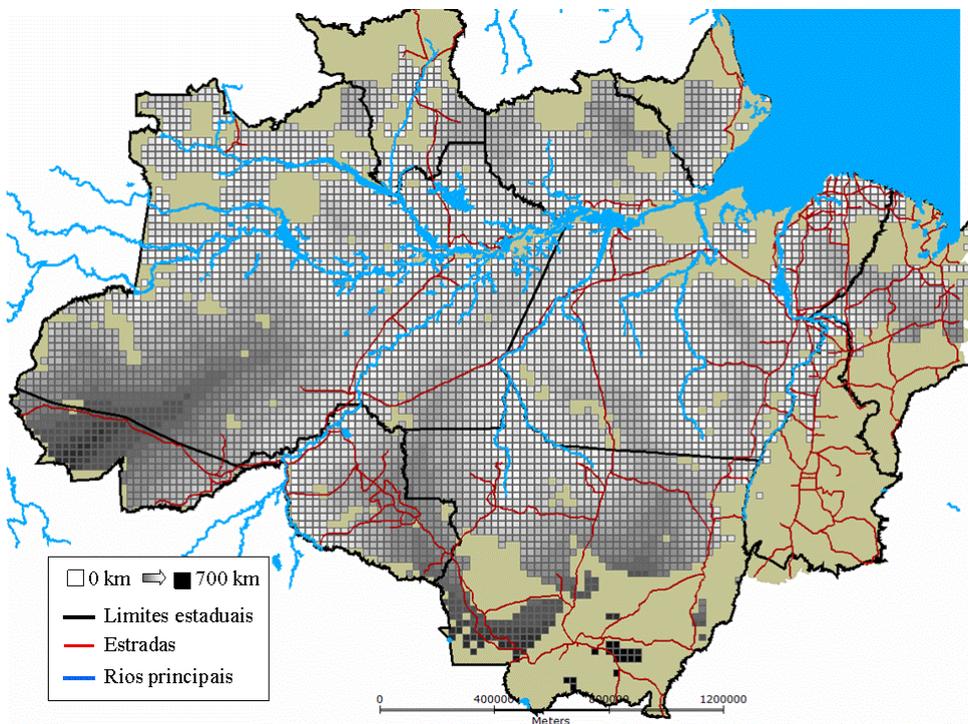


FIGURA 3.12 – Distância a os principais rios em células de 25 x 25 km² (fonte de dados: IBGE).

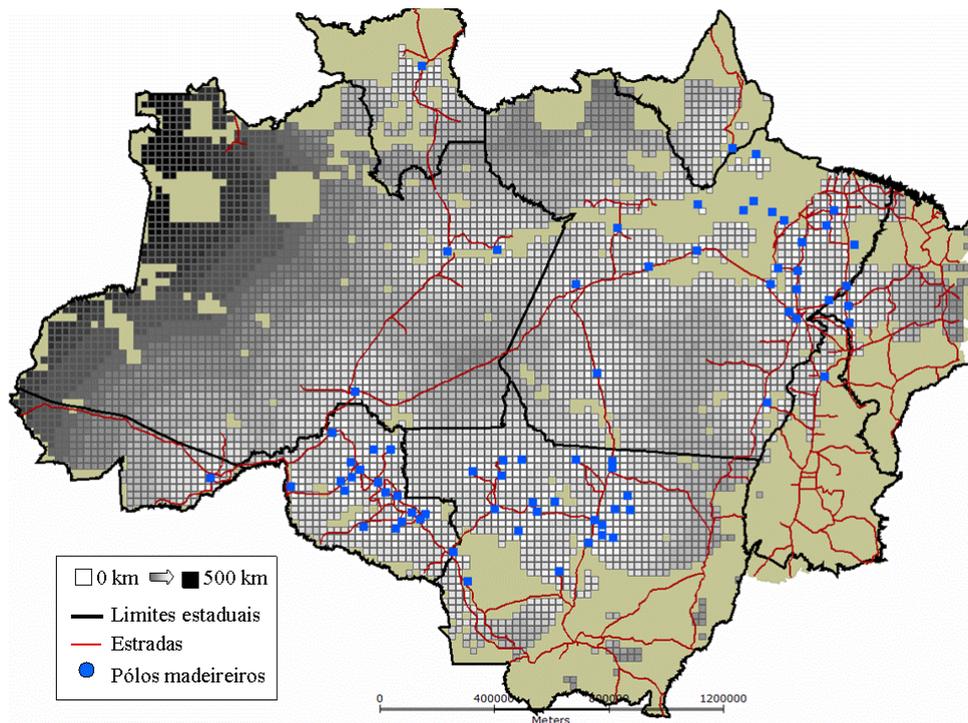


FIGURA 3.13 – Distância a pólos madeireiros em 1997 em células de 25 x 25 km² (fonte de dados: MMA).

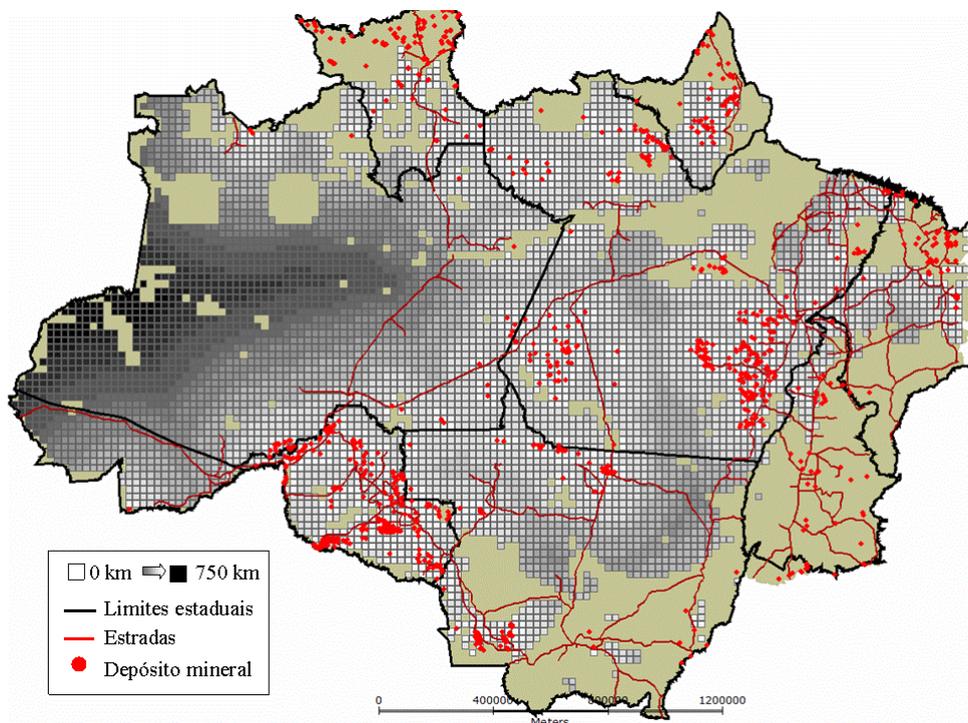


FIGURA 3.14 – Distância a depósitos minerais em células de 25 x 25 km² (fonte de dados: CPRM).

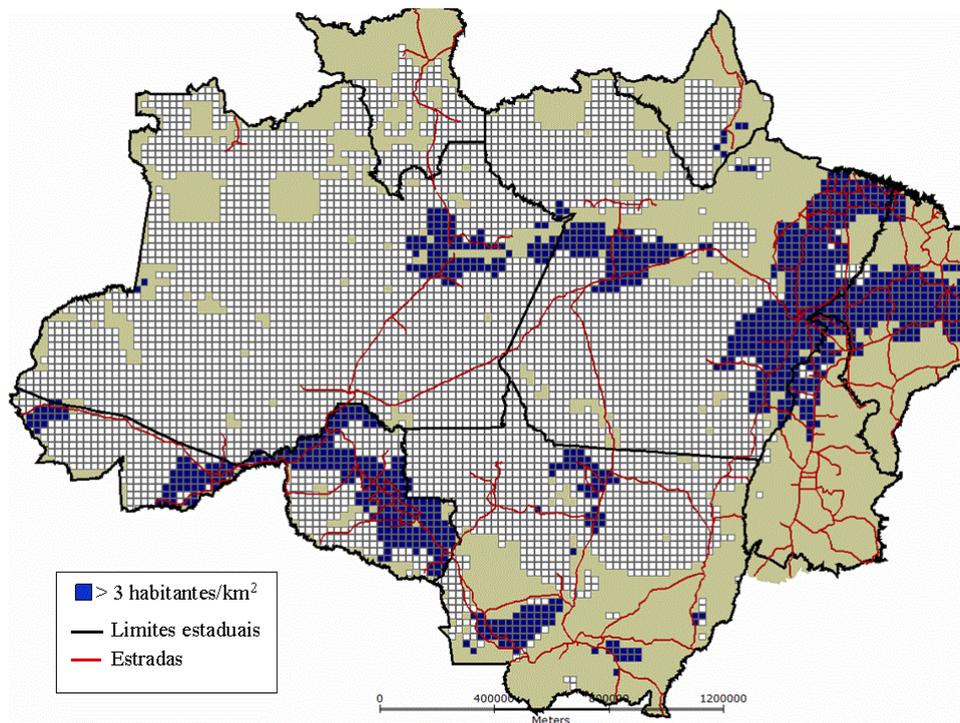


FIGURA 3.15 – Densidade populacional em 1996 em células de 25 x 25 km² (fonte de dados: contagem populacional do em 1996).

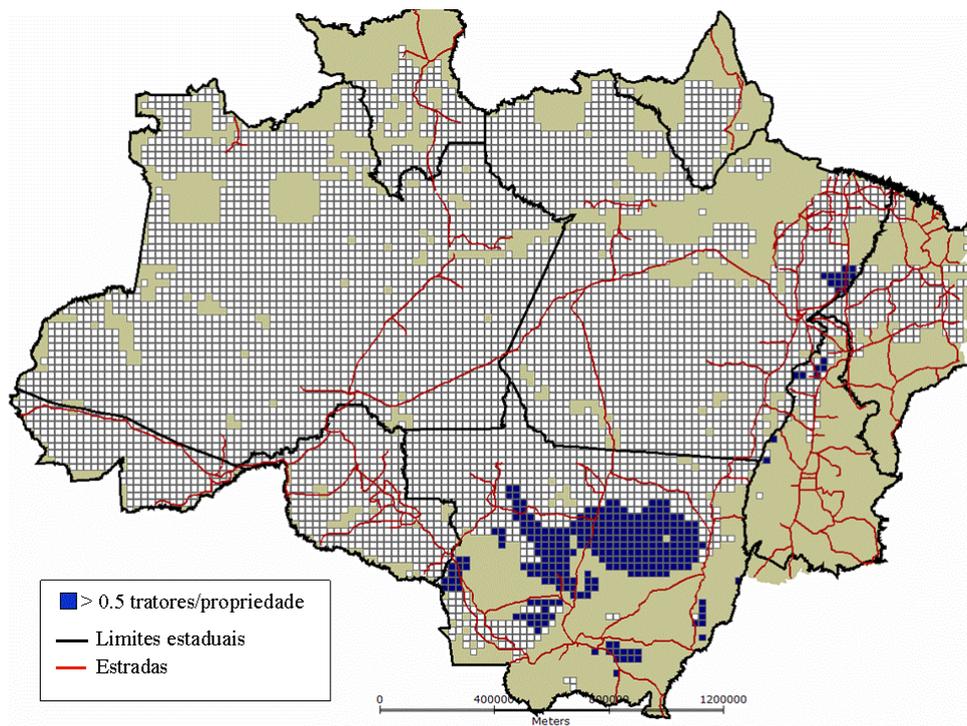


FIGURA 3.16 – Indicador tecnológico: número médio de tratores por propriedade em 1996 em células de 25 x 25 km² (fonte de dados: Censo Agr. IBGE de 1996).

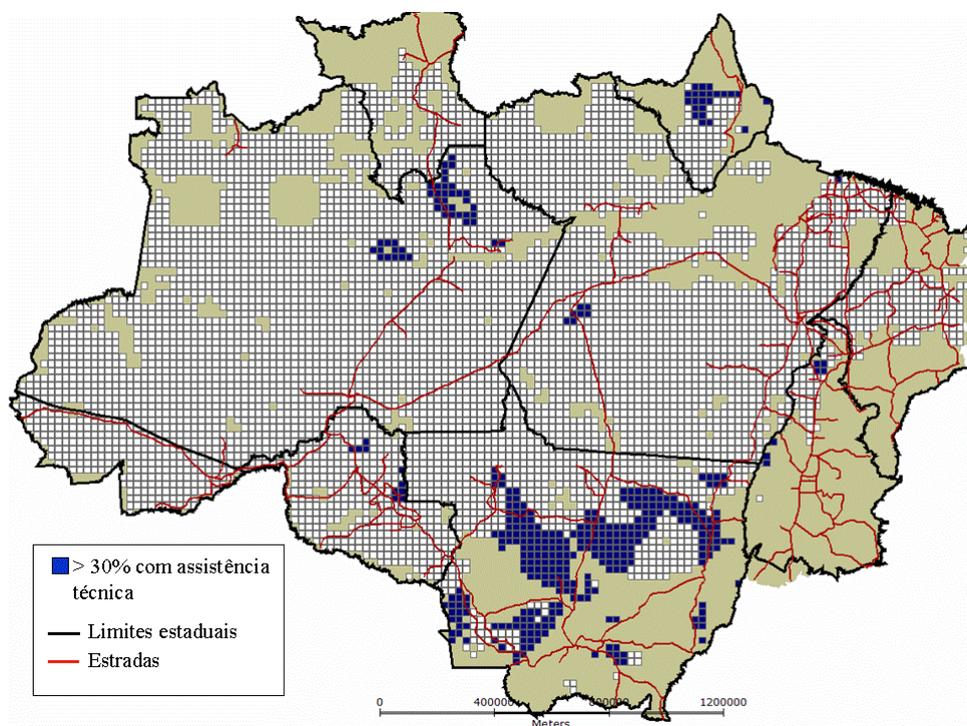


FIGURA 3.17 – Indicador tecnológico: % de fazendas que receberam assistência técnica em 1996 em células de 25 x 25 km² (fonte: Censo Agr. IBGE).

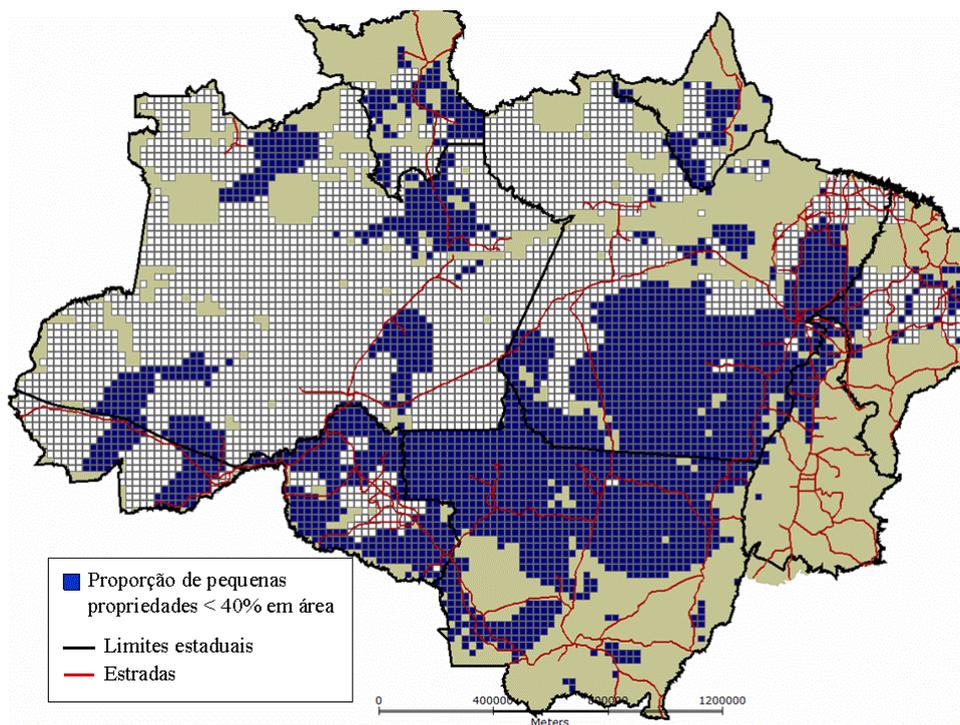


FIGURA 3.18 – Indicador de estrutura agrária: porcentagem de áreas de pequenas fazendas em relação à *área* de fazendas em células de 25 x 25 km² (fonte: Censo Agropecuário do IBGE de 1996).

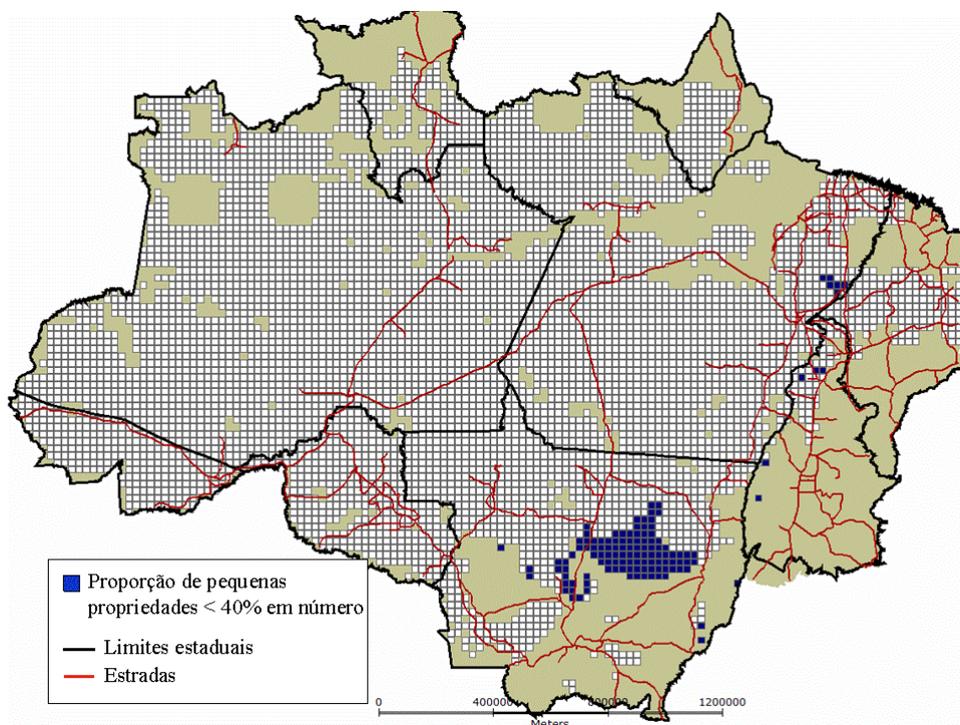


FIGURA 3.19 – Indicador de estrutura agrária: porcentagem de pequenas fazendas em relação ao *número* de fazendas em células de 25 x 25 km² (fonte: idem).

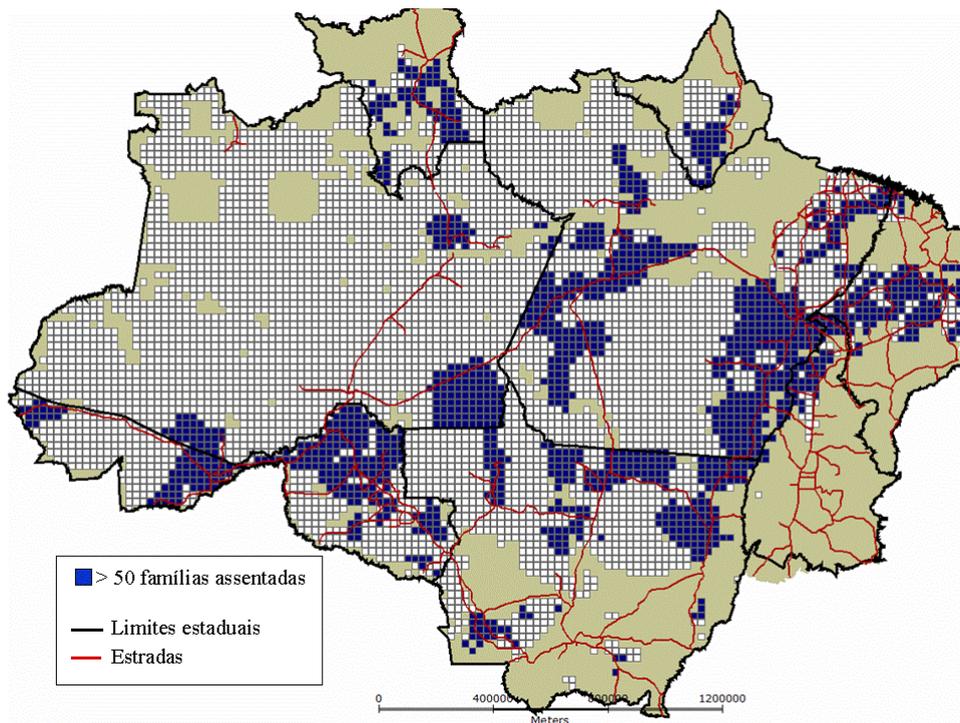


FIGURA 3.20 – Número de famílias assentadas de 1970 até 1999 em células de 25 x 25 km² (fonte: INCRA).

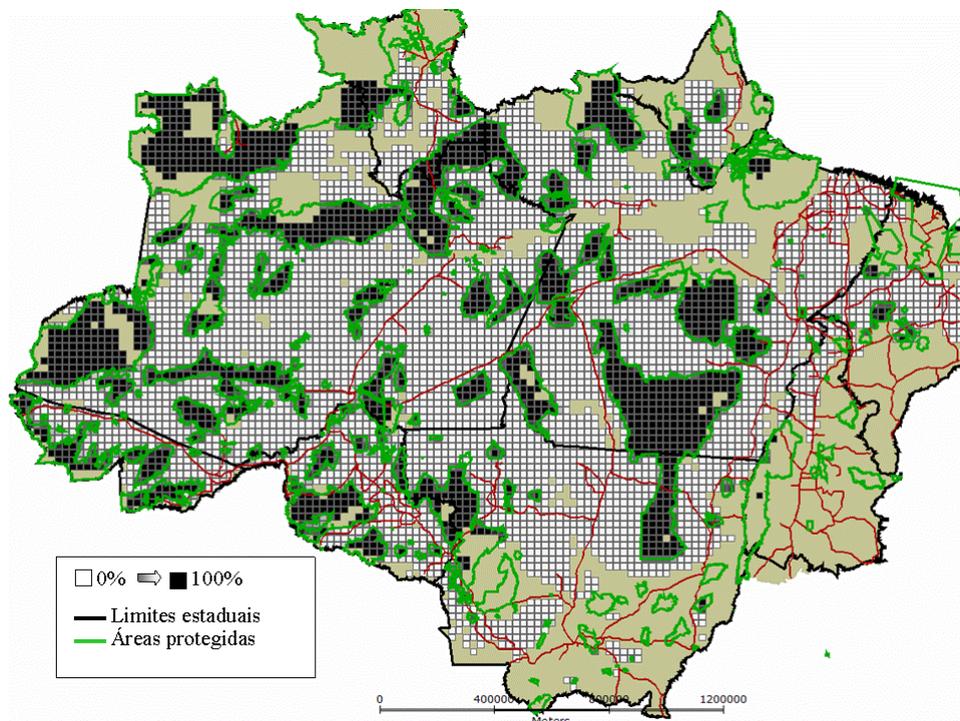


FIGURA 3.21 – Porcentagem de áreas protegidas em 1997: Terras Indígenas e Unidades de Conservação Estadual e Federal em células de 25 x 25 km² (fontes: MMA e FUNAI).

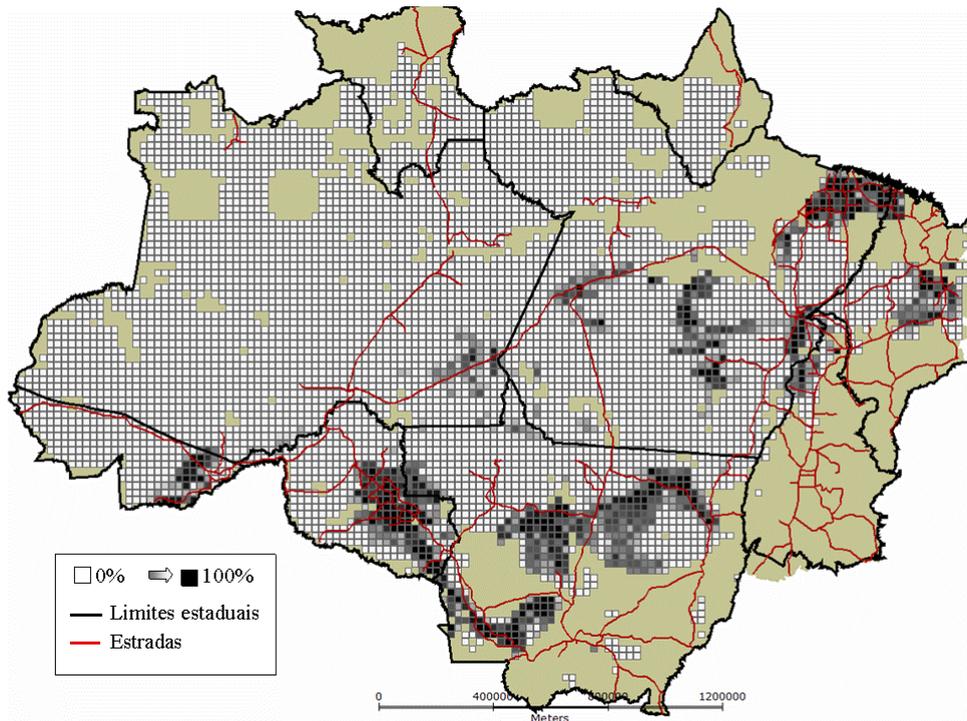


FIGURA 3.22 – Porcentagem de solos férteis em células de 25 x 25 km² (fonte: IBGE).

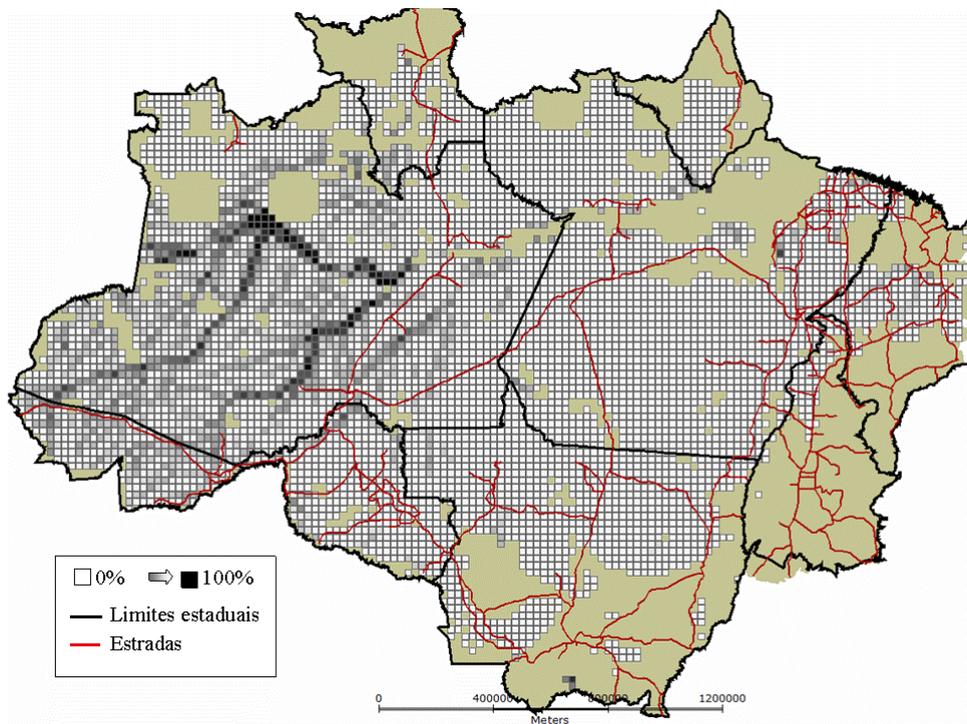


FIGURA 3.23 – Porcentagem de solos de pântanos em células de 25 x 25 km² (fonte: IBGE).

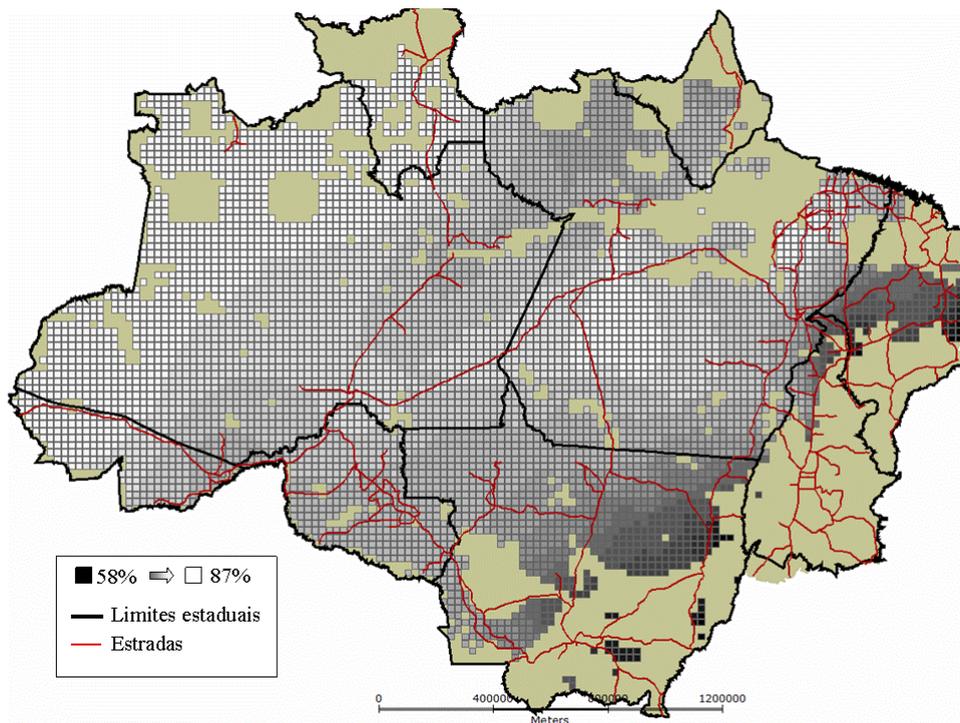


FIGURA 3.24 – Média de umidade nos três meses consecutivos mais secos do ano em células de 25 x 25 km² (fonte: INMET).

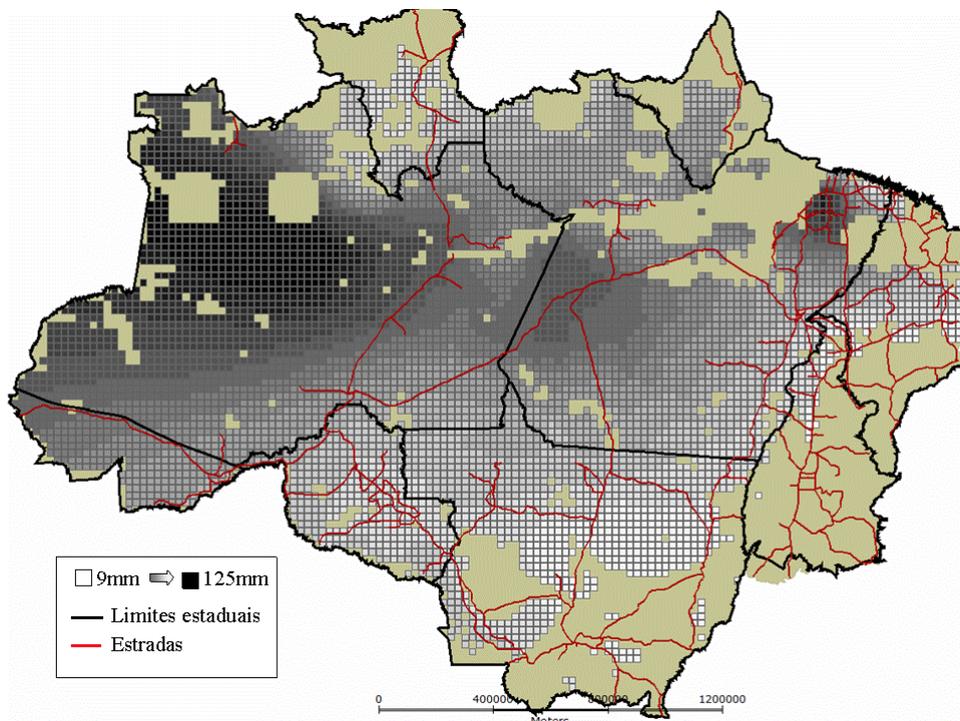


FIGURA 3.25 – Média de precipitação nos três meses consecutivos mais secos do ano em células de 25 x 25 km² (fonte: INMET).

CAPÍTULO 4

MODELAGEM ESPACIAL DOS DETERMINANTES DO USO DE TERRA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

4.1 Introdução

Este capítulo apresenta o desenvolvimento de modelos de regressão espacial dos fatores associados a mudanças do uso da terra na Amazônia, utilizando as células de 25 x 25 km² do banco de dados apresentado no Capítulo 3.

Os modelos exploram a importância relativa dos fatores determinantes relacionados aos padrões de *desflorestamento*, *pastagem*, *agricultura temporária e permanente*, e as diferenças intrarregionais entre estes fatores. Quatro partições espaciais são comparadas: toda a Amazônia brasileira e três macrorregiões definidas por Becker (2005), denominadas Arco, a Amazônia Central e a Amazônia Oriental (Figura 3.2). Os resultados são consistentes com as hipóteses de heterogeneidade adotadas nesta tese.

Este capítulo está organizado da seguinte forma. A Seção 4.2 apresenta os métodos utilizados na identificação dos fatores determinantes. A Seção 4.3 apresenta e discute os resultados obtidos.

4.2 Métodos

4.2.1 Análise exploratória e seleção de variáveis

No modelo estatístico deste capítulo, as variáveis dependentes são aquelas associadas ao uso da terra (desflorestamento, pastagem, agricultura temporária e permanente). As variáveis explanatórias potenciais foram agrupadas em sete categorias: *acessibilidade a mercados*, *atratividade econômica*, *demografia*, *tecnologia*, *estrutura agrária*, *políticas públicas*, e *ambientais*, como descrito no Capítulo 3.

Uma análise estatística exploratória inicial mostrou que algumas das relações entre as variáveis explanatórias potenciais e as variáveis de uso da terra não eram lineares. Nós aplicamos uma transformação logarítmica nas variáveis de uso da terra e em algumas variáveis explanatórias (ver Apêndice C). A transformação logarítmica melhorou o resultado da regressão significativamente. Esta melhora sugere que as variáveis explanatórias estão relacionadas com a escolha inicial das áreas a serem ocupadas. Após a escolha inicial, mudanças no uso da terra se comportam como um processo de difusão espacial, pois o desflorestamento tende a ocorrer perto de áreas previamente desflorestadas (ALVES, 2002).

Existe um alto grau de correlação entre fatores explanatórios potenciais, como ilustra o Apêndice C. Isto levou à seleção de um subconjunto dos 50 variáveis potenciais iniciais. Na escolha entre variáveis altamente correlacionadas, aquelas relacionadas com acessibilidade e políticas públicas tiveram preferência, para facilitar posteriormente a construção de cenários, como descrita no Capítulo 5. Para a mesma categoria, foram testadas diferentes alternativas. Por exemplo, das muitas variáveis ambientais, nós escolhemos a umidade média nos meses mais secos do ano. A escolha final de variáveis explanatórias não inclui fatores demográficos ou tecnológicos, que são capturados indiretamente por outras variáveis. Densidade populacional, por exemplo, é altamente correlacionada às variáveis de acessibilidade, como distância a estradas e a centros urbanos. Variáveis tecnológicas apresentam alta correlação com as de estrutura agrária. Como resultado, a análise estatística utilizou apenas um subconjunto representativo de todas as variáveis, mostrado na Tabela 4.1. Este subconjunto foi selecionado de modo a cobrir o maior número possível de categorias, e ao mesmo tempo minimizar os problemas de correlação.

TABELA 4.1 – Subconjunto de variáveis explanatórias potenciais selecionadas para a análise estatística espacial

Categoria	Variáveis	Descrição	Unidade	Fonte
Acessibilidade a mercados	conn_mkt	Indicador de força de conexão a mercados nacionais (SP e NE) através de malha rodoviária	-	IBGE
	conn_ports	Indicador de força de conexão a portos através de malha rodoviária	-	IBGE
	log_dist_rivers	Distância Euclidiana para grandes rios (log)	km	IBGE
	log_dist_roads	Distância Euclidiana para rodovias (log)	km	IBGE
	log_dist_urban	Distância Euclidiana para centros urbanos (log)	km	IBGE
Atratividade econômica	log_dist_wood	Distância Euclidiana para pólos de extração de madeira (log)	km	IBAMA
	log_dist_mineral	Distância Euclidiana para depósitos minerais (log)	km	CPRM
Políticas públicas	prot_area	Porcentagem de áreas protegidas	% da área da célula	IBAMA FUNAI
	log_settl	Número de famílias assentadas de 1970 até 1999 (log)	Número de famílias (log)	INCRA
Estrutura agrária	agr_small	Porcentagem de área de pequenas propriedades	% da área da célula	IBGE
Ambientais	soil_fert	Porcentagem de alta e média de solos de alta fertilidade	% da área da célula	IBGE
	soil_wet	Porcentagem de solos de várzea	% da área da célula	IBGE
	clim_humid	Umidade media nos três meses mais secos do ano	%	INMET

Mesmo no subconjunto de variáveis apresentado acima, existe ainda um alto grau de correlação, que varia entre as partições espaciais. Nós decidimos construir modelos de regressão espacial diferentes, onde cada modelo inclui apenas variáveis explanatórias com menos de 50% de correlação entre elas. Para construir os modelos de regressão, nós selecionamos como variáveis primárias aquelas com potencialmente maior poder explanatório em relação a desflorestamento: *distância a centros urbanos*, *distância a rodovias*, *condições climáticas*, e *conexões a mercados*. A correlação entre estas variáveis foi testada para selecionar as melhores variáveis para cada modelo. Distância a

centros urbanos e distância a rodovias foram correlacionadas em todas as partições espaciais, exceto na Amazônia Ocidental. Distância a rodovias e conexões a mercados nacionais não podem ser colocados no mesmo subgrupo para toda a Amazônia. Condições climáticas e conexão a mercados nacionais também não, com exceção da região Central. Esta análise de correlação cruzada entre as variáveis explanatórias potenciais levou aos modelos apresentados na Tabela 4.2. Uma regressão linear automática (*forward stepwise*) foi utilizada para refinar os modelos e descartar as variáveis não-significativas. Algumas variáveis se mostraram significativas em alguns modelos e não em outros, como mostrado na Tabela 4.2. Os modelos resultantes são:

1. *Amazônia*: para toda a região, três modelos foram considerados: um incluindo distância a centros urbanos e conexões a mercados (*urbano+conexão*), um incluindo distância a centros urbanos e condições climáticas (*urbano+clima*), e um terceiro incluindo distância a rodovias e condições climáticas (*rodovias+clima*).
2. *Arco*: para esta região, dois modelos foram considerados. O primeiro considera a distância a centros urbanos e conexão a mercados (*urbano+conexão*) e o segundo inclui distância a rodovias e conexão a mercados (*rodovias+conexão*).
3. *Amazônia Central*: para esta região, dois modelos foram considerados. O primeiro considera distância a centros urbanos e conexão a mercados (*urbano+conexão*) e o segundo inclui distância a rodovias e conexão a mercados (*rodovias+conexão*).
4. *Amazônia Central*: para esta região, um único modelo incluindo distância a centros urbanos, distância a rodovias, e conexão a mercados (*urbano+rodovias+conexão*) foi considerado.

TABELA 4.2 - Grupos de variáveis explanatórias não correlacionadas para as análises estatísticas espaciais.

	Amazônia			Arco		Central		Ocidental
	urbano+conexão	urbano+clima	rodovias+clima	urbano+clima	rodovias+conexão	urbano+clima+conexão	rodovias+clima+conexão	urbano+rodovias
log_dist_urban	x	x		x		x		x
log_dist_roads			x		x		x	x
conn_mkt	x				x	x	x	n/s
clima_humid		x	x	x		x	x	n/s
conn_ports	x	x	x	n/s	n/s	x	x	n/s
log_dist_rivers	x	x	x	n/s	n/s	x	x	x
log_dist_wood				x	x			
log_dist_mineral		x		x	x	x	x	
prot_area	x	x	x	x	x	x	x	x
agr_small	x	x	x	x	x	x	n/s	n/s
log_settl	x	x	x	x	x	x	x	x
soil_fert	x	x	x	x	x	x	x	n/s
soil_wet	x	n/s ⁹	x	n/s	n/s	x	x	n/s

4.2.2 Modelo de regressão espacial

Modelos de regressão espacial foram utilizados para estabelecer a importância relativa de fatores determinantes para diferentes usos de terra. Uma das hipóteses básicas em modelos de regressão linear é que as observações não são correlacionadas, e consequentemente os resíduos dos modelos também não são correlacionados. Nos dados de uso da terra, esta hipótese é frequentemente falsa. Dados de uso da terra possuem a tendência de ser espacialmente autocorrelacionados. As mudanças no uso da terra em

⁹ n/s: não significativo estatisticamente, descartado pelo procedimento automático *forward stepwise*.

uma área tendem a se propagar pelas regiões vizinhas. Dependência espacial poderia ser vista como uma desvantagem metodológica, pois ela interfere nos resultados da regressão linear, porém, por outro lado é exatamente o que nos fornece informações sobre padrões espaciais, estrutura e processo (OVERMARS et al., 2003). Este trabalho aplica o modelo de regressão *spatial lag* (ANSELIN, 2001) para verificar a importância relativa de fatores explanatórios potenciais. Neste método, a estrutura espacial supostamente é capturada em um parâmetro.

A fórmula do modelo de regressão linear pode ser descrita como:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon}, \boldsymbol{\varepsilon} \sim N(0, \sigma^2), \text{ ou} \quad (4.1)$$

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{1k-1} \\ 1 & x_{21} & \dots & x_{2k-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{n1} & \dots & x_{nk-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \dots \\ \beta_{k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \dots \\ \varepsilon_n \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

onde \mathbf{Y} é um vetor ($n \times 1$) de observações de uma variável dependente tomada em cada uma das n localizações, \mathbf{X} é uma matriz ($n \times k$) de variáveis exógenas, $\boldsymbol{\beta}$ é um vetor ($k \times 1$) de parâmetros, e $\boldsymbol{\varepsilon}$ é um vetor ($n \times 1$) de erros. O modelo *spatial lag* inclui um termo de dependência espacial, através de um novo termo que incorpora a autocorrelação espacial como parte de um componente explanatório do modelo:

$$\mathbf{Y} = \rho \mathbf{W}\mathbf{Y} + \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (4.3)$$

onde \mathbf{W} é uma matriz de pesos espacial, e o produto $\mathbf{W}\mathbf{Y}$ expressa a dependência espacial sobre \mathbf{Y} , onde ρ é o *coeficiente auto regressivo espacial*. O modelo *spatial lag* considera a exploração de padrões globais de autocorrelação espacial no conjunto de dados. Este modelo considera que o processo espacial cujas observações estão sendo analisadas é estacionário. Isto implica que os padrões de autocorrelação espacial podem ser capturados em um único termo de regressão. Este método foi empregado por Overmars et al. (2003) em um estudo no Equador. Na Amazônia Brasileira, Perz e

Skole (2003) utilizaram o modelo *spatial lag*, focando nos fatores sociais relacionados a vegetação secundária.

Neste trabalho nós comparamos os resultados do modelo *spatial lag* com aqueles do modelo de regressão linear não espacial para toda a Amazônia. Isto ajuda a compreender como os fatores explanatórios contribuem para a dependência espacial neste caso. Estes resultados serão apresentados na próxima Seção. De forma a comparar os modelos, nós iremos apresentar o valor R^2 (coeficiente de determinação múltipla) e o critério de informação de Akaike (*AIC*). Como mencionado por Anselin (2001), o valor R^2 não é um indicador consistente da qualidade do ajuste quando os dados são autocorrelacionados espacialmente. O critério de informação de Akaike (1974) é uma medida de desempenho mais adequada que o valor de R^2 para os dados espacialmente correlacionados. O modelo com o maior valor absoluto *AIC* é o melhor. Para comparar a importância relativa dos fatores determinantes em cada modelo, os coeficientes de regressão padronizados (*beta*) e nível de significância associado (*p-level*) para cada variável serão apresentados.

4.3 Resultados e discussão

Esta Seção resume os principais resultados, e está organizada da seguinte forma. A Seção 4.3.1 apresenta os fatores determinantes de desflorestamento para toda a Amazônia. Nesta Seção são ainda comparados os resultados obtidos pela regressão linear e pela regressão espacial. A comparação mostra como os determinantes mudam sua importância quando a autocorrelação espacial é considerada, e o que isto indica em termos de dependência espacial e estrutura de uso da terra. A Seção 4.3.2 apresenta a comparação dos fatores de desflorestamento ao longo das quatro partições consideradas (Amazônia, Arco, Amazônia Central e Amazônia Ocidental), utilizando modelos de regressão espacial. A Seção 4.3.3 apresenta uma comparação dos principais determinantes no uso da terra (pastagem, agricultura temporária e permanente), também utilizando modelos de regressão espacial. Os resultados dos determinantes de pastagem e agricultura são apresentados apenas o Arco, onde a ocupação é mais consolidada.

4.3.1 Fatores de desflorestamento em toda a Amazônia

Esta Seção apresenta e discute os modelos de regressão para toda a Amazônia. Uma etapa de pré-processamento manteve nos modelos apenas variáveis menos de 50% correlacionadas entre elas, e elimina aquelas não significativas de acordo com um procedimento automático *forward-stepwise* (veja a Tabela 4.2). Os três modelos possuem as seguintes variáveis explanatórias:

- *urbano+conexão*: distância a centros urbanos (log), conexão a mercados, conexão a portos, distância a rios (log), áreas protegidas, porcentagem de pequenas fazendas, número de famílias assentadas (log), porcentagem de solos férteis e porcentagem de solos de várzea.
- *urbano+clima*: distância a centros urbanos (log), umidade, conexão a portos, distância a rios (log), distância a depósitos minerais (log), áreas protegidas, porcentagem de pequenas fazendas, número de famílias assentadas (log), porcentagem de solos férteis e porcentagem de solos de várzea.
- *rodovias+clima*: distância a rodovias (log), umidade, conexão a portos, distância a rios (log), áreas protegidas, porcentagem de pequenas fazendas, número de famílias assentadas (log), porcentagem de solos férteis e porcentagem de solos de várzea.

A Tabela 4.3 apresenta os resultados das análises estatísticas para os três modelos e compara o modelo de regressão linear não espacial com o modelo *spatial lag*, onde a variável dependente é o *log da porcentagem de desflorestamento* para cada célula de 25 x 25 km². O modelo *spatial lag* inclui uma variável adicional (*w_log_def*) que mede a extensão da autocorrelação espacial no processo de desflorestamento. Na Tabela 4.3, nós apresentamos o valor R^2 (coeficiente de determinação múltipla) e o critério de informação de Akaike (AIC) para todos os modelos. Em ambos os indicadores, os modelos de regressão espacial mostram um desempenho melhor que o modelo linear não espacial. O coeficiente espacial do modelo *spatial lag* é significativo e maior que 0.70 em todos os modelos. Esta é uma evidência quantitativa que corrobora verificações

anteriores que o desflorestamento é um processo difusivo na Amazônia, e tende a ocorrer perto de outros desflorestamentos (ALVES, 2002). As outras variáveis importantes (de acordo com os valores dos *betas*) são: distância a centros urbanos (log), distância até rodovias (log), conexão a mercados, umidade e áreas protegidas.

TABELA 4.3 – Modelos de regressão linear e *spatial lag* dos fatores determinantes de desflorestamento (log) em toda a Amazônia.

<i>Subgrupo urbano+conexão</i>			<i>Subgrupo urbano+clima</i>			<i>Subgrupo rodovias+clima</i>		
Regressão Linear								
R^2 :	0.66		R^2 :	0.65		R^2 :	0.58	
AIC:	-39144.50		AIC:	-38944.9		AIC:	-37928.6	
	<i>beta</i>	<i>p-level</i>		<i>beta</i>	<i>p-level</i>		<i>Beta</i>	<i>p-level</i>
log_dist_urban	-0.45	0.00	log_dist_urban	-0.48	0.00	log_dist_road	-0.39	0.00
conn_mkt	0.26	0.00	clim_humid	-0.18	0.00	clim_humid	-0.24	0.00
prot_area	-0.14	0.00	log_settl	0.12	0.00	prot_area	-0.19	0.00
Log_settl	0.10	0.00	prot_area	-0.15	0.00	soil_fert	0.16	0.00
soil_fert	0.09	0.00	soil_fert	0.12	0.00	log_settl	0.13	0.00
conn_ports	0.07	0.00	agr_small	-0.10	0.00	soil_wet	0.10	0.00
agr_small	-0.09	0.00	conn_ports	0.07	0.00	log_dist_rivers	-0.07	0.00
log_dist_rivers	-0.04	0.00	log_dist_mineral	-0.05	0.00	conn_ports	0.05	0.00
soil_wet	-0.02	0.02	log_dist_rivers	-0.03	0.00	agr_small	-0.06	0.00
Spatial Lag								
R^2 :	0.81		R^2 :	0.81		R^2 :	0.81	
AIC:	-41876.2		AIC:	-41871		AIC:	-41781.5	
	<i>beta</i>	<i>p-level</i>		<i>beta</i>	<i>p-level</i>		<i>beta</i>	<i>p-level</i>
w_log_def	0.73	0.00	w_log_def	0.74	0.00	w_log_def	0.78	0.00
log_dist_urban	-0.15	0.00	log_dist_urban	-0.16	0.00	log_dist_road	-0.13	0.00
conn_mkt	0.05	0.00	clim_humid	-0.04	0.00	clim_humid	-0.05	0.00
prot_area	-0.07	0.00	log_settl	0.03	0.00	prot_area	-0.07	0.00
Log_settl	0.03	0.00	prot_area	-0.07	0.00	soil_fert	0.04	0.00
soil_fert	0.03	0.00	soil_fert	0.03	0.00	log_settl	0.02	0.01
conn_ports	0.02	0.00	agr_small	-0.03	0.00	soil_wet	0.05	0.00
agr_small	-0.03	0.00	conn_ports	0.02	0.00	log_dist_rivers	-0.03	0.00
log_dist_rivers	-0.03	0.00	log_dist_mineral	-0.02	0.01	conn_ports	0.01	0.14
soil_wet	0.01	0.05	log_dist_rivers	-0.02	0.00	agr_small	-0.01	0.18

Nós também comparamos a força de fatores mais importantes considerando o modelo de regressão linear e o modelo *spatial lag*. A Tabela 4.4 apresenta o resultado da comparação, e agrupa as variáveis de distância a centros urbanos e distância a rodovias que são altamente correlacionadas, e também as variáveis de conexão a mercados e clima, também altamente correlacionadas. Como esperado, utilizando o modelo de regressão *spatial lag*, todos os betas são menores, porém, não de uma maneira uniforme. Quando considerada a dependência espacial intrínseca do desflorestamento, a variável de conexão a mercados (e também a de clima) decresce proporcionalmente mais que as

demais, embora ainda sejam um dos principais fatores. Portanto, estas variáveis carregam uma grande parte da dependência espacial. Isto está de acordo com trabalhos anteriores (ALVES, 2002) que mostram que o desflorestamento tende a ocorrer ao longo de rodovias que permitem um acesso mais fácil às áreas mais desenvolvidas do Brasil. Estas áreas também apresentam o clima mais seco da Amazônia, com condições mais favoráveis à agricultura (e também à construção e manutenção de infraestrutura) que as áreas mais úmidas no oeste da Amazônia, também de acordo com resultados prévios (SCHNEIDER, 2000). Nossos resultados estatísticos indicam que estes fatores (a natureza difusa do desflorestamento, distância a rodovias e para centros urbanos, clima e conexão a mercados), e a interação entre eles, contribuem significativamente para o padrão de desflorestamento em 1996/1997. A existência de áreas protegidas também tem um importante papel em evitar o desflorestamento em áreas de alta pressão, como será discutido em maior detalhe na próxima Seção.

TABELA 4.4 – Comparação dos principais fatores determinantes de desflorestamento (toda a Amazônia).

Variável	Sub-grupo	Beta		% de decréscimo
		Linear	Spatial lag	
w_log_def	<i>urbano+conexão</i>	-	0.73	-
w_log_def	<i>urbano+clima</i>	-	0.74	-
w_log_def	<i>rodovias+clima</i>	-	0.78	-
<hr/>				
log_dist_urban	<i>urbano+conexão</i>	-0.45	-0.15	67%
log_dist_urban	<i>urbano+clima</i>	-0.48	-0.16	67%
log_dist_roads	<i>rodovias+clima</i>	-0.39	-0.13	67%
<hr/>				
conn_mkt	<i>urbano+conexão</i>	0.26	0.05	81%
clim_humid	<i>urbano+clima</i>	-0.18	-0.04	78%
clim_humid	<i>rodovias+clima</i>	-0.24	-0.05	79%
<hr/>				
prot_area	<i>urbano+conexão</i>	-0.14	-0.07	50%
prot_area	<i>urbano+clima</i>	-0.15	-0.07	53%
prot_area	<i>rodovias+clima</i>	-0.19	-0.07	63%

Estudos prévios das causas de mudança no uso da terra na Amazônia enfatizaram a distância a rodovias como o fator determinante principal (KIRBY et al., 2006;

LAURANCE et al., 2002). Os resultados deste trabalho indicam que, em termos de fatores determinantes, a distância a centros urbanos é tão importante quanto a distância a rodovias. A distância a centros urbanos é um indicador de população, e também uma variável *proxy* para acesso a mercados locais. Em 1996, 61% de aproximadamente 20 milhões de habitantes viviam em áreas urbanas da Amazônia; em 2000, 69% do total da população (BECKER, 2004). As taxas de crescimento da população urbana aumentaram mais rápidas na Amazônia que em qualquer outra região do Brasil, não apenas nas cidades grandes, mas também naquelas com população inferior a 100.000 habitantes (BECKER, 2001). Faminow (1997) mostrou que a demanda local por produtos bovinos, tais como leite e carne é uma causa pouco explorada no aumento da produção do rebanho, e conseqüentemente do desflorestamento. Nossos resultados reforçam a necessidade de compreender a relação entre as mudanças no uso da terra e este processo de aumento no crescimento da população urbana na Amazônia.

Em resumo, nossos resultados indicam que padrões espaciais fortemente concentrados do desflorestamento na Amazônia estão relacionados à natureza difusa do processo de mudança no uso da terra. A concentração destes padrões nas partes sul e leste da Amazônia está relacionado à proximidade aos centros urbanos e rodovias, reforçados pela alta conectividade às regiões mais desenvolvidas do Brasil, e a condições climáticas mais favoráveis em comparação com o restante da região, como ilustra a Figura 4.1 abaixo. Portanto, condições de produção mais favoráveis em termos de clima, conexão a mercados nacionais, e proximidade a mercados locais parecem ser os fatores chaves na explicação do processo de desflorestamento. A combinação entre estes fatores, em especial sua interação com a conexão via rede viária ao resto do país, fornece um indicativo das novas frentes de expansão, e áreas mais vulneráveis à ocupação, como também indicado na Figura 4.1.

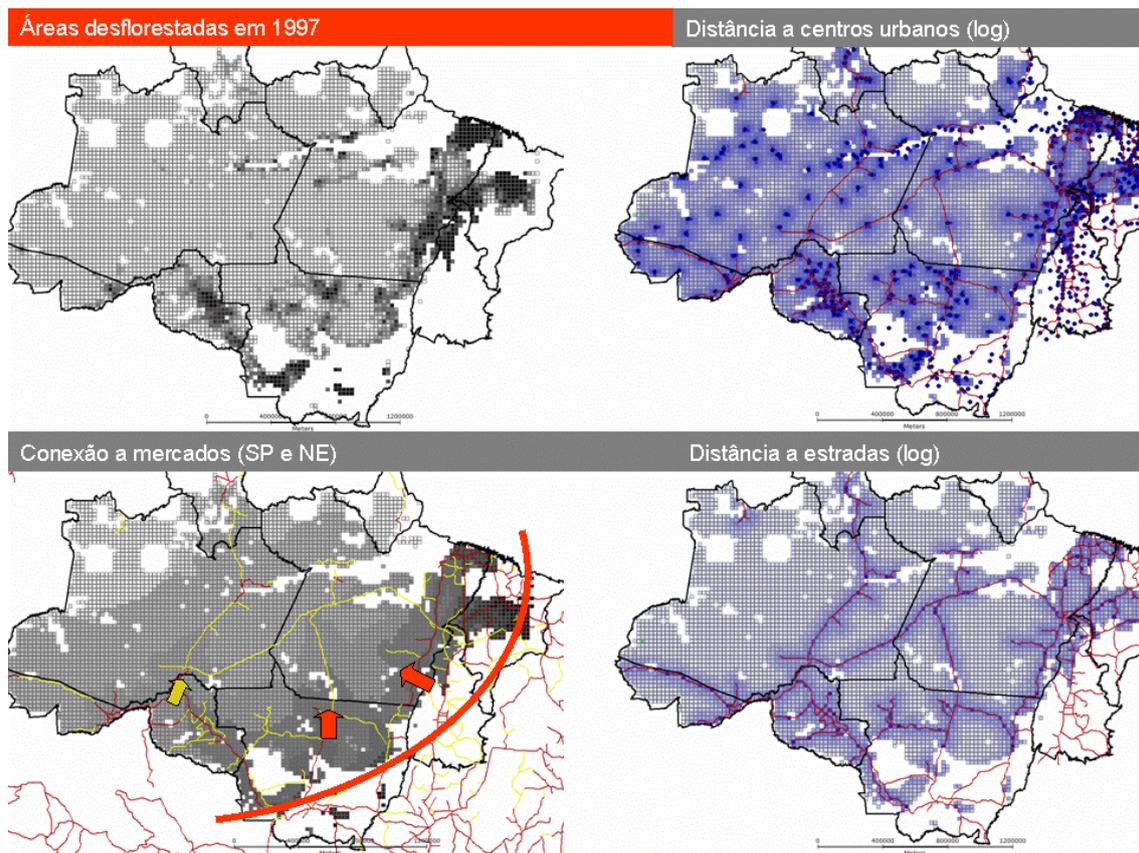


FIGURA 4.1 – Padrão de desflorestamento concentrado no Arco reforçado pela conectividade a mercados nacionais, e sua interação com os demais fatores, como estradas e centros urbanos.

4.3.2 Comparação dos fatores determinantes de desflorestamento ao longo das partições espaciais

Esta Seção apresenta e discute os modelos de regressão para três partições espaciais: Arco, Amazônia Central e Amazônia Ocidental. Para cada partição, dois modelos alternativos foram considerados, um incluindo a variável de *distância a centros urbanos*, e outro com a variável *distância a rodovias* (exceto na partição ocidental, onde elas foram permitidas no mesmo modelo). Uma etapa de pré-processamento manteve nos modelos apenas as variáveis com correlação inferior a 50% entre elas, eliminando as não significativas de acordo com um procedimento automático *forward-stepwise* (veja a Tabela 4.2). Os modelos tiveram as seguintes variáveis explanatórias:

- Arco: *urbano+clima*: distância a centros urbanos (log), clima, distância a pólos madeireiros (log), distância a depósitos minerais (log), áreas protegidas, porcentagem de pequenas fazendas, número de famílias assentadas (log), e porcentagem de solos férteis;
- Arco: *rodovias+conexão*: distância a rodovias (log), conexão a mercados, distância a pólos de produção madeireira (log), distância a depósitos minerais (log), áreas protegidas, porcentagem de pequenas fazendas, número de famílias assentadas (log), e porcentagem de solos férteis;
- Central: *urbano+clima+conexão*: distância a centros urbanos (log), conexão a mercados, umidade, conexão a portos, distância a rios (log), distância a depósitos minerais (log), áreas protegidas, porcentagem de pequenas fazendas, número de famílias assentadas (log), porcentagem de solos férteis e de várzea;
- Central: *rodovias+clima+conexão*: distância a rodovias (log), conexão a mercados, umidade, conexão a portos, distância a rios (log), distância a depósitos minerais (log), áreas protegidas, porcentagem de pequenas fazendas, número de famílias assentadas (log), porcentagem de solos férteis e de várzea;
- Ocidental: *urbano+rodovias*: distância a centros urbanos (log), distância a rodovias (log), distância a rios (log), áreas protegidas, e número de famílias assentadas (log).

A Tabela 4.5 apresenta os resultados da análise estatística para estes modelos, incluindo o R^2 e o critério de informação Akaike (AIC). Ambos os critérios indicam que os modelos de Arco são os de melhor ajuste. O coeficiente espacial autoregressivo (w_log_def) é significativo e maior do que 0,67 em todos os modelos do Arco e Amazônia Central. Na região Ocidental o coeficiente também é significativo, mas apresenta um valor mais baixo (0,54), indicando um padrão espacial menos marcado. A região Ocidental é ainda relativamente intocada, exceto em áreas próximas aos rios, e em torno de Manaus. Como colocado por Becker (2001), a Amazônia apresenta regiões com diferentes velocidades de modificação. A baixa dependência espacial é um

indicador de que as áreas ocupadas na região Ocidental não se espalham para as células vizinhas no mesmo ritmo do que as áreas ocupadas nas regiões Arco e Central, nos principais eixos de desenvolvimento. As outras variáveis que se mostraram importantes (com altos valores de *beta*) – ou que apresentem alguma variação relevante entre as partições espaciais – são: distância a centros urbanos (log), distância a rodovias (log), áreas de proteção, conexão a mercados, conexão a portos, distância a grandes rios, fertilidade do solo, número de famílias assentadas, e estrutura agrária. A Figura 4.2 ilustra graficamente as diferenças mais importantes encontradas entre estes oito fatores.

TABELA 4.5 – Modelos de regressão *spatial lag* de fatores determinantes de desflorestamento em diferentes macrorregiões.

ARCO			CENTRAL			OCIDENTAL		
<i>Modelos baseados em distância a estradas</i>								
R^2 :	0.80		R^2 :	0.71		R^2 :	0.50	
AIC :	-14783.70		AIC :	-12413.10		AIC :	-12023.00	
	beta	p-level		beta	p-level		beta	p-level
w_log_def	0.71	0.00	w_log_def	0.72	0.00	w_log_def	0.54	0.00
conn_mkts	0.07	0.00	log_dist_roads	-0.16	0.00	log_dist_urban	-0.24	0.00
prot_areas	-0.19	0.00	conn_ports	0.07	0.00	log_dist_roads	-0.15	0.00
log_dist_roads	-0.12	0.00	log_dist_rivers	-0.07	0.00	log_dist_rivers	-0.08	0.00
log_dist_wood	-0.04	0.00	log_settl	0.04	0.01	prot_area	-0.02	0.17
soil_fert	0.04	0.00	prot_area	-0.06	0.00	log_settl	0.00	0.81
log_settl	0.02	0.05	soil_wet	0.07	0.00			
agr_small	-0.03	0.01	log_dist_mineral	-0.05	0.00			
log_dist_mineral	-0.01	0.20	conn_mkt	0.03	0.06			
			clim_humid	-0.07	0.00			
			soil_fert	0.03	0.06			
<i>Modelos baseados em distância a centros urbanos</i>								
R^2 :	0.80		R^2 :	0.71				
AIC :	-13942.20		AIC :	-12405.10				
	beta	p-level		beta	p-level			
w_log_def	0.70	0.00	w_log_def	0.67	0.00			
log_dist_urban	-0.16	0.00	log_dist_urban	-0.17	0.00			
prot_areas	-0.19	0.00	conn_ports	0.09	0.00			
clim_humid	-0.05	0.00	conn_mkt	0.07	0.00			
log_settl	0.03	0.00	prot_area	-0.07	0.00			
soil_fert	0.03	0.00	log_dist_mineral	-0.05	0.00			
log_dist_mineral	-0.03	0.02	log_settl	0.04	0.00			
agr_small	-0.03	0.01	soil_wet	0.05	0.00			
log_dist_wood	-0.02	0.05	clim_humid	-0.06	0.00			
			log_dist_rivers	-0.05	0.00			
			soil_fert	0.03	0.04			
			agr_small	0.01	0.68			

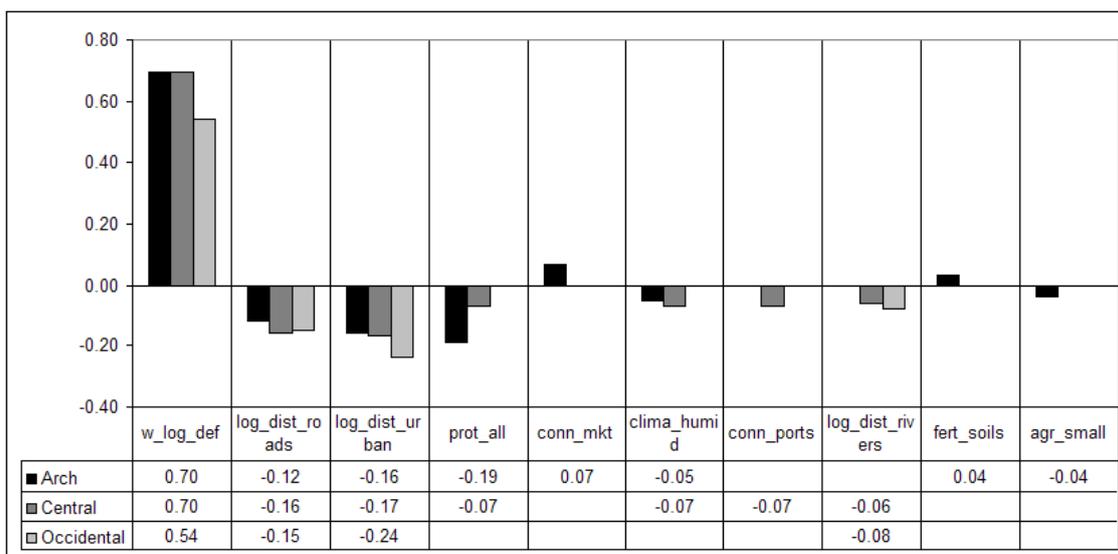


FIGURE 4.2 – Comparação gráfica dos principais fatores de desflorestamento ao longo das macrorregiões. Os valores apresentados são a média de coeficientes beta significativos. Valores em branco são coeficientes não significativos em algum dos modelos para aquela partição.

A primeira diferença principal é o valor relativamente alto para a variável de áreas protegidas (% de todos os tipos de áreas protegidas em cada célula, incluindo Terras Indígenas e Unidades de Conservação Estadual e Federal). No Arco, ele é o segundo fator mais importante (depois do coeficiente de autocorrelação espacial), precedendo a distância a rodovias e distância a centros urbanos. Terras indígenas e unidades de conservação correspondem a, respectivamente, 22% e 8% da região Amazônica, (BRASIL, 2005), espalhados através da região (veja a Figura 3.21). Nossos resultados indicam quantitativamente que áreas protegidas podem ser instrumentos importantes para evitar desflorestamento em áreas de alta pressão, tal como o Arco. Isto está de acordo com resultados anteriores que mostram que áreas protegidas são, em geral, efetivas em reduzir o desflorestamento, mesmo se alguns níveis de desflorestamento são encontrados dentro delas (Ferreira et al., 2005). Sua eficácia depende, no entanto, de uma clara demarcação dos limites, do contexto socioeconômico no qual elas são criadas, e de medidas de monitoramento e controle adequadas, como discutido por Ribeiro et al. (2005) e Escada et al. (2005a).

Distância a rodovias e distância a centros urbanos não são os determinantes mais importantes em todas as macrorregiões. Elas também não explicam diferenças intrarregionais, pois elas são ambas similarmente importantes em todas as macrorregiões, exceto na Amazônia Ocidental, onde a distância a centros urbanos é consideravelmente mais importante. Na Amazônia Ocidental, distância a grandes rios também é uma variável importante. Este resultado é coerente com a pouca ocupação na área, concentrada principalmente em Manaus e próximo aos rios.

Por outro lado, medidas de conexão (conexão a mercados e conexão a portos) afetam de forma diferente as diferentes partições. Conexão a mercados é importante para explicar os padrões de desflorestamento no Arco, mas não nas demais macrorregiões. Na macrorregião Central, esta variável perde significância em um dos modelos, quando a distância a rodovias é considerada. Conexão a portos é importante apenas na região Central, cujo processo histórico de ocupação está relacionado com os rios. O clima (intensidade da estação de seca) também é importante para explicar o desflorestamento nas partições Arco e Central. Na partição espacial Central, a variável clima apresentou uma menor correlação com a variável de conexão a mercados, e ambas puderam ser colocadas no mesmo modelo de regressão. No Arco, as variáveis clima e conexão a mercados são correlacionadas, e foram analisadas em modelos diferentes, ambos apresentando valores de coeficientes significativos. Isto indica que ambos os fatores criaram condições favoráveis para a ocupação na parte leste da Amazônia.

As diferenças entre os modelos das macrorregiões Arco e Central são importantes. Eles apontam para um processo de ocupação no Arco que utiliza rodovias como sua principal conexão. No Arco, a existência de áreas protegidas é o principal fator estatisticamente significativo no impedimento do desflorestamento. Um segundo impedimento são condições climáticas desfavoráveis, como o excesso de umidade. Como a área ao sul do Arco ainda possui uma extensão considerável de áreas de floresta primária fora das áreas protegidas, próximas ao cinturão agrícola mecanizado do sul do Mato Grosso, e também se beneficia de clima mais seco, *a criação de áreas protegidas nesta região seria um fator importante para restringir o processo de desflorestamento.*

Na região Central, devido ao processo histórico de ocupação, conexão a mercados nacionais não é significativo em um dos modelos. Existe uma influência forte das conexões por rios (variáveis de distância a rios e conexão a portos). A região Central é, atualmente, a região mais vulnerável, onde novas fronteiras são localizadas (BECKER, 2004). Conforme os sistemas de produção agrícola das novas áreas ocupadas na região Central tornarem-se mais fortes, estes relacionamentos estatísticos poderão ser modificados para refletir uma nova realidade, mas *não necessariamente repetindo os relacionamentos do Arco*. Por exemplo, conexão a portos deve continuar a ser importante na região Central devido à presença de portos de exportação no rio Amazonas, mas conexão por rodovias ao restante do país pode, também, ganhar importância, ligando as áreas de produção aos seus mercados nacionais. Em relação a áreas protegidas, o relacionamento estatístico não foi tão forte quanto no Arco, no período de análise. Porém, a criação de áreas protegidas na região central, em contextos socioeconômicos apropriados (Escada et al., 2005a), também deve ser um instrumento importante para a conservação de áreas que podem vir a ser ameaçados pelas novas fronteiras.

Nos próximos parágrafos nós discutiremos resultados relacionados a outras variáveis significativas: fertilidade do solo, número de famílias assentadas, e indicadores de estrutura agrária. Os indicadores de fertilidade de solo (porcentagem de solo fértil em cada célula) têm um relacionamento positivo no desflorestamento no Arco e em todos os modelos da Amazônia. Comparando os padrões de desflorestamento e os padrões de solos de média e alta fertilidade mostrados na Figura 3.22, pode-se notar a existência de solos de melhor qualidade em Rondônia e a Transamazônica, onde a maioria dos programas de colonização foi implementada¹⁰. Solos melhores também são encontrados no Mato Grosso..

Como esperado, o número de famílias assentadas por programas oficiais de colonização (acumulados de 1970 até 1999) tem um relacionamento positivo e significativo nas

¹⁰ Levantamentos de solos existentes foram considerados quando o Governo Federal planejou os projetos de desenvolvimento e assentamentos de colonização dos anos 70 e 80 (ver, por exemplo, Falesi (1974)). O projeto RADAM na década de 70 mapeou a vegetação, solos, geologia e geomorfologia.

regiões Arco e Central (e também em toda a Amazônia, como mostrado na Tabela 4.3). Por outro lado, o indicador de estrutura agrária (porcentagem em área de fazendas menores que 200 ha) também é significativo no Arco, porém apresenta um sinal negativo, indicando que desflorestamento está mais associado com áreas que possuam maior proporção de fazendas médias e grandes, do que áreas ocupadas por pequenas fazendas. Este relacionamento também é significativo em toda a Amazônia.

Muitos autores têm apresentado estimativas diversas da participação de pequenas e grandes fazendas em relação ao desflorestamento (FEARNSIDE, 1993; WALKER et al., 2000). Como citado por Walker et al. (2000) e Margulis (2004), a importância relativa de pequenas, médias e grandes fazendas de desflorestamento varia de uma região para outra, pois as dinâmicas de desflorestamento são muito distintas em locais diferentes. Porém a maioria dos trabalhos anteriores mostra que, quando considerada a extensão do desflorestamento total na Amazônia, um impacto mais significativo é causado por grandes fazendas (MARGULIS, 2004). Nossos resultados reforçam estes resultados anteriores, apresentando evidências de que áreas ocupadas por grandes e médias fazendas causam um impacto maior no desflorestamento do que áreas ocupadas por pequenas fazendas, *quando toda a área do Arco é analisada*. Isto pode ser explicado pela contribuição relativa dos estados do Pará, Tocantins e Mato Grosso. A Figura 4.2 ilustra que áreas de pequenas fazendas estão concentradas em Rondônia, nordeste do Pará e Maranhão. Na maioria da área Arco, a estrutura agrária é predominantemente de fazendas médias e grandes. Por exemplo, no Mato Grosso o valor médio do indicador da estrutura agrária é 0,07 (desvio padrão 0,07), significando que em média apenas 7% das terras de fazendas são ocupadas com propriedades com menos de 200 ha.

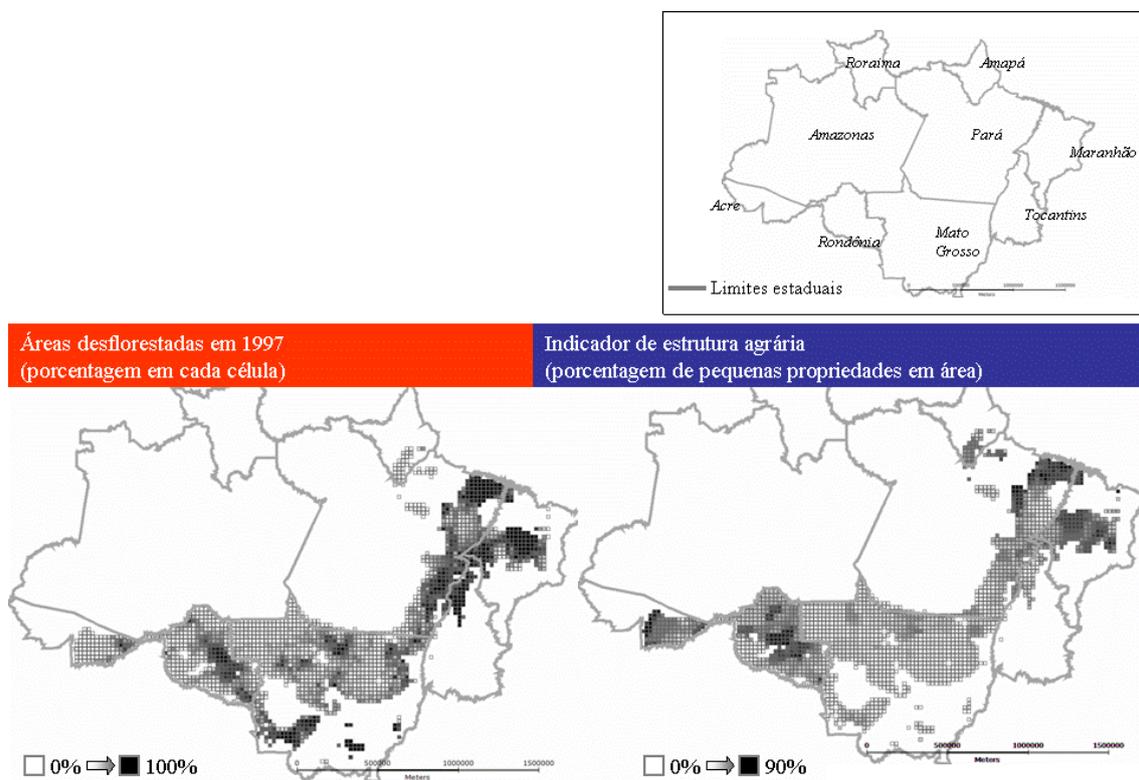


FIGURA 4.3 – Comparação entre padrões de desflorestamento e estrutura agrária e no Arco.

4.3.3 Comparação de fatores determinantes no uso da terra na partição Arco

Esta Seção apresenta e discute os resultados do modelo *spatial lag* para a partição Arco, na qual as variáveis dependentes são o *log da porcentagem de pastagem*, *agricultura temporária* e *agricultura permanente* em cada célula de 25 x 25 km². Para cada um destes três tipos de uso de terra, nós consideramos dois modelos alternativos, um incluindo a variável distância a centros urbanos, e um com distância a rodovias:

- *urbano+clima*: distância a centros urbanos (log), clima, distância a pólos madeireiros (log), distância a depósitos minerais (log), áreas de proteção, porcentagem de pequenas fazendas, número de famílias assentadas (log), e porcentagem de solos férteis;

- *rodovias+conexão*: distância a rodovias (log), conexão a mercados, distância a pólos madeireiros (log), distância a depósitos minerais (log), áreas de proteção, porcentagem de pequenas fazendas, número de famílias assentadas (log), e e porcentagem de solos férteis.

A Tabela 4.6 apresenta o resultado da análise estatística para seis modelos. O R^2 e o critério de informação Akaike (AIC) são utilizados como medidas de qualidade de ajuste para comparar os modelos. Todos os índices são similares, mas os modelos de agricultura temporária têm um desempenho levemente melhor de acordo com o AIC. O coeficiente espacial autorregressivo do modelo *spatial lag* é significativo e maior que 0,70 em todos os modelos, com valores mais altos nos modelos de agricultura permanente (acima de 0,80), indicando um agrupamento mais forte neste caso (veja Figura 3.6). Os outros fatores relevantes que serão analisados nesta Seção são: distância a centros urbanos (log), distância a rodovias (log), áreas protegidas, conexão a mercados, e estrutura agrária. A Figura 4.3 ilustra graficamente as diferenças mais importantes encontradas entre estes oito fatores.

Como nos resultados dos modelos de desflorestamento no Arco discutidos na Seção anterior, áreas protegidas, distância a estradas, e distância a centros urbanos são as variáveis mais importantes na explicação da distribuição de padrões de uso da terra. Conexão a mercados é significativo para agricultura temporária e pastagem, mas não para a agricultura permanente. A diferença principal entre os diferentes usos é o sinal em relação a variável de estrutura agrária (porcentagem em termos de área de fazendas menores que 200 ha.). O *beta* para a variável de estrutura agrária possui um valor positivo em ambos os modelos de agricultura (temporária e permanente). No modelo de pastagem, o valor de *beta* é negativo.

TABELA 4.6 – Modelos de regressão *spatial lag* de pastagem, agricultura temporária e permanente no Arco.

PASTAGEM			AGRICULTURA TEMPORÁRIA			AGRICULTURA PERMANENTE		
<i>Subgrupos baseados em distância a estradas</i>								
R^2 :	0.82		R^2 :	0.85		R^2 :	0.83	
AIC:	-14935.10		AIC:	-15308.40		AIC:	-15069.00	
	<i>beta</i>	<i>p-level</i>		<i>beta</i>	<i>p-level</i>		<i>beta</i>	<i>p-level</i>
w_log_past	0.74	0.00	w_log_temp	0.77	0.00	w_log_perm	0.82	0.00
conn_mkt	0.06	0.00	conn_mkt	0.08	0.00	log_dist_roads	-0.09	0.00
prot_area	-0.18	0.00	prot_area	-0.14	0.00	agr_small	0.07	0.00
log_dist_roads	-0.12	0.00	agr_small	0.06	0.00	prot_area	-0.11	0.00
log_dist_wood	-0.04	0.00	log_dist_wood	-0.04	0.00	log_dist_wood	-0.05	0.00
agr_small	-0.06	0.00	log_dist_roads	-0.07	0.00	soil_fert	0.04	0.00
log_settl	0.03	0.00	soil_fert	0.02	0.03	conn_ports	0.01	0.57
soild_fert	0.03	0.01	log_settl	0.03	0.01	conn_mkt	-0.02	0.14
log_dist_mineral	-0.03	0.01	conn_ports	0.01	0.50	log_dist_mineral	-0.01	0.31
log_dist_rivers	0.03	0.00	log_dist_rivers	0.03	0.01			
			log_dist_mineral	0.01	0.37			
<i>Subgrupos baseados em distância a centros urbanos</i>								
R^2 :	0.82		R^2 :	0.85		R^2 :	0.83	
AIC:	-14933.20		AIC:	-15366.40		AIC:	-15066.80	
	<i>beta</i>	<i>p-level</i>		<i>beta</i>	<i>p-level</i>		<i>beta</i>	<i>p-level</i>
w_log_past	0.74	0.00	w_log_temp	0.76	0.00	w_log_perm	0.82	0.00
log_dist_urban	-0.14	0.00	log_dist_urban	-0.13	0.00	log_dist_urban	-0.10	0.00
prot_area	-0.18	0.00	prot_area	-0.14	0.00	agr_small	0.06	0.00
clima_humid	-0.03	0.01	clima_humid	-0.05	0.00	prot_area	-0.11	0.00
log_dist_mineral	-0.04	0.00	agr_small	0.06	0.00	log_dist_wood	-0.05	0.00
log_settl	0.04	0.00	soil_fert	0.01	0.12	soil_fert	0.02	0.03
agr_small	-0.06	0.00	log_settl	0.03	0.00	conn_ports	0.02	0.09
soild_fert	0.02	0.05	conn_ports	0.01	0.38	log_dist_rivers	0.02	0.03
log_dist_wood	-0.02	0.04	log_dist_rivers	0.03	0.01	clima_humid	0.02	0.05
log_dist_rivers	0.03	0.00	log_dist_wood	-0.03	0.01	soil_wet	0.00	0.79
						log_settl	0.02	0.08

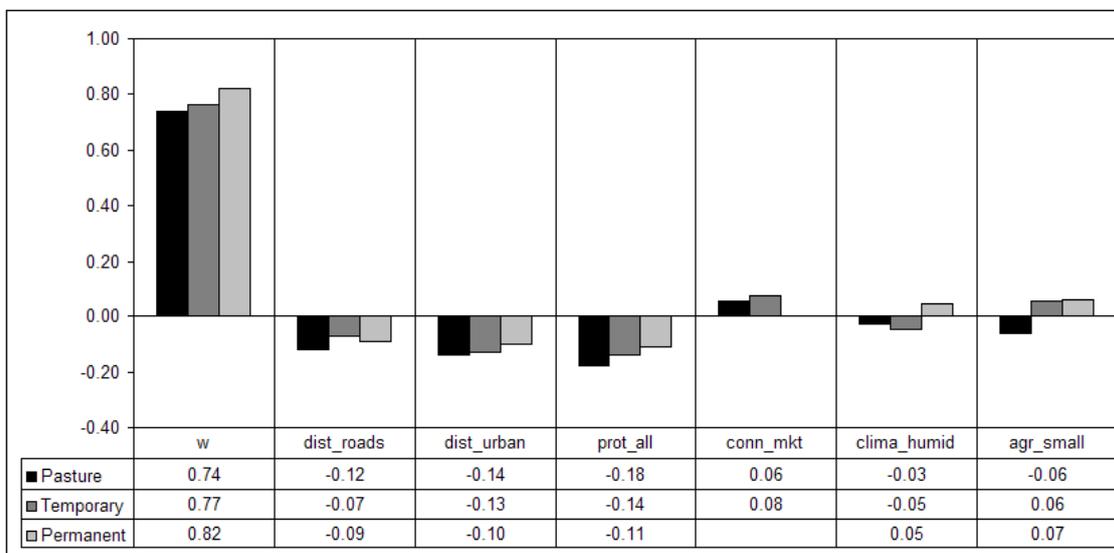


FIGURA 4.4 – Comparação gráfica dos principais fatores de uso da terra no Arco. Os valores mostrados são a media dos coeficientes *betas* (significativos). Valores vazios correspondem a coeficientes não significativos em algum dos modelos daquela partição.

Pastagem esta distribuída por toda a região (veja Figura 3.4), e seus fatores determinantes são muito similares aos de desflorestamento, discutidos na Seção anterior. Nossos resultados indicam que fazendas médias e grandes estão relacionadas a uma grande proporção de áreas de pastagem, *quando considerada toda a extensão do Arco*. A contribuição relativa de pequenas, médias e grandes fazendas na área de pastagem varia de acordo com diferentes localidades. Rondônia, por exemplo, possui uma área de pastagem significativa (veja Tabela 3.1) e uma estrutura agrária relacionada a pequenas fazendas. O sinal negativo capturado em nosso modelo está relacionado à influência das *áreas proporcionalmente maiores* dos estados do Mato Grosso e Pará, nos quais a estrutura agrária é predominantemente de fazendas grandes.

Por outro lado, agricultura temporária e permanente apresentam padrões diferenciados e concentrados, como discutido na Seção 3.2. Nossos resultados indicam uma tendência da agricultura temporária e permanente de ocupar áreas associadas a pequenas fazendas, quando consideramos todo o Arco em nosso período de análise. Culturas permanentes

estão presentes no nordeste do Pará, Rondônia e ao longo do rio Amazonas. Estas três áreas possuem uma estrutura de terra relacionada principalmente a pequenas propriedades, o que explica o sinal positivo no modelo de agricultura permanente. No modelo de agricultura temporária, o sinal positivo pode ser explicado pelo fato de que a agricultura temporária praticada no Pará e Maranhão por pequenos fazendeiros ocupa uma área maior que a agricultura mecanizada encontrada no sul do Mato Grosso (veja Tabela 3.1). Embora este relacionamento estatístico possa mudar com a expansão da agricultura mecanizada em áreas de floresta (BECKER, 2005), que requer grandes tratos de terra plana, e é praticado por um tipo de ator mais capitalizado, nossos resultados indicam a existência de um sistema de uso da terra baseado em uma agricultura temporária praticada por pequenas fazendas, especialmente em áreas de ocupação antigas, e com maior densidade populacional (IBGE, 1996), como no Maranhão e Nordeste do Pará.

Esta análise dos diferentes padrões de uso da terra realizada aqui provê ainda maior evidência da heterogeneidade da região, tanto em termos de estrutura agrária, quanto de diferentes trajetórias no uso da terra em diferentes locais. Por exemplo, ambas as regiões de Rondônia e parte do nordeste do estado do Pará possuem uma alta proporção de área dominada por pequenas fazendas. Porém, em Rondônia, colheitas temporárias não são tão significativas quanto no nordeste do Pará. Por outro lado, existe um padrão significativo de agricultura permanente em Rondônia. A expansão da soja pode modificar o relacionamento estatístico com a estrutura agrária obtido neste trabalho para agricultura temporária, mas não o fato destes outros sistemas de uso de terra existirem, e que políticas de ação efetivas devem levar em consideração tal heterogeneidade.

CAPÍTULO 5

EXPLORAÇÃO DE CENÁRIOS DE DESFLORESTAMENTO NA AMAZONIA BRASILEIRA

5.1 Introdução

Neste capítulo, um modelo dinâmico espacialmente explícito (o modelo CLUE) (KOK et al., 2001; VELDKAMP; FRESCO, 1996; VERBURG et al., 1999a) é aplicado para explorar possíveis cenários de desflorestamento na Amazônia Brasileira. O conceito de *exploração de cenários* é introduzido. Cada exploração enfatiza um aspecto diferente do processo de ocupação da Amazônia. De várias possibilidades existentes, este trabalho apresenta os resultados de cinco explorações que analisam os efeitos *fatores de acessibilidade alternativos, políticas públicas e condições do mercado*, nos padrões de desflorestamento futuros dos como explicados a seguir.

As duas primeiras explorações analisam o uso de modelos de regressão alternativos no arcabouço de modelagem CLUE para identificar fatores que melhor capturam as novas fronteiras da Amazônia e possíveis eixos futuros de desenvolvimento. Esta comparação visa analisar a importância de diferentes fatores determinantes de acessibilidade no processo de mudanças no uso da terra. Na primeira exploração o foco são fatores de conectividade. Na segunda, acessibilidade a mercados locais (distância a centros urbanos). Então, o impacto de políticas públicas alternativas é analisado em duas outras explorações: (a) políticas que influenciam as condições intrarregionais para uso agrícola, tais como rodovias pavimentadas e a criação de áreas de proteção; e (b) políticas para coibir atividades ilegais e promover o cumprimento das leis, tais como as reservas legais e áreas de proteção permanente nas propriedades particulares. Por último, são analisados cenários de aumento e redução de demandas por terra na Amazônia, correspondendo uma maior ou menor pressão para a conversão de florestas determinada pelo agronegócio nacional e internacional.

De cada umas destas cinco explorações padrões muito diferentes podem emergir. Cada exploração compreende dois ou três resultados alternativos (*hot-spots* de mudança de 1997 até 2020) a serem comparados. Juntos, os resultados das cinco explorações são complementares, e contribuem para o entendimento de diferentes aspectos do processo de ocupação.

Este capítulo está organizado da seguinte forma. A Seção 5.2 apresenta a metodologia. A Seção 5.3 apresenta os resultados e discussão dos cenários diferentes de exploração.

5.2 Métodos

5.2.1 O arcabouço de modelagem CLUE e sua adaptação na Amazônia

Este trabalho utiliza o arcabouço CLUE adaptado para as características da Amazônia. O arcabouço CLUE consiste de dois componentes principais, como ilustrado na Figura 5.1.6: (1) o *módulo de demanda*, que projeta a quantidade de mudança para cada classe de uso da terra; (2) o *módulo de alocação*, a componente espacial que atua em duas escalas (uma grade de resolução grosseira e outra fina) para localizar estas mudanças. O módulo de demanda é específico de cada aplicação (veja, por exemplo, aplicações CLUE prévias no Equador (De KONING et al., 1999), China (VERBURG; VELDKAMP, 2001; VERBURG et al., 1999b), e America Central (KOK; VELDKAMP, 2001.)). O cálculo de demanda pode ser baseado na análise de tendência de mudanças de taxas passadas, construção de cenários, ou modelos econômicos mais elaborados. A quantidade de mudança para cada uso de terra é passado para o módulo de alocação. O módulo de alocação utiliza um espaço celular que consiste de células de tamanho fixo para cada escala de espaço. Alocação de mudanças depende da adequação de cada célula, definida pelas relações empíricas entre os padrões de uso de terra e fatores determinantes.

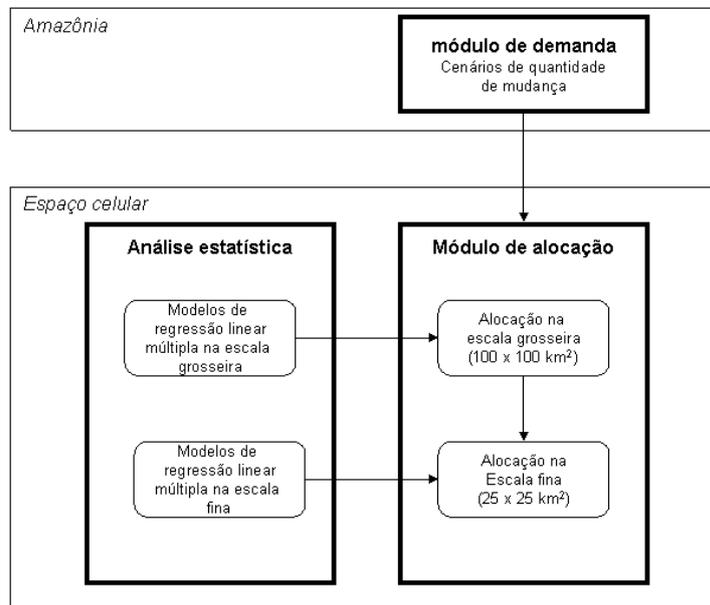


FIGURE 5.1 – Estrutura dos principais componentes no arcabouço de modelagem CLUE

Fonte: adaptado de Verburg et al. (1999b).

O módulo de alocação multiescala do CLUE trabalha da seguinte forma. Relações entre usos de terra e fatores explanatórios são quantificadas por regressões múltipla baseadas nos padrões de uso de terra numa certa data. Modelos de regressão diferentes são adotados para a resolução fina e grosseira. Estes modelos de regressão são usados para estabelecer a adequação de cada célula em relação a certo uso da terra. O primeiro modelo aloca mudanças nas células de resolução grosseira, tentando alcançar a quantidade de mudança total determinada pelo módulo de demanda para cada uso da terra em cada ano. Então, o mesmo processo é repetido na escala fina. A diferença, além do uso de modelos de regressão diferentes, é que a quantidade de mudança em cada célula na escala fina é também influenciada pelas mudanças projetadas na célula correspondente na escala grosseira. Detalhes sobre o mecanismo de alocação podem ser encontrados em Verburg et al. (1999a).

Adaptar o arcabouço CLUE para a Amazônia incluiu: (a) decisões iniciais de modelagem, tais como: a escolha de classes de uso da terra, dos fatores determinantes potenciais, e das escalas espacial e temporal de análise; (b) análises estatísticas para ambas as resoluções; (c) calibração e identificação de modificações necessárias no módulo de alocação do CLUE para a Amazônia; (d) implementação de mudanças no módulo de alocação do CLUE; e (d) estabelecimento de uma combinação de cenários de demanda e alocação que permitissem a exploração de como fatores determinantes alternativos, políticas e restrições de mercado influenciam o processo de ocupação da Amazônia. Estas etapas são descritas nas próximas seções.

5.2.2 Decisões básicas de modelagem

As classes de uso da terra (variáveis dependentes) são as porcentagens de floresta e principais usos agrícolas (pastagem, agricultura temporária, agricultura permanente, floresta plantada, e áreas de agricultura não utilizadas) em cada célula de 25 x 25 km² e 100 x 100 km², como discutido na Seção 3.2.2. As variáveis explanatórias potenciais compiladas para dar suporte a este trabalho estão descritas na Seção 3.3, e incluem fatores de *acessibilidade a mercados, atratividade econômica, demográficos, tecnológicos, estruturas agrária, políticas públicas, e ambientais*.

Na escala de resolução fina, quatro partições espaciais são consideradas para a análise estatística: toda a Amazônia brasileira e as três macrorregiões: Arco Densamente Povoado, a Amazônia Central, e a Amazônia Ocidental. Na resolução grosseira, apenas toda a Amazônia é considerada. O período de análise vai de 1997 até 2020. A resolução temporal é de um ano.

5.2.3 Análise estatística

5.2.3.1 Adequação de modelos de regressão linear em modelagem LUCC

A análise estatística serve para estabelecer relações entre padrões de uso da terra (variáveis dependentes) e seus fatores determinantes (variáveis independentes), obtidas através de análise de regressão linear. A adequação do modelo convencional de

regressão linear múltipla foi analisada. Uma das hipóteses básicas nos modelos de regressão linear é que observações não são correlacionadas, e conseqüentemente os resíduos dos modelos também não são correlacionados. Dados de uso da terra possuem a tendência de ser espacialmente correlacionados, pois se o uso da terra muda em uma área, isto tende a se propagar para áreas vizinhas. Dependência espacial poderia ser vista como uma desvantagem metodológica, pois ela interfere nos resultados da regressão linear, porém, por outro lado, ela é exatamente o que nos dá informações sobre os padrões espaciais, estrutura e processos de uso da terra (OVERMARS et al., 2003).

O capítulo 4 apresenta uma análise estatística utilizando o modelo de regressão *spatial lag* (ANSELIN, 2001), um modelo de regressão linear modificado no qual a dependência espacial é capturada em um parâmetro (o denominado coeficiente autorregressivo). Nós comparamos os resultados do modelo *spatial lag* com os resultados de modelos de regressão linear não espacial para toda a Amazônia, para compreender como fatores explanatórios contribuem para a dependência espacial. Os resultados mostram que o coeficiente espacial do modelo *spatial lag* é significativo e maior que 0,70 em todos os modelos, uma evidência quantitativa que corrobora com verificações anteriores que o desflorestamento é um processo difusivo na Amazonas, e tende a ocorrer próximo a áreas previamente abertas (ALVES, 2002). Os resultados também mostram que quando utilizamos o modelo de regressão *spatial lag*, os coeficientes dos fatores determinantes na equação de regressão são menores, porém não de forma uniforme. A conectividade a mercados e condições climáticas carrega uma parte maior de dependência espacial, e reforça o padrão difuso de desflorestamento (veja Tabela 4.4).

Existe um risco no uso do modelo *spatial lag* na modelagem dinâmica LUCC. O parâmetro de autocorrelação espacial é relacionado com desflorestamento prévio na vizinhança. O modelo resultante teria uma tendência a concentrar mudanças em áreas previamente ocupadas, não permitindo que novos padrões apareçam. Portanto, nós consideramos mais apropriados amarrar os aspectos difusivos de desflorestamento a variáveis manipuláveis através de cenários, tais como conectividade a mercados e

distância a rodovias. Novos padrões poderiam emergir com a modificação das características de acessibilidade. Considerações similares são apresentadas em Overmars et al. (2003). Desta forma, nós escolhemos utilizar os coeficientes do modelo de regressão linear convencional para alimentar o modelo CLUE.

5.2.3.2 Procedimento de análise estatística

Uma análise estatística exploratória inicial mostrou que alguns dos relacionamentos entre variáveis exploratórias potenciais e variáveis de uso da terra não eram lineares. Nós aplicamos uma transformação logarítmica nas variáveis de uso da terra e em algumas variáveis exploratórias (ver Apêndice C). A transformação logarítmica melhorou os resultados da regressão significativamente. Esta melhora indica que as variáveis exploratórias estão relacionadas com a escolha inicial de áreas a serem ocupadas. Após a escolha inicial, a ocupação tende a se concentrar próxima a áreas previamente abertas (ALVES, 2002).

A análise explanatória identificou um alto grau de correlação entre os fatores explanatórios, como ilustra também o Apêndice C. Um subconjunto de 15 variáveis foi eleito para a análise de regressão necessária para aplicar o modelo CLUE. Este subconjunto é apresentado na Tabela 5.1. Estas variáveis cobrem uma larga faixa de categorias, e sua seleção minimiza problemas de correlação. Dentro da mesma categoria, diversas alternativas foram testadas. Por exemplo, das variáveis relacionadas ao clima, nós selecionamos a umidade média nos meses mais secos do ano em cada célula. A escolha final de variáveis explanatórias não inclui variáveis das categorias *demográficas* ou *tecnológicas*, capturadas indiretamente por outras variáveis correlacionadas. Densidade populacional, por exemplo, é altamente correlacionada às variáveis de acessibilidade, como distância a estradas e a centros urbanos. Variáveis tecnológicas apresentam alta correlação com as de estrutura agrária. Nós demos preferência a variáveis nas categorias de *acessibilidade a mercados* e *políticas públicas*, que poderiam ser manipuladas na análise de cenários referentes à pavimentação de estradas e criação de áreas protegidas.

TABELA 5.1 – Subconjunto de variáveis explanatórias potenciais selecionado para rodar o modelo CLUE.

Categoria	Variável	Descrição	Unidade	Fonte
Acessibilidade a mercados	conn_mkt	Indicador de forças de conexão a mercados nacionais (SP e NE) através de malha rodoviária	-	IBGE ¹
	conn_ports	Indicador de forças de conexão a portos através de malha rodoviária	-	IBGE
	log_dist_rivers	Distância Euclidiana para grandes rios (log)	km	IBGE
	log_dist_roads	Distância Euclidiana para rodovias (log)	km	IBGE
	log_dist_pav_roads	Distância Euclidiana para rodovias pavimentadas (log)	km	IBGE
	log_dist_unpav_roads	Distância Euclidiana para rodovias não pavimentadas (log)	km	IBGE
	log_dist_urban	Distância Euclidiana para centros urbanos (log)	km	IBGE
Atratividade econômica	log_dist_wood	Distância Euclidiana a pólos de extração de madeira (log)	km	IBAMA ²
	log_dist_mineral	Distância Euclidiana para depósitos minerais (log)	km	CPRM ³
Políticas públicas	prot_area	Porcentagem de áreas protegidas	% de área na célula	IBAMA FUNAI ⁴
	log_settl	Número de famílias assentadas de 1970 até 1999 (log)	Número de famílias (log)	INCRA ⁵
Estruturas Agrárias	agr_small	Porcentagem de área de pequenas propriedades	% de área na célula	IBGE
Ambientais	soil_fert	Porcentagem de alta e média para solos de alta fertilidade	% de área na célula	IBGE
	soil_wet	Porcentagem de solos de “várzea”	% de área na célula	IBGE
	clim_humid	Umidade media nos três meses mais secos do ano	%	INMET ⁶

Mesmo no subconjunto de variáveis apresentado na Tabela 5.1, havia ainda um alto grau de correlação, que varia entre as partições espaciais e resoluções. Por exemplo, em ambas as escalas, distância a centros urbanos e distância a rodovias são altamente correlacionados, exceto na Amazônia Central. Condições climáticas e conexão a mercados nacionais não podem ser colocadas no mesmo modelo, com exceção da região Central. Distância a rodovias e conexão a mercados nacionais foram altamente correlacionados em toda a Amazônia. Nós decidimos construir modelos de regressão diferentes, onde cada modelo teve potencialmente variáveis com menos de 50% de correlação entre elas.

Vários modelos alternativos foram construídos para cada partição espacial. Para construir um modelo de regressão nós selecionamos como variáveis primárias aquelas com potencialmente maior poder exploratório em relação ao desflorestamento: distância a centros urbanos e distância a rodovias, seguidas por variáveis de conexão a mercados e climas. Isto levou aos modelos resumidos na Tabela 5.2:

- *Resolução grosseira*: Nós consideramos dois modelos, um incluindo distância a centros urbanos (*amazon_urban100*) e outro incluindo distância a rodovias (*amazon_roads100*). Os dois modelos foram derivados considerando toda a Amazônia.
- *Resolução fina*:
 - Um modelo para toda a Amazônia, incluindo distância a rodovias (*amazon25*).
 - Três modelos para três sub-regiões diferentes (Arco, Central e Ocidental), todas incluindo distância a rodovias (*arch25*, *central25*, *occidental25*).

TABELA 5.2 – Grupos de variáveis explanatórias não correlacionadas utilizadas para construir os modelos de regressão.

	Resolução Grosseira		Resolução Fina			
	amazon_urban100	amazon_roads100	amazon25	arch25	central25	occidental25
log_dist_urban	x					x
log_dist_roads		x			x	x
log_dist_paved_roads			x	x		
log_dist_unpaved_roads			x	x		
conn_mkt				x	x	x
clima_humid	x	x	x		x	x
conn_ports	x	x	x	x	x	x
log_dist_rivers	x	x	x	x	x	x
log_dist_wood				x		
log_dist_mineral		x		x	x	
prot_area	x	x	x	x	x	x
agr_small	x	x	x	x	x	x
log_settl	x	x	x	x	x	x
soil_fert	x	x	x	x	x	x
soil_wet	x	x	x	x	x	x

Uma regressão linear automática *forward stepwise* foi aplicada para refinar os modelos e descartar variáveis não significantes para todos os usos da terra. Nos modelos de resolução fina, nós tentamos distinguir entre distância a rodovias pavimentadas e não pavimentadas em todas as partições espaciais. Porém, nas regiões Central e Ocidental, a variável distância a rodovias pavimentadas não foi significativa nos modelos, pois não existiam muitas rodovias pavimentadas em 1997. Nestes casos, nós utilizamos a variável distância a rodovias (que agrega ambos os tipos: pavimentadas e não pavimentadas).

A importância relativa de fatores varia nos modelos de regressão derivados para partições espaciais diferentes. Estas diferenças são exploradas para compreender o impacto de diferentes fatores no processo de desflorestamento, como descrito na Seção 5.2.5.

5.2.4 Calibração e identificação de modificações necessárias no módulo de alocação

Esta etapa do trabalho envolveu numa primeira etapa a comparação visual dos resultados da aplicação do modelo CLUE com padrões de desflorestamento de 2003 (INPE, 2005). Diversos testes foram realizados, sumariados no Apêndice D, num processo iterativo de aprendizado e melhoria dos resultados, como descrito abaixo. Esta etapa de calibração teve como objetivos:

1. Escolher os parâmetros do modelo de alocação original do CLUE, descritos em Kok et al. (2001), em especial o parâmetro que estabelece a influência da escala grosseira na escala fina (SCALE_FACT). Adotou-se o valor 1 para o parâmetro, de acordo com os resultados obtidos em vários testes (ver Apêndice D).
2. Verificar a adequação do modelo às características do processo de ocupação da Amazônia. Os resultados preliminares desta etapa de calibração apontaram a necessidade de algumas adaptações no modelo original:
 - O modelo original apresentava uma tendência a concentrar mudanças em algumas poucas células com níveis de adequação maiores do que as outras, concentrando o desflorestamento em alguns pontos apenas. A resolução das células, 25 x 25 km² na escala fina, faz com que tal resultado seja incompatível com o processo de conversão da floresta na Amazônia. A utilização de transformações logarítmicas nas variáveis possivelmente contribuiu para as discrepâncias na adequação das células. Além disso, muitas células mostravam-se saturadas (isto é, 100% desflorestadas após alguns anos, sem qualquer diminuição no ritmo de conversão, ou respeito às reservas legais em propriedades privadas previstas pelo Código Florestal Brasileiro). Estes resultados mostraram que seria necessário incluir algumas modificações no

mecanismo interno de alocação do modelo para minimizar o problema de concentração, e incluir a questão do respeito (ou não) às reservas legais. As soluções implementadas são descritas na Seção 5.2.5. Como benefício adicional, podem-se utilizar os mecanismos incorporados ao CLUE para explorar cenários relativos ao cumprimento das leis, como discutido também na próxima seção.

- Observou-se que, mesmo depois de incorporadas as mudanças descritas na próxima seção, os padrões gerados pelos testes iniciais ainda eram muito concentrados no Arco, e poucas mudanças eram observadas na região Central, onde as novas fronteiras de expansão da Amazônia estão localizadas (ver Seção 2.3). Este resultado mostrou a necessidade de testar a regionalização da demanda nas três macrorregiões, para induzir o processo de mudança na Amazônia Central, com base na hipótese de que tal processo está relacionado a forças regionais, como discutido na Seção 5.2.6.2. Foram utilizados dados reais sobre as taxas de desflorestamento de 1997 a 2004 para ajustar a distribuição da demanda entre as três macrorregiões.
- Mesmo com a demanda regionalizada, a dinâmica das novas fronteiras na Amazônia Central não era corretamente capturada pelas projeções do CLUE, quando utilizados os modelos de regressão derivados para cada região. Passou-se então a buscar uma melhor combinação de fatores, através do teste de modelos de regressão alternativos. Em especial, foi testada a utilização do modelo de regressão derivado para o Arco nas demais macrorregiões (ver tabela de testes no Apêndice D). A hipótese explorada neste caso é que as relações estatísticas estabelecidas para o Arco possam capturar melhor o processo das novas fronteiras, e as diferenças de estágio de ocupação intrarregionais. Em especial porque o modelo do Arco enfatiza a importância da variável conexão a mercados nacionais nos padrões de ocupação (uma das hipóteses exploradas nesta tese). Estas questões conduziram às explorações A e B descritas na Seção 5.2.6, contribuindo para que o arcabouço de modelagem CLUE fosse utilizado não apenas para a realização de projeções sobre o futuro da Amazônia, mas principalmente para ganhar entendimento sobre o processo de ocupação em

diferentes áreas, e sobre a influência de diferentes fatores determinantes, em diferentes escalas.

5.2.5 Implementação de modificações no módulo de alocação

Três modificações principais foram adicionadas ao módulo de alocação do CLUE (VERBURG et al., 1999a) para adaptá-lo a características específicas da Amazônia. Estas modificações permitem também a análise de cenários referentes a diferentes graus de cumprimento das leis, como segue:

1. *Adoção de um procedimento de alocação alternativo após a cobertura da floresta atingir um valor mínimo em cada célula.* Após um dado limite, apenas mudanças pequenas e lentas são permitidas na cobertura da floresta. Este parâmetro pode ser utilizado no cenário de explorações com relação à obediência (ou não) da lei Federal que impõe que 80% da floresta dentro de propriedades privadas devem ser preservadas. Esta lei é atualmente largamente desrespeitada. Cenários alternativos relativos a possíveis impactos do cumprimento dessa lei puderam ser construídos através de um novo parâmetro (`forest_threshold`) adicionado ao módulo de alocação.
2. *Controle da amplitude máxima de mudanças em uma única célula em um dado intervalo de tempo.* Nós impusemos um limite superior para a amplitude de mudança em cada célula através de um novo parâmetro (`change_max_lim`) para evitar a concentração das mudanças em algumas poucas células, como discutido na Seção anterior. Pelo controle deste parâmetro nós podemos também impor níveis diferentes no ritmo de conversão de floresta em cada célula. Isto pode ser utilizado para construir cenários relacionados a possíveis efeitos de ações governamentais para controlar desflorestamento ilegal e práticas de apropriação da terra.
3. *Heterogeneidade de valores de parâmetros representando níveis diferentes de controle.* Nós criamos um mecanismo que permite que estes dois parâmetros (`forest_threshold` e `change_max_lim`) assumirem valores únicos para toda a Amazônia ou valores regionalizados. Valores regionalizados podem ser

utilizados para simular ações de “comando e controle” para inibir atividades ilegais em localidades selecionadas, ou níveis não uniformes de governança distribuídos pela região.

5.2.6 Construção de cenários

5.2.6.1 Visão geral

Este trabalho propõe cinco explorações de cenários alternativas resumidas na Tabela 5.3. Cada exploração enfatiza um aspecto diferente do processo de ocupação: a importância de fatores determinantes, os efeitos de políticas e os efeitos de restrições de mercado. Explorações A e B analisam a importância relativa de fatores de acessibilidade a mercados em capturar as novas fronteiras da Amazônia. Estas explorações comparam modelos de regressão alternativos. A exploração A compara modelos baseados apenas na distância a rodovias a modelos que incluem fatores de conectividade. A exploração B analisa os efeitos de utilizar a distância a centros urbanos na resolução grosseira. Explorações C e D analisam os efeitos de políticas públicas nos padrões de desflorestamento. A exploração C analisa o impacto de rodovias pavimentadas e a criação de áreas de proteção. Exploração D considera políticas relativas ao cumprimento da lei. Finalmente, exploração E analisa os efeitos de aumentar e diminuir a demanda, para compreender como as restrições de mercado podem alterar os padrões de desflorestamento até 2020.

Explorações utilizam uma combinação de modelos de regressão, cenários de demanda e alocação alternativos. Cenários de alocação representam mudanças em fatores determinantes dinâmicos espaciais (devido à pavimentação de rodovias e criação de áreas protegidas). Cenários de cumprimento da lei referem a possíveis valores de parâmetros de alocação descritos na Seção 5.2.4.

TABELA 5.3 – Resumo das explorações de cenários.

EXPLORAÇÃO	MODELOS DE REGRESSÃO				CENÁRIOS		
	100km	25km			Alocação	Demanda	Cumprimento da lei
		Arco	Central	Ocidental			
A Fatores alternativos: Acessibilidade	amazon_roads100	amazon25	amazon25	amazon25	Sem mudança	Básico	Não
	amazon_roads100	arch25	central25	occidental25	Sem mudança	Básico	Não
	amazon_roads100	arch25	arch25	arch25	Sem mudança	Básico	Não
B Fatores alternativos: Mercados locais	amazon_roads100	arch25	arch25	arch25	Sem mudança	Básico	Não
	amazon_urban100	arch25	arch25	arch25	Sem mudança	Básico	Não
C Análise de políticas: pavimentação de rodovias e criação de áreas protegidas	amazon_roads100	arch25	arch25	arch25	Pavimentação e proteção	Básico	Não
	amazon_urban100	arch25	arch25	arch25	Pavimentação e proteção	Básico	Não
D Análise de políticas: Cumprimento da lei	amazon_roads100	arch25	arch25	arch25	Sem mudança	Básico	50% de reservas privadas
	amazon_roads100	arch25	arch25	arch25	Sem mudança	Básico	Comando e controle local
E Restrições do mercado	amazon_roads100	arch25	arch25	arch25	Pavimentação e proteção	Reduzir	Não
	amazon_roads100	arch25	arch25	arch25	Pavimentação e proteção	Aumentar	Não
	amazon_urban100	arch25	arch25	arch25	Pavimentação e proteção	Reduzir	Não
	amazon_urban100	arch25	arch25	arch25	Pavimentação e proteção	Aumentar	Não

O restante desta Seção é organizado da seguinte forma. Seção 5.2.5.2 apresenta as premissas relacionadas aos cenários de demanda utilizados nas explorações. A Seção 5.2.5.3 descreve cenários de alocação alternativos. A Seção 5.2.5.4 descreve as alternativas de cenários de cumprimento da lei.

5.2.6.2 Cenários de demanda

O módulo de demanda CLUE para este estudo baseia-se em taxas de desflorestamento atuais e passadas (INPE, 2005). As taxas de desflorestamento atuais são usadas de 1997 até 2004 (INPE, 2005). O cenário básico assume o nível atual de desflorestamento

(aproximadamente 25.000 km²) serão mantidos até 2020. O cenário básico é utilizado para as explorações A, B, C e D. A exploração E utiliza dois cenários de demanda alternativos. No primeiro cenário, a taxa reduz para 15.000 km² por ano em 2015, e então estabiliza neste nível até 2020. No segundo cenário as taxas de desflorestamento aumentam para 35.000 km² em 2015, e então estabiliza até 2020¹¹. Outras premissas adotadas nos cenários de demanda incluem:

- *As porcentagens relativas de classes diferentes de uso da terra* (IBGE, 1996) são mantidas até 2020. Pastagem representa 68% da área desflorestada, e agricultura temporária, 14%. Embora exista um aumento reportado de cultivo de soja em áreas florestais nos últimos anos, o rebanho de gado na Amazônia também tem aumentado (IBGE, 2006a). Modificações nestas premissas são deixadas para trabalhos futuros, quando o novo censo agropecuário do IBGE previsto, inicialmente, para 2006, estiver disponível.
- *Para distribuir a quantidade de mudanças nas três macrorregiões*, nós assumimos que as taxas de desflorestamento anuais diminuirão significativamente no Arco e aumentarão na área Central, de acordo com porcentagens mostradas na Figura 5.2. A premissa por trás da regionalização da demanda é que as novas fronteiras da Amazônia são movidas por forças regionais agindo na Amazônia Central (BECKER, 2005). E que o processo no Arco irá gradativamente perder força devido ao maior controle social e diminuição da disponibilidade de terra. Na região Ocidental, um aumento menor que na área Central é assumida. Como mencionado na Seção 5.2.4, as taxas projetadas em cada partição espacial foram verificadas usando os dados de desflorestamento de 2003 (INPE, 2005) para garantir compatibilidade com processos de uso da terra atuais.

¹¹ Optou-se por cenários simples, lineares, condizentes com as taxas atuais, para complementar as análises das demais explorações, e verificar o impacto do aumento ou diminuição da demanda nos padrões espaciais. Várias outras possibilidades podem ser exploradas em trabalhos futuros, por exemplo: desflorestamento tendendo a zero; aumentando não linearmente, como as taxas do passado (INPE, 2005), assim com variações das demais premissas referentes à distribuição dos diferentes usos, e da pressão nas diferentes macro-regiões.

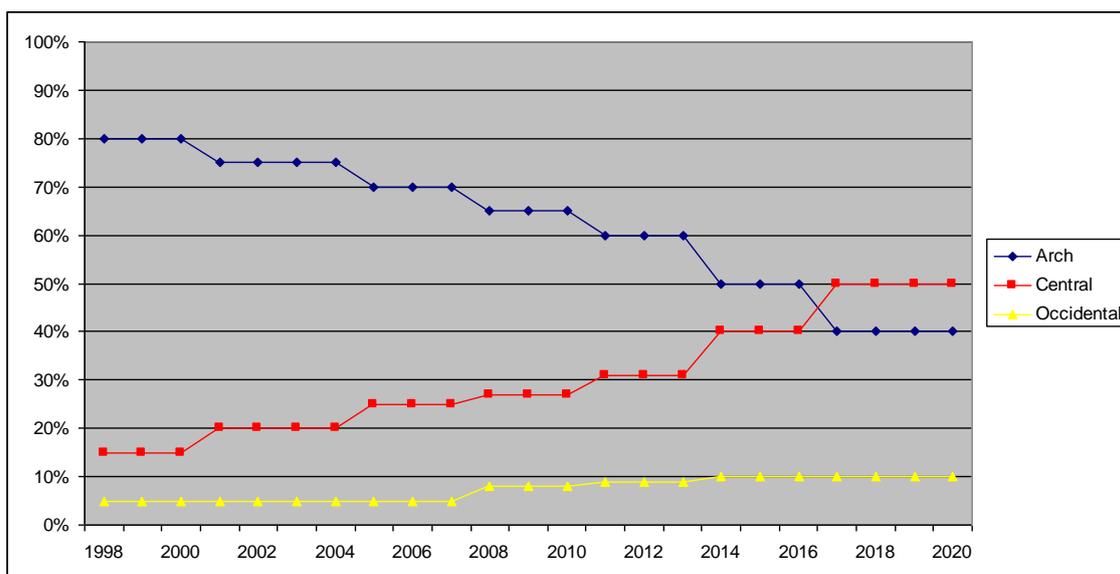


FIGURA 5.2 – Distribuição de taxas de desflorestamento temporal ao longo das macrorregiões.

5.2.6.3 Cenários de alocação

Cenários de alocação consideram as mudanças temporais em fatores influenciados pela pavimentação de rodovias e criações de áreas protegidas. Estes fatores são: conexão a mercados, conexão a portos, distância a rodovias, distância a rodovias pavimentadas, distância a rodovias não pavimentadas, e áreas protegidas. Estes fatores tomam valores diferentes no banco de dados celular em ambas as escalas (fina e grosseira), de acordo com os diferentes cenários de alocação:

- *Sem mudança:* em rodovias e áreas protegidas, exceto a inclusão de algumas rodovias não pavimentadas após 2000 (a rodovia Canopus não pavimentada em São Felix do Xingu (Escada et al., 2005a), e três novas rodovias não pavimentadas na parte noroeste do estado do Mato Grosso).
- *Cenário pavimentação e proteção:* cinco rodovias são pavimentadas de acordo com o planejamento mostrado na Tabela 5.4, e novas áreas protegidas são

criadas em 2004. A Figura 5.3 ilustra as mudanças nas áreas protegidas e na rede viária neste cenário.

TABELA 5.4 – Planejamento de alocação de cenário pavimentação e proteção.

Rodovia	Segmento a ser pavimentado	Estado	Ano de conclusão da obra
BR 163 (Cuiabá-Santarém)	Itaúba-Santarém	Pará	2007
BR 364	Bujari-Cruzeiro do Sul	Acre	2007
PA 279	Xinguara-São Felix doXingu	Pará	2007
BR 230 (Transamazônica)	Humaitá-Labrea	Amazonas	2007
BR 319 (Porto Velho-Manaus)	Humaitá-Careiro	Amazonas	2010

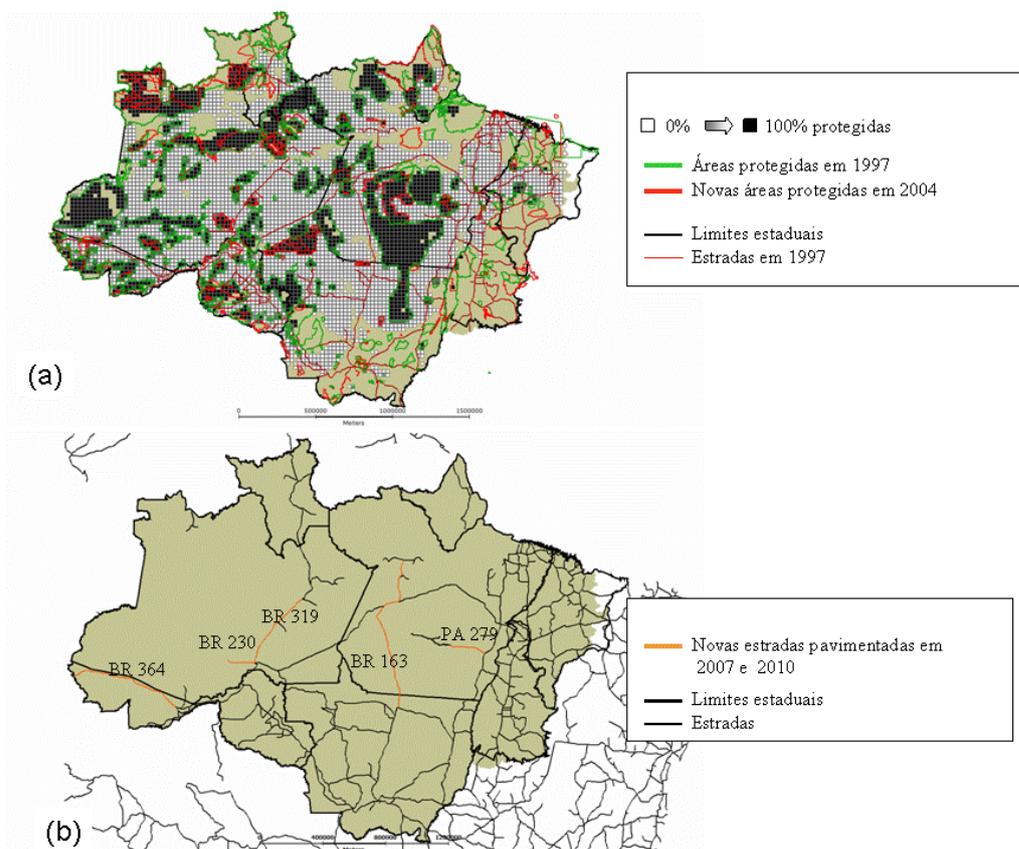


FIGURA 5.3 – Mudanças no cenário pavimentação e proteção: (a) áreas protegidas; (b) rede viária.

As Figuras ilustram, respectivamente, a evolução temporal (1997, 2010) da variável conexão a mercados e da variável conexão portos no cenário “pavimentação e proteção”.

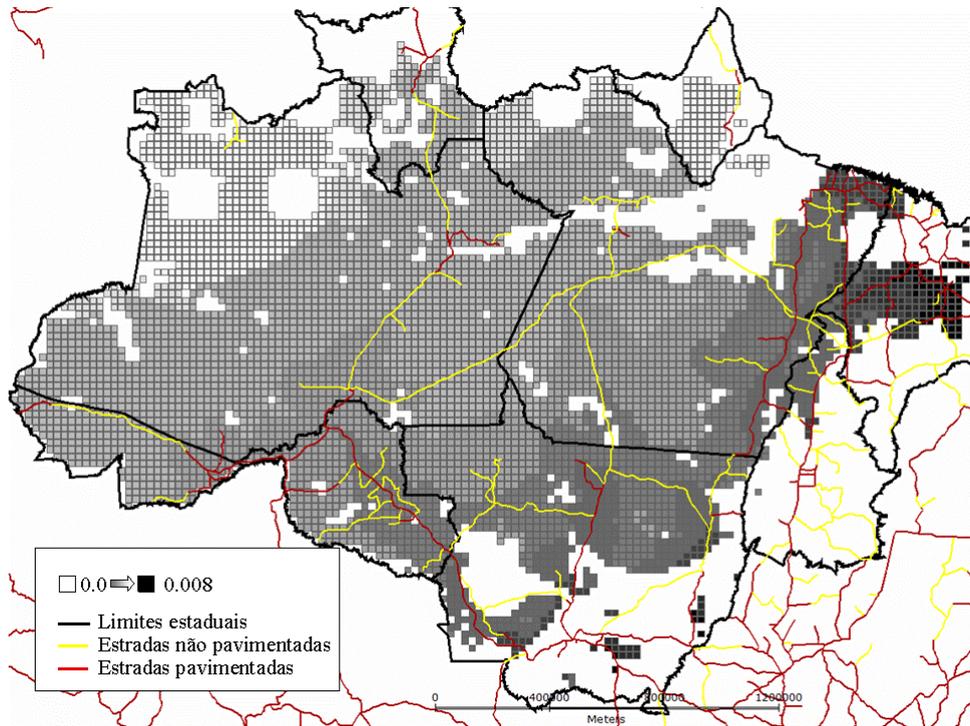


FIGURA 5.4 – Conexão a mercados nacionais (São Paulo e Nordeste) em 1997.

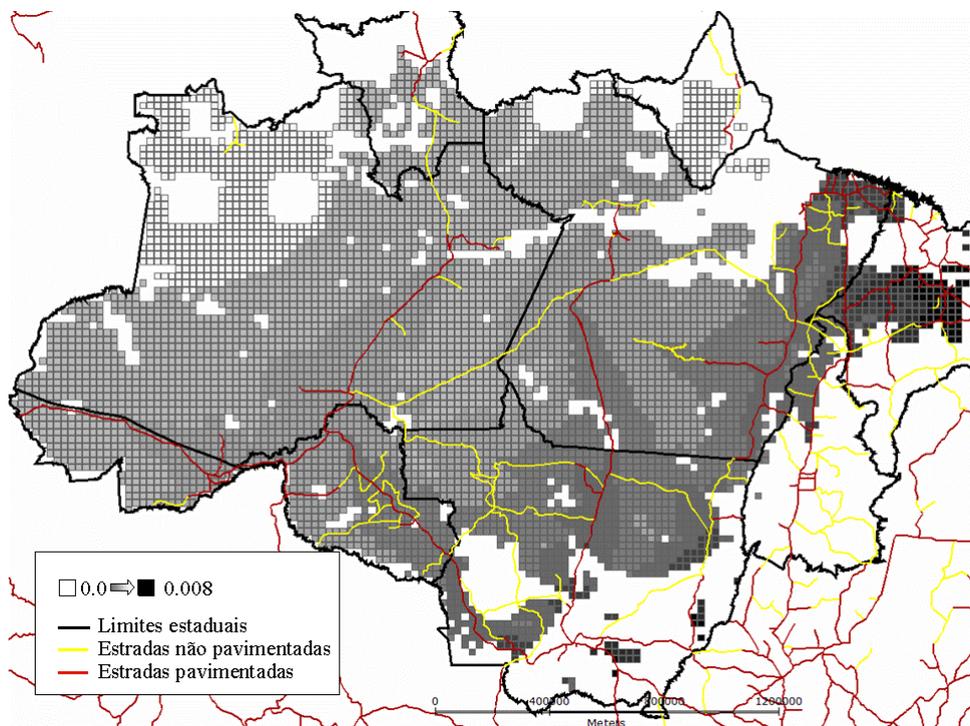


FIGURA 5.5 – Conexão a mercados nacionais (São Paulo e Nordeste) em 2010.

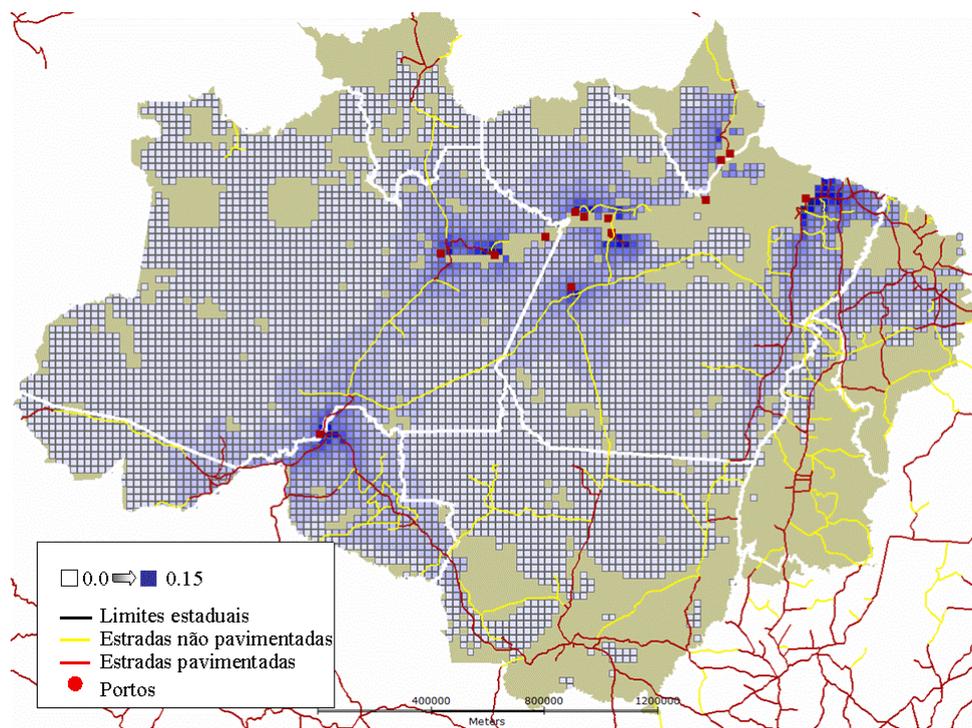


FIGURA 5.6 – Conexão a portos na Amazônia em 1997.

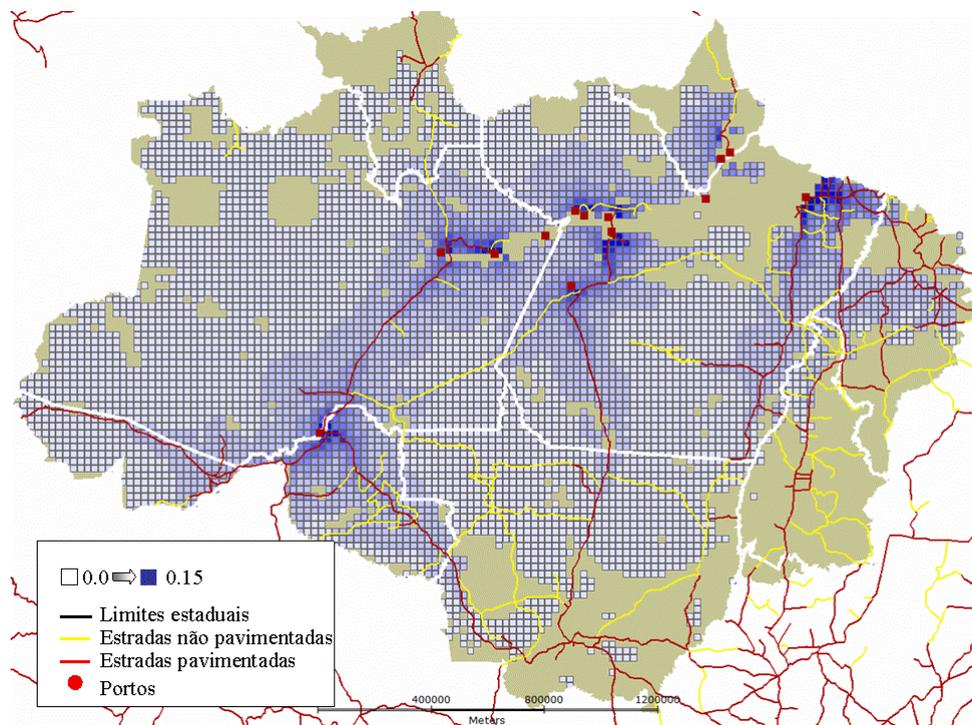


FIGURA 5.7 – Conexão a portos na Amazônia em 2010.

5.2.6.4 Cenários de cumprimento da lei

Três cenários alternativos são considerados, resumidos na Tabela 5.5:

- *Sem cumprimento das leis.* A reserva legal em propriedades privadas continua a ser largamente desrespeitada. Somente após 80% da área de floresta em cada célula ter sido removida o ritmo de desflorestamento diminui. Este é o cenário considerado na maioria das explorações: A, B, C e E.
- *Respeito às Reservas Legais.* Um aumento geral na manutenção das reservas legais previstas pelo Código Florestal em áreas privadas é assumido neste cenário. A premissa é que após 50% da floresta original ter sido removida em cada célula, o ritmo de desflorestamento diminui, devido a um aumento generalizado do grau de cumprimento da lei. Este cenário é analisado na exploração D.
- *Comando e controle local:* Em certas áreas de alta pressão, ocorrem ações de comando e controle. Nestas áreas controladas, duas premissas são adotadas: (a) as reservas legais em áreas privadas são mais respeitadas; (b) práticas de apropriação ilegal de terra são inibidas, diminuindo o processo de desflorestamento. Este cenário pode também ser visto como a presença do Estado, ou o nível de governança, não uniformemente distribuído na região. Fora das áreas controladas, parâmetros de alocação representam o baixo nível atual de cumprimento da lei na Amazônia, como sumariza a Tabela 5.5. Este cenário é analisado na exploração D.

TABELA 5.5 – Parâmetros de cenário de cumprimento da lei.

	Limite de cobertura de floresta (forest_threshold)	Mudança máxima permitida (change_max_lim)
Sem cumprimento da lei	20%	50%
Respeito às Reservas Legais	50%	50%
Comando e controle locais:		
Áreas Controladas	50%	20%
Áreas fora das áreas controladas	20%	50%

5.3 Resultados e discussão

Esta seção compara os resultados das cinco explorações utilizando mapas de *hot-spots* de mudança na cobertura florestal de 1997 até 2020, resultantes da aplicação do CLUE. Além da comparação visual dos *hot-spots*, algumas amostras foram selecionadas para verificar quantitativamente as diferenças intrarregionais nos resultados. A Figura 5.8 ilustra estas amostras. Esta verificação quantitativa analisa separadamente os resultados dentro e fora de áreas protegidas. Fora das áreas protegidas, treze amostras são utilizadas, distribuídas nas novas fronteiras e áreas mais consolidadas, como mostra a Tabela 5.6. A Tabela 5.7 descreve as amostras dentro das áreas protegidas. As duas áreas protegidas na Amazônia Central são criadas em 2004 no cenário de alocação pavimentação e proteção.

Fora das Áreas Protegidas

Amostra	
1	São Felix/Iriri
2	BR 163 - South
3	BR 163 - Norte
4	BR 163/BR 230
5	BR 230 - Ruropólis/Trairão
6	BR 230 - Apuí
7	BR 319 - Humaitá
8	BR 319 - Manicoré
9	BR 319 - Manaus
10	Marabá
11	Cumarú/São Felix
12	Terra Nova do Norte
13	Aripuanã

Dentro das Áreas Protegidas

Amostra	
1	Terra do Meio
2	Sul do Amazonas
3	TI Xingu
4	Oeste do Mato Grosso

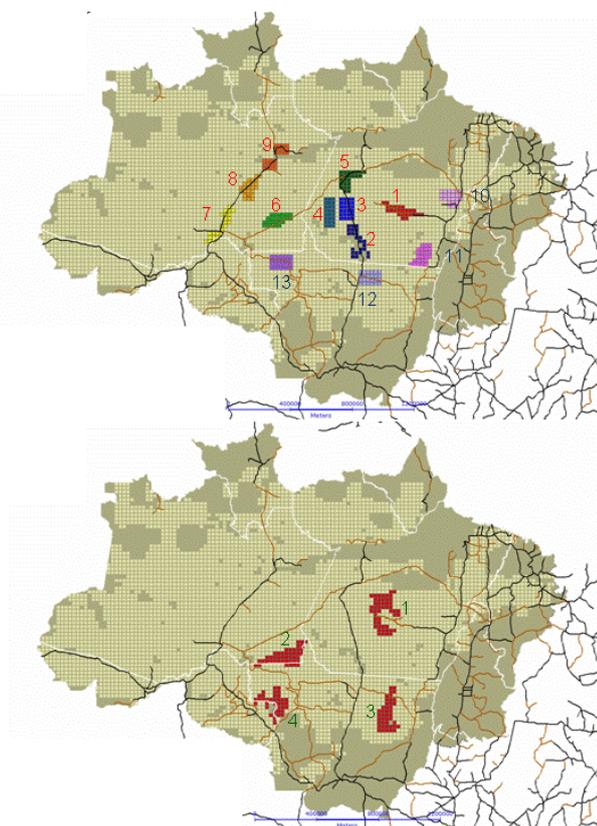


FIGURA 5.8 – Amostras para verificação quantitativa de diferenças intrarregionais.

TABELA 5.6 – Descrição das amostras para verificação quantitativa de diferenças intrarregionais fora de áreas protegidas.

Número da Amostra	Denominação neste documento	Descrição/Localização	Macro-região	Estado
1	São Felix/Iriri	Nova fronteira - São Felix/Iriri	Central	Pará
2	BR 163 - Sul	Nova fronteira – Cuiaba-Santarém (Sul de Novo Progresso)	Central	Pará
3	BR 163 - Norte	Nova fronteira - Cuiaba-Santarém (Norte de Novo Progresso)	Central	Pará
4	BR 163/BR 230	Nova fronteira - Cuiaba-Santarém	Central	Pará
5	BR 230 - Ruropólis/Trairão	Área de ocupação tradicional	Central	Pará
6	BR 230 - Apuí	Nova fronteira – Sul do Amazonas	Central	Amazonas
7	BR 319 - Humaitá	Nova fronteira – Sul do Amazonas	Central	Amazonas
8	BR 319 - Manicoré	Nova fronteira – Sul do Amazonas	Central	Amazonas
9	BR 319 - Manaus	Área de ocupação tradicional	Central	Amazonas
10	Marabá	Área de ocupação tradicional	Arco	Pará
11	Cumaru/São Felix	Área não ocupada no Sul do Pará	Arco	Pará Mato
12	Terra Nova do Norte	Área de ocupação tradicional Área não ocupada no Norte do Mato	Arco	Grosso Mato
13	Aripuanã	Grosso	Arco	Grosso

TABELA 5.7 – Amostras para verificação quantitativa de diferenças intra-regionais dentro de áreas protegidas.

Número da Amostra	Denominação neste documento	Macro-região	Estado
1	Terra do Meio	Central	Pará
2	Sul do Amazonas	Central	Amazonas
3	Xingu	Arco	Mato Grosso
4	Oeste do Mato Grosso	Arco	Mato Grosso

Amostras fora de áreas protegidas possuem o mesmo tamanho (15.000 km², contendo 24 células de 25x25 km²). O indicador de comparação neste caso é a porcentagem total de mudanças alocadas em cada amostra (mudanças no desflorestamento de 1997 até 2020 na amostra, dividido pela mudança em toda a Amazônia). O valor mínimo do

indicador é 0% e o valor máximo 2,5% (no cenário de demanda básico, este valor máximo corresponde a um desflorestamento de 12.500 km dentro da amostra no período, isto é, 83% de mudança). Embora os valores absolutos e a amplitude de variação nos indicadores sejam pequenos, as diferenças relativas entre as amostras são claras. *O objetivo da comparação é obter uma indicação clara de quais áreas ganham preferências sobre outras no procedimento de alocação em cada exploração.* Para as amostras de teste dentro de áreas protegidas, como seus tamanhos variam, a porcentagem da área total desflorestada em 2020 é utilizada como um indicador de comparação.

5.3.1 Exploração A – Análise de fatores alternativos: acessibilidade

Esta exploração compara os efeitos da utilização de modelos de regressão alternativos para verificar a importância relativa de diferentes fatores de acessibilidade. Nós empregamos o modelo *amazon_roads100* na resolução grosseira, e comparamos os padrões espaciais derivados do uso de modelos diferentes na escala fina. O foco é especialmente na Amazônia Central, onde as novas fronteiras estão localizadas (Seção 2.3). Esta exploração compara o uso dos modelos de regressão *amazon25*, *arch25* e *central25*. A Tabela 5.8 compara os três coeficientes de regressão mais significantes em cada modelo. Em termos de *fatores de acessibilidade*, os modelos diferem da seguinte forma:

- No modelo *amazon25*, das variáveis de acessibilidade, apenas *distância a rodovias* é uma das três variáveis mais significantes. Conexão a portos e distância a rios também são significantes no modelo. Conexão a mercados não foi incluído neste modelo devido à alta correlação com distância a rodovias (veja Tabela 5.2).
- No modelo *arch25*, *conexão a mercados* e *distância a rodovias* são ambas incluídas entre as variáveis mais importantes, mas conexão a mercados apresenta maior importância que distância a rodovias.

- No modelo *central25*, *conexão a portos* e *distância a rios* são mais importantes que a conexão a mercados. Distância a rodovias é a variável mais importante de todas.

Esta exploração combina os seguintes cenários: *demanda básica*, *alocação sem mudanças*, e *não cumprimento da lei*.

TABELA 5.8 – Três fatores determinantes mais importantes de desflorestamento em relação aos betas normalizados. As variáveis são listadas em ordem de importância. O sinal positivo ou negativo indica uma relação linearmente ou inversamente proporcional, respectivamente, no aumento do desflorestamento.

Modelos na escala grosseira			
<i>amazon_roads100</i>		<i>amazon_urban100</i>	
Distância a estradas	-	Distância a centros urbanos	-
Clima úmido	-	Número de famílias assentadas	+
Solos férteis	+	Clima úmido	-
Modelos na escala fina			
<i>amazon25</i>	<i>arch25</i>	<i>central25</i>	<i>occidental25</i>
Distância a estradas: pavimentadas - não pavimentadas -	Áreas protegidas	-	Distância a estradas - Distância a centros urbanos -
Áreas protegidas	-	Conexão a mercados	+
Clima úmido	-	Conexão a portos	+
	Distância a estradas: pavimentadas - não pavimentadas -	Distância a rios	-
		Distância a rios	-

As Figuras 5.9 até 5.11 mostram padrões alternativos de mudanças da cobertura florestal de 1997 até 2020 (*hot-spots* de mudanças) resultantes de três aplicações distintas do modelo CLUE. A Figura 5.9 mostra os *hot-spots* resultantes da utilização do *amazon25* em todas as partições espaciais. A Figura 5.9.b mostra os resultados de modelos diferentes para cada partição espacial (*arch25*, *central25* e *occidental25*). A Figura 5.9.c mostra o resultado do uso do modelo *arch25* em todas as partições. A Figura 5.13 apresenta uma comparação quantitativa para algumas das amostras de teste.

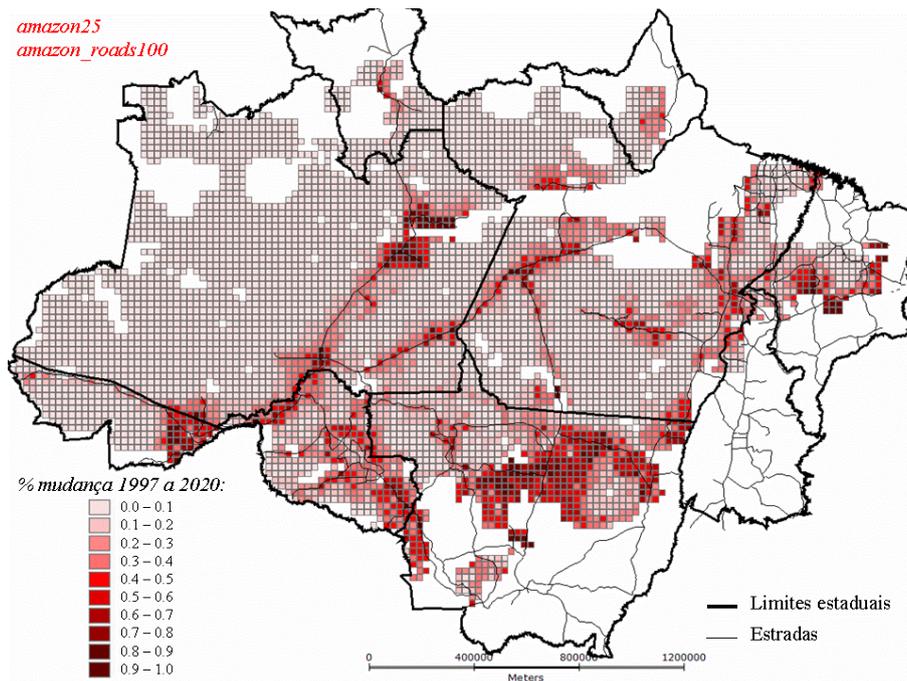


FIGURA 5.9 – Exploração A: Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos *amazon25* e *amazon_roads100*, e cenários: Alocação sem mudança, Não cumprimento das leis, e Demanda Constante.

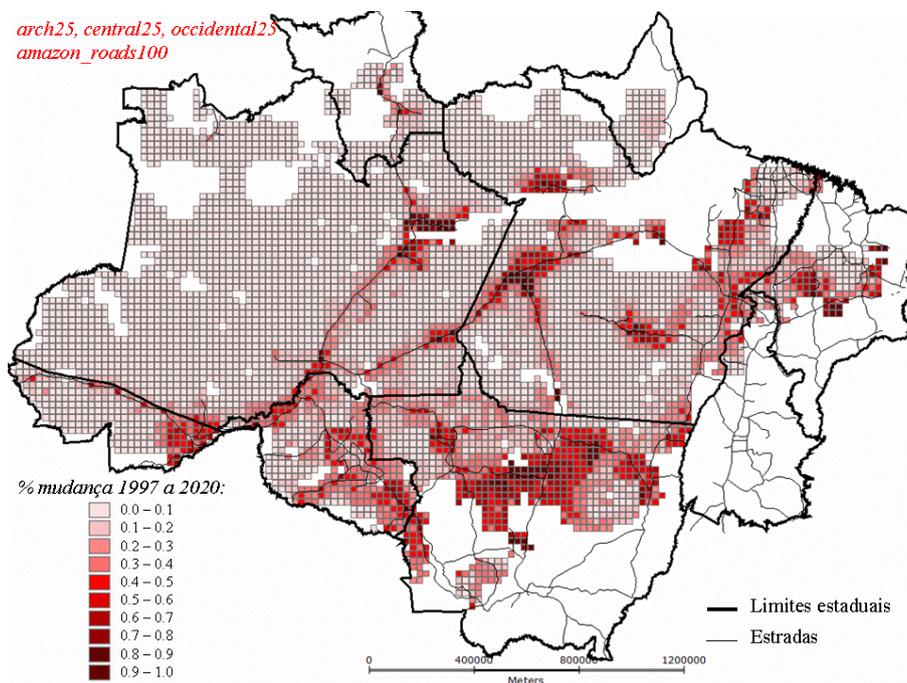


FIGURA 5.10 – Exploração A: Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos *arch25*, *central25*, *occidental25* e *amazon_roads100*, e cenários: Alocação sem mudança, Não cumprimento das leis, e Demanda Constante.

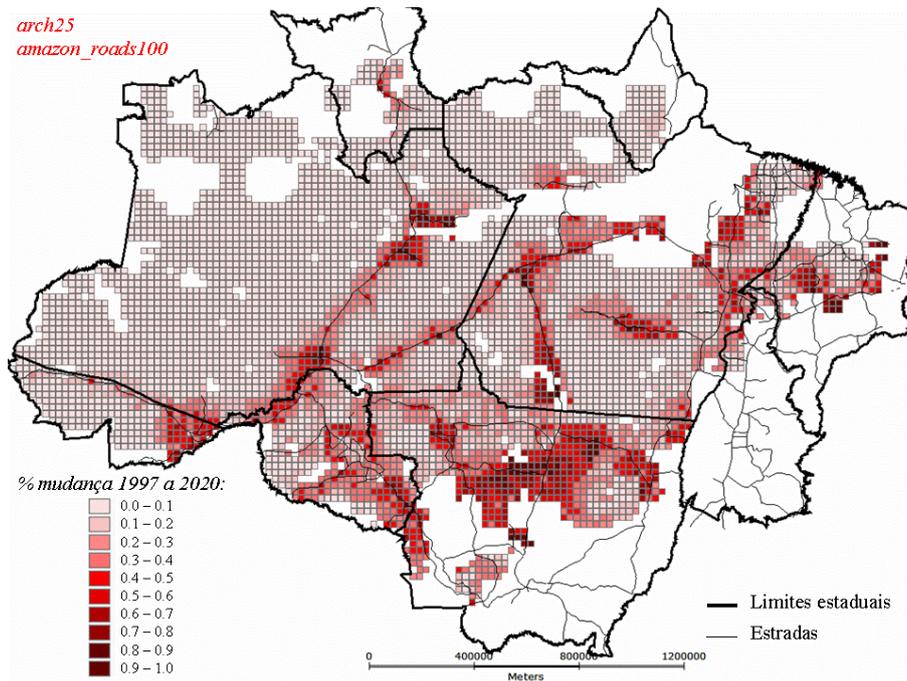


FIGURA 5.11 – *Explorações A e B*: Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos *arch25* e *amazon_roads100*, e cenários: Alocação sem mudança, Não cumprimento das leis, e Demanda Constante.

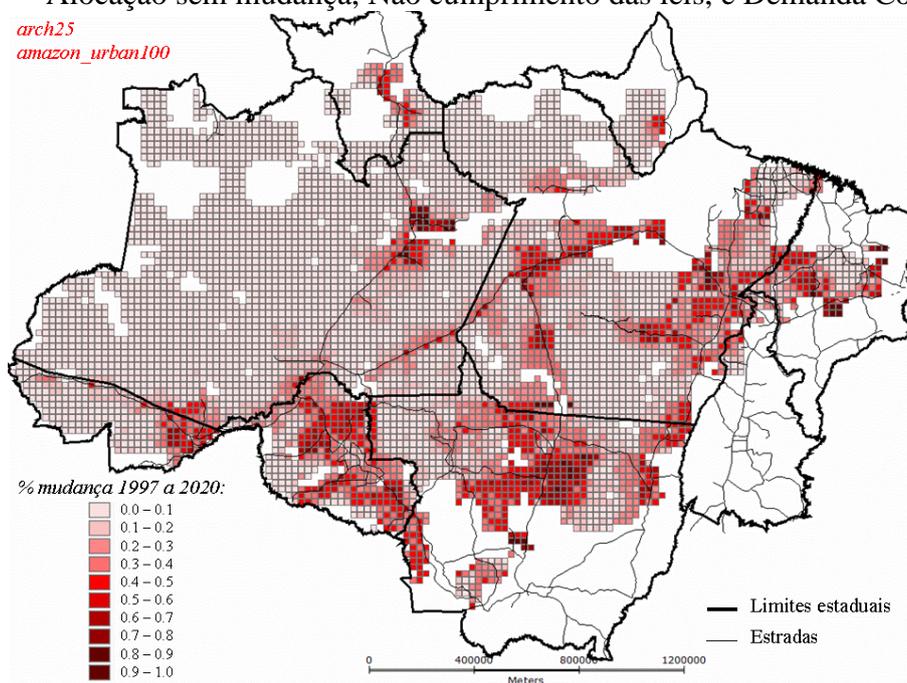


FIGURA 5.12 – *Exploração B*: Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos *arch25* e *amazon_urban100*, e cenários: Alocação sem mudança, Não cumprimento das leis, e Demanda Constante.

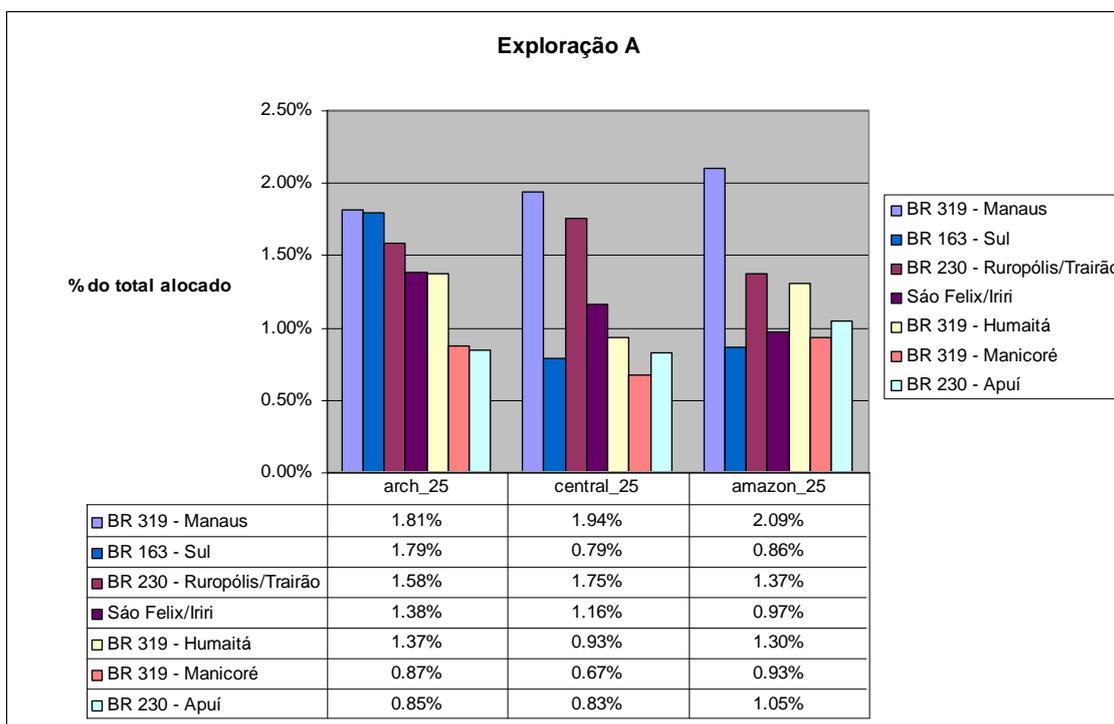


FIGURA 5.13 – Exploração A: comparação quantitativa entre amostras de teste selecionadas.

Quando o modelo *amazon25* é utilizado (Figura 5.9), padrões resultantes na Amazônia Central tendem a se concentrar ao redor do rio Amazonas e portos, e se distribuir de forma desigual ao longo de rodovias, com o domínio da rodovia Porto Velho-Manaus (BR 319). Quando o modelo *central25* é usado na área Central (Figura 5.10), padrões resultantes tendem a se concentrar ainda mais ao redor do rio Amazonas e próximo aos portos, devido à importância das variáveis conexão a portos e distância a rios neste modelo. Estes dois modelos não capturam apropriadamente a dinâmica das novas fronteiras da Amazônia. Áreas ativas atualmente, tais como a Cuiabá-Santarém, mostram um padrão menos marcado que o PortoVelho-Manaus, por exemplo, onde somente agora processo está começando. A pressão existente em São Felix/Iriri também não foi capturada em ambos os modelos.

Por outro lado, o modelo *arch25* em todas as regiões (Figura 5.12) captura o diferente estágio temporal da ocupação entre as novas fronteiras, com um processo mais forte tanto na Cuiabá-Santarém, quanto em São-Felix/Iriri (veja comparação na Figura 5.13). Padrões resultantes refletem a importância da conectividade a mercados nacionais (São

Paulo e Nordeste) para explicar a alta pressão nestas áreas. Esta heterogeneidade (em tempo e espaço) não foi capturada utilizando apenas medidas de distância a rodovias, como nos modelos *amazon25* e *central25*.

Com base nestes resultados, o modelo *arch25* é adotado como o modelo na resolução fina para as outras explorações apresentadas nas próximas seções. Isto não significa que estamos adotando a premissa de que o processo que ocorreu no Arco será repetido nas outras áreas. Ao contrário, a premissa é de que o modelo *arch25* captura melhor os eixos de desenvolvimento atuais e possíveis apresentados na Seção 2.4, especialmente devido à inclusão da variável de conexão a mercados (ver discussão sobre este aspecto na Seção 6.3.2). O modelo *arch25* apresenta outra vantagem para a construção de cenários: áreas protegidas possuem uma importância maior neste modelo em comparação com os outros, aumentando sua efetividade como inibidor do processo de desflorestamento. O modelo *arch25* também inclui outras variáveis importantes tais como a distância a regiões de produção de madeira e porcentagem de solos férteis.

No modelo *arch25*, variáveis climáticas não foram utilizadas. Isto pode também explicar a diferença entre os resultados do *amazon25*, *central 25*, e *arch25* na Amazônia Central. Os modelos *amazon25* e *central25* incluem as condições climáticas como inibidoras importantes de ocupação¹², o que pode reforçar os padrões concentrados ao redor do rio Amazonas em ambos os modelos (veja variáveis de condições climáticas nas Figuras 3.24 e 3.25). Conexão a mercados e condições climáticas são altamente correlacionadas no Arco e em toda a Amazônia, e não poderiam ser colocados no mesmo modelo de regressão. O Capítulo 4 discute a importância destas variáveis no processo de ocupação da Amazônia, e conclui que a natureza difusa de desflorestamento, distância a rodovias e centros urbanos, clima e conexão a mercados, e a *interação entre eles*, contribuíram significativamente para o padrão de desflorestamento em 1996/1997. Nas explorações que seguem, conexão a mercados é

¹² Contrariando estes resultados, os pecuaristas de São Felix do Xingu consideram que o clima mais úmido daquela região, se comparado com outras localidades no próprio Pará (como Redenção), como uma vantagem competitiva, pois os pastos estão “sempre verdes”, segundo eles. Estas condições de umidade podem, no entanto, ocasionar maior incidência de doenças, e prejudicar a atividade no médio prazo (Escada et al, 2005a).

utilizada na resolução fina (modelo *arch25*). A influência das condições climáticas é mantida na escala macro, através de ambos os modelos de resolução grosseira (*amazon_roads100* e *amazon_urban100*), como mostra a Tabela 5.8. Desta forma, nós utilizamos a abordagem multi-escala do modelo CLUE para incorporar a influência complementar de variáveis importantes e correlacionadas. Esta abordagem multiescala também é explorada em relação a outro par de variáveis altamente correlacionadas: distância a rodovias e distância a centros urbanos, como discutidos na próxima seção.

5.3.2 Exploração B – Análise de fatores alternativos: mercados locais

Esta exploração analisa os efeitos de incluir a variável distância a centros urbanos no modelo de resolução grosseira. Distância a centros urbanos é uma variável *proxy* de acessibilidade a mercados locais. A idéia da exploração B é analisar como os mercados locais contribuem para as novas fronteiras, e verificar as diferenças na influência das variáveis distância a rodovias e distância a centros urbanos na escala macro.

A exploração B utiliza o modelo *arch25* na resolução fina, e compara a utilização do modelo de distância a rodovias (*amazon_roads100*) com o modelo de distância a centros urbanos (*amazon_urban100*), na resolução grosseira. A Tabela 5.8 compara os três coeficientes de regressão mais significantes em cada modelo. Esta exploração utiliza o cenário de *demanda básica*, o cenário de *alocação sem mudança*, e o cenário *sem cumprimento da lei*. O resultado do modelo *amazon_roads100* é mostrado na Figura 5.11, e o do modelo *amazon_urban100* na Figura 5.12. A Figura 5.14 apresenta uma comparação quantitativa para algumas das amostras de teste.

No modelo *amazon_urban100*, que inclui a distância a centros urbanos na resolução grosseira, a distância a rodovias perde importância no padrão geral, e importância da conexão ao restante do país é reforçada. A incorporação da distância a centros urbanos reforça a heterogeneidade dos padrões projetados. O modelo resultante concentra o desflorestamento na área da Cuiabá-Santarém, especialmente na parte central da rodovia, e cria uma conexão com a parte leste da rodovia Transamazônica, como mostrado na Figura 5.12. A área próxima à rodovia Porto Velho–Manaus é mantida quase que intacta, exceto em seus extremos. As áreas de Apuí e Nova Aripuanã, no leste

da Transamazônica, são identificadas como *hot-spots* de ocupação em ambas as explorações.

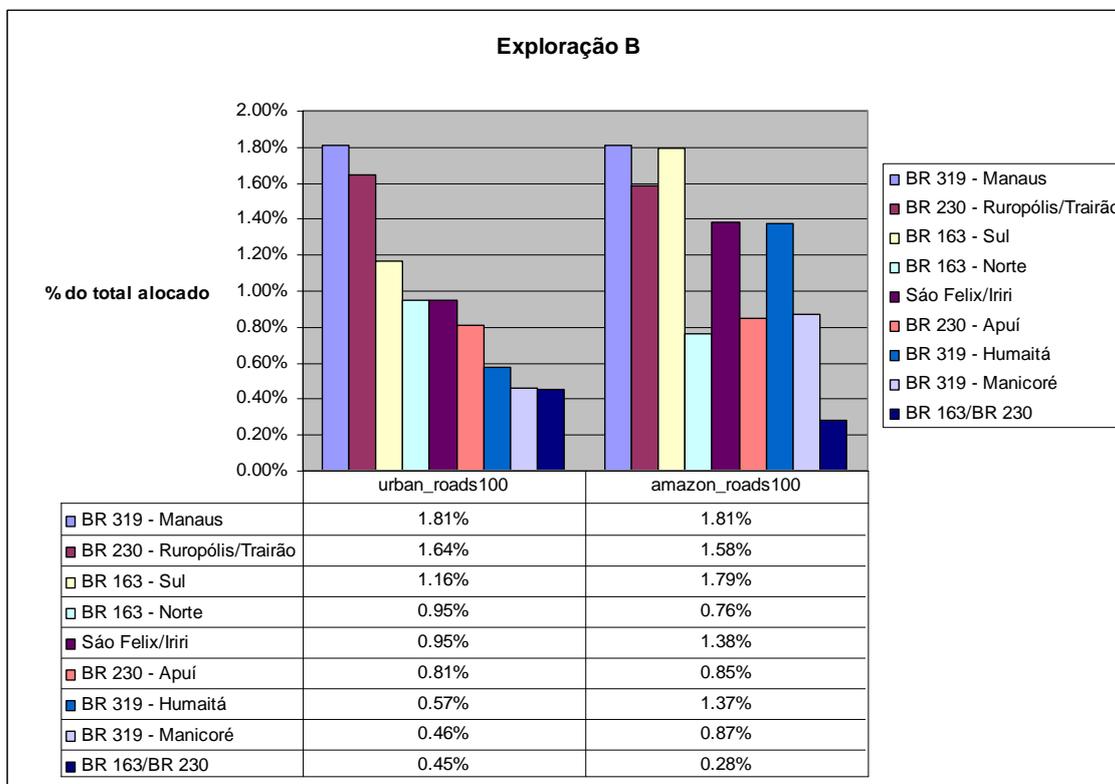


FIGURA 5.14 - Exploração B: comparação quantitativa entre amostras de teste selecionadas.

As diferenças entre os modelos resultantes ilustrados nas Figuras 5.11 e 5.12 são resultantes da interação entre as duas escalas no módulo de alocação CLUE (Seção 5.2.1). Quando o modelo *amazon_roads100* é utilizado na escala grosseira, e *arch25* na escala fina, a distância a rodovias é muito enfatizada em ambas escalas, e lidera o processo de alocação. Porém, quando o *amazon_urban100* é utilizado, outros fatores são indiretamente favorecidos na escala fina, pois a influência da escala grosseira favorece outras células. Outro aspecto interessante que pode ser observado na Figura 5.12 é que a variável distância a centros urbanos tem uma influência nos padrões resultantes, mas não os determina. Por exemplo, os centros urbanos (veja Figura 3.8) no sul do Amazonas (por exemplo, Humaitá), ou ao longo da parte oeste da Transamazônica (por exemplo, Apuí), não influenciam os padrões resultantes tanto quanto um único centro urbano na Cuiabá-Santarém (Novo Progresso). Isso se deve às

interações com outros fatores (especialmente conexão a mercados), interações que são reforçadas quando a influência da variável distância a estradas diminui na escala grosseira.

Vale notar que a exploração B não incorpora a hipótese de pavimentação de qualquer rodovia na área Central. Mesmo assim, as áreas da Cuiabá-Santarém, Apuí, e São Felix mostram uma forte pressão de ocupação, qualquer que seja o modelo de regressão adotado. As margens do Amazonas, próximo a Santarém e Manaus, também exibem um forte desflorestamento em todos os modelos.

5.3.3 Exploração C – Análise política: pavimentada e áreas protegidas

Esta exploração considera o impacto de políticas públicas nos *hot-spots* de desflorestamento. Esta análise complementa as explorações A e B, pela verificação da importância relativa de fatores diferentes quando estradas são pavimentadas e áreas protegidas são criadas. A exploração C utiliza o mesmo modelo de regressão da exploração B: o modelo *arch25* na resolução fina, e compara o uso dos modelos *amazon_roads100* e *amazon_urban100* na resolução grosseira. Esta exploração utiliza os mesmos cenários de *demanda básica* e *sem cumprimento da lei* da exploração anterior, combinados com o cenário de *alocação pavimentação e proteção*.

A Figura 5.15 ilustra os resultados para o modelo *amazon_roads100* e a Figura 5.16 ilustra os resultados para o modelo *amazon_urban100*. Os resultados devem ser comparados com as Figuras 5.11 e 5.12 respectivamente, onde o cenário de alocação *sem mudança* é empregado. A Figura 5.17 apresenta uma comparação quantitativa para algumas amostras de teste fora das áreas protegidas.

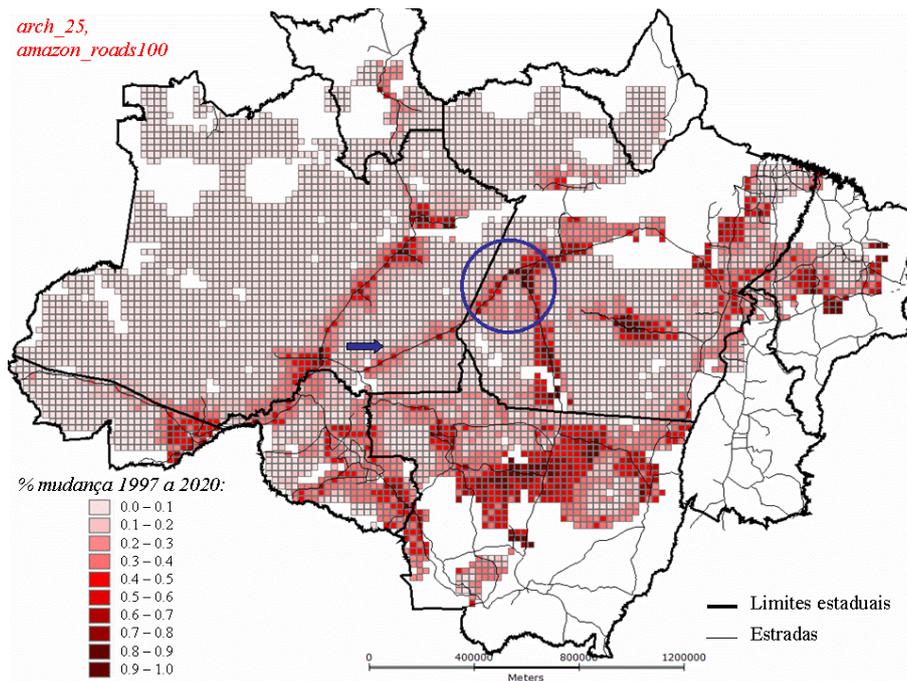


FIGURA 5.15 - Exploração C – Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos *arch25* e *amazon_roads100*, e cenários: *Pavimentação e Proteção*, *Não cumprimento das leis*, e *Demanda Constante*.

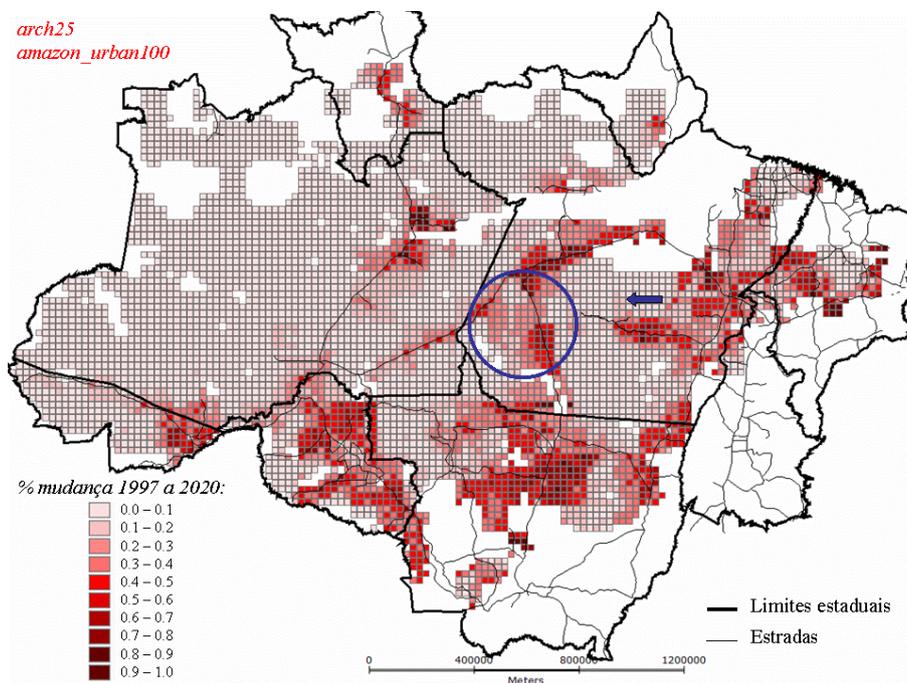


FIGURA 5.16 - Exploração C – Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos *arch25* e *amazon_urban100*, e cenários: *Pavimentação e Proteção*, *Não cumprimento das leis*, e *Demanda Constante*.

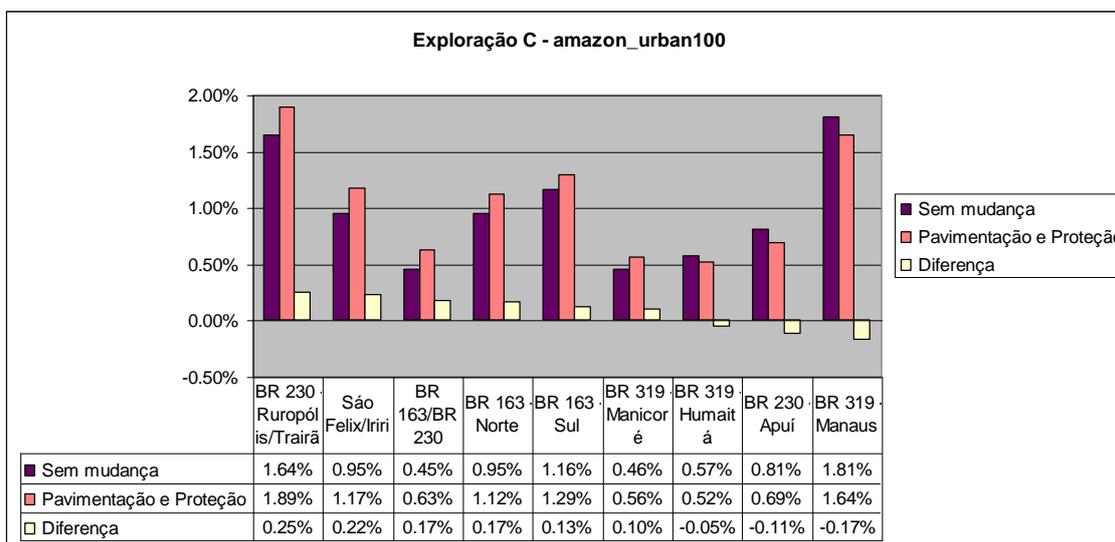
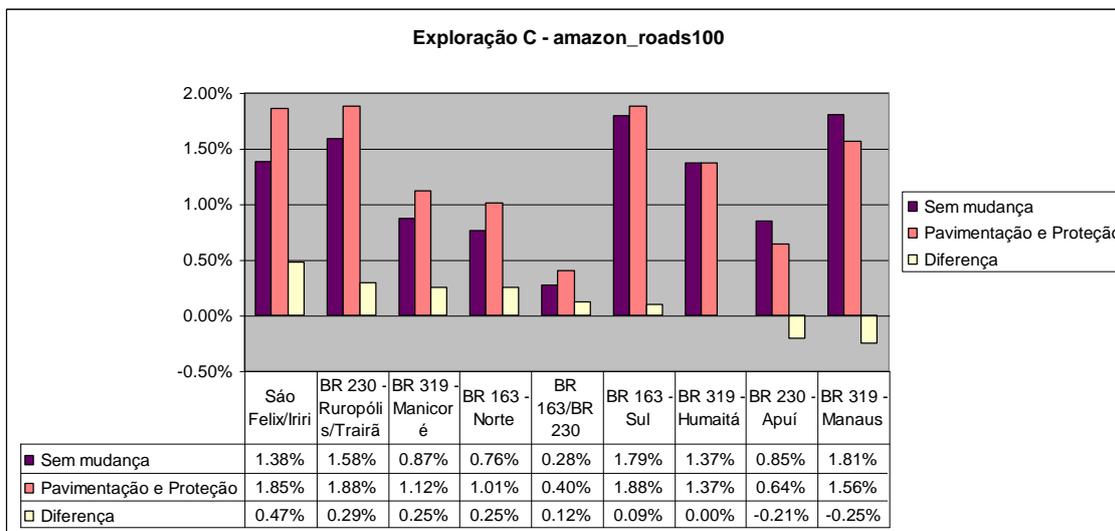


FIGURA 5.17 - Exploração C: comparação quantitativa entre as amostras de teste selecionadas (fora das áreas protegidas)

Como ilustra a Figura 5.17, os resultados mostram impactos heterogêneos destas políticas em áreas diferentes. Em ambos os modelos, rodovias pavimentadas têm um impacto maior na rodovia Cuiabá-Santarém em comparação à rodovia Porto Velho-Manaus. O impacto na BR 364, no Acre, também é pequeno. Isso pode ser explicado pela distribuição da demanda entre as três macrorregiões, que assume uma pressão menor na região Ocidental, mas também pela menor influência da variável de conexão a mercados nacionais nesta região, como discutido abaixo para o caso da Porto Velho-Manaus.

Na rodovia Porto Velho-Manaus, quando o modelo *amazon_road100* é utilizado, a pavimentação da rodovia apresenta um impacto maior que no modelo *amazon_urban100*. Este último modelo tende a concentrar o desflorestamento nos extremos da rodovia Porto Velho-Manaus. Esta diferença é explicada pelo aumento da importância da conexão a cidades e portos no modelo *amazon_urban100*. Porém, como discutido na Seção anterior, quando modelos diferentes são combinados em escalas diferentes, distância a rodovias perde importância no padrão geral, e importância da conexão ao restante do país é reforçada. Considerando a história da ocupação da região, e o fato que a rodovia Porto Velho-Manaus atravessar regiões remotas, sem nenhuma cidade de tamanho significativo, os resultados do modelo *amazon_urban100* parecem mais apropriados que o modelo *amazon_roads100* para a exploração C.

Porém, o modelo *arch25* utilizado na resolução fina não enfatiza tanto a influência da variável de conexão a portos nesta região. As Figuras 5.4 a 5.7 mostram a evolução temporal da variável de conexão a portos quando as rodovias são pavimentadas. Os efeitos de pavimentação na variável de conexão a portos são mais fortes na área Porto Velho-Manaus e na Cuiabá-Santarém. Como será discutido no Capítulo 6, sub-regiões diferentes podem ser influenciadas por diferentes relações de conectividade, e estas relações podem evoluir de maneira heterogênea. Sugere-se que em trabalhos futuros um modelo modificado seja utilizado dando maior importância à variável conexão com portos que o modelo *arch25* atual (que reforça principalmente a conexão a mercados nacionais), possivelmente resultando numa maior pressão de desflorestamento na Porto Velho-Manaus. Nesse caso, estaríamos explorando a hipótese de que a dinâmica desta região poderá diferir daquelas de outras novas fronteiras, dada sua relações de conectividade e condições biofísicas específicas (veja as Figuras 3.22, 3.23, 3.24, e 3.25). Em termos de modelagem, os resultados da Exploração C indicam que projeções uniformes baseadas nos mesmos fatores em áreas com dinâmicas distintas podem ser enganosas, e, portanto, as premissas e fatores utilizados devem ser claramente colocados, especialmente para subsidiar políticas públicas.

Os resultados da exploração C ilustram a migração do desflorestamento de uma área para outra, se a demanda regional por terra é mantida constante (exógena ao modelo).

Comparada com a exploração B (onde rodovias não são pavimentadas), os resultados mostram que o desflorestamento aumenta nas células próximas às rodovias que são pavimentadas, e diminui em rodovias não pavimentadas. Isto também pode ser entendido analisando as Figuras 5.4 a 5.7, que mostram as diferenças nas condições de conectividade resultantes da pavimentação. *Algumas áreas se tornam mais atrativas do que outras*. Por exemplo, o desflorestamento diminui na região de Apuí, na parte leste da rodovia Transamazônica, que não é pavimentada na exploração C. O mesmo ocorre para Áreas Protegidas: onde novas áreas protegidas são criadas, o processo de ocupação diminui (veja também a Figura 5.29). Mas, como a demanda por terra é constante no modelo (relacionada às forças de mercado), a criação de áreas de proteção induz a migração do desflorestamento para outras áreas. Por exemplo, o desflorestamento na Terra do Meio diminui devido à criação de áreas de proteção, mas ela é compensada por um aumento em outras áreas, tal como o lado oeste da rodovia Cuiabá-Santarém.

Embora as interações espaciais observadas nos resultados do modelo sejam *consequências diretas de nossas premissas relacionadas à demanda* (demanda por terra é fixa, então ela será alocada em algum outro local pelo modelo), estas observações são úteis, pois claramente ilustram como tais interações podem ocorrer. Os resultados *ilustram* como os efeitos das políticas locais podem ser sentidos em outras áreas, não necessariamente de uma forma benéfica, de acordo com a percepção dos atores em relação a restrições e oportunidades criadas por políticas públicas. Elas também facilitam a visão de como o sistema produtivo que gera esta demanda pode influenciar o processo de ocupação. O sistema produtivo (por exemplo, a cadeia de mercado da soja ou da carne) age em várias escalas temporais e espaciais; a médio e curto prazo, ele pode se reorganizar, e contribuir para a ocupação de novas regiões para atender uma crescente demanda por produtos agrícolas. A intensificação seria outra reação possível às restrições impostas pelas políticas ao acesso à terra (no caso de uma diminuição geral na disponibilidade de terra e aplicação das leis), e isto não é tratado em nosso modelo atual. Os resultados da exploração C indicam que estas interações intrarregionais devem ser consideradas na elaboração de políticas públicas, e que a compreensão das cadeias de mercado é essencial para a elaboração de políticas efetivas para a Amazônia.

5.3.4 Exploração D – Análise política: cumprimento da lei

A exploração D consiste na análise de resultados de dois cenários relativos ao grau de cumprimento das leis apresentados na Tabela 5.5: os cenários de *Manutenção das reservas privadas* e o *Comando e controle local*. Nesta exploração, nós utilizamos os mesmos modelos da exploração A (o modelo *amazon_roads100* na resolução grosseira e o modelo *arch25* na resolução fina), os cenários de *demanda básica* e de *alocação sem mudanças*. A Figura 5.18 apresenta os resultados do cenário de cumprimento da lei *Manutenção das reservas privadas*. A Figura 5.20 ilustra as áreas controladas utilizadas no cenário *Comando e controle local*, sobre dos resultados da exploração A (*amazon_roads100*, *arch25*, cenário sem cumprimento da lei). A Figura 5.21 mostra o resultado do cenário *Comando e controles local*. As Figuras 5.19 e 5.22 apresentam uma verificação quantitativa da mudança nas amostras teste para estes dois cenários.

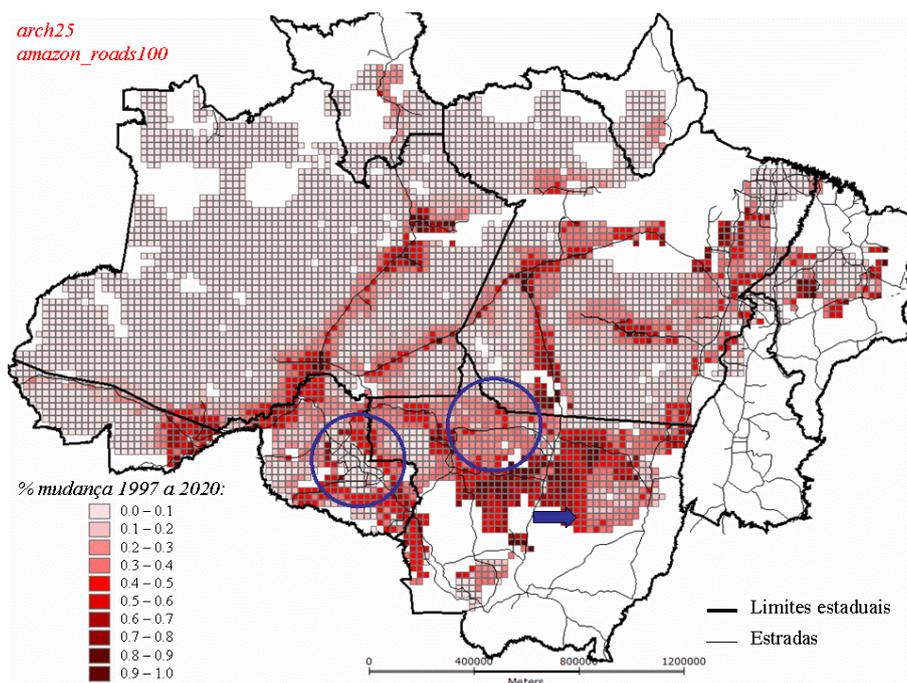


FIGURA 5.18 - Exploração D – Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos *arch25* e *amazon_roads100*, e cenários: *Alocação sem mudança*, *Respeito às Reservas Legais*, e *Demanda Constante*.

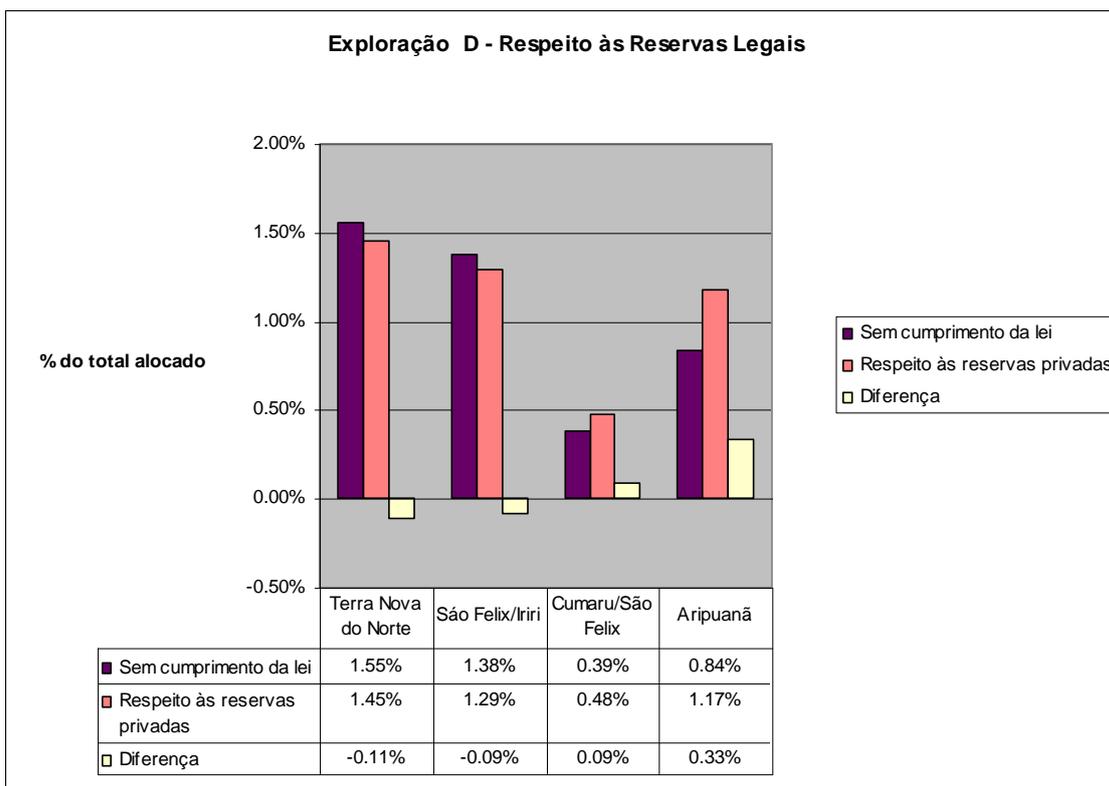


FIGURA 5.19 - Exploração D: comparação quantitativa entre as amostras de teste selecionadas no cenário Respeito às Reservas Legais.

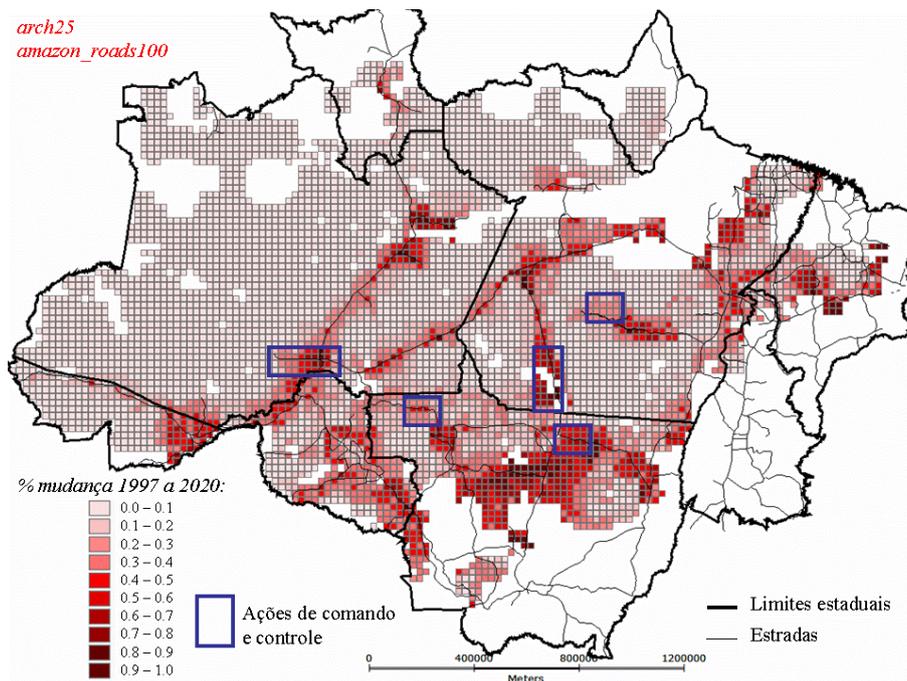


FIGURA 5.20 - Exploração D – Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos *arch25* e *amazon_roads100*, e cenários: Alocação sem mudança, *Sem cumprimento da lei*, e Demanda Constante (são mostrados os locais das ações de comando e controle para comparação).

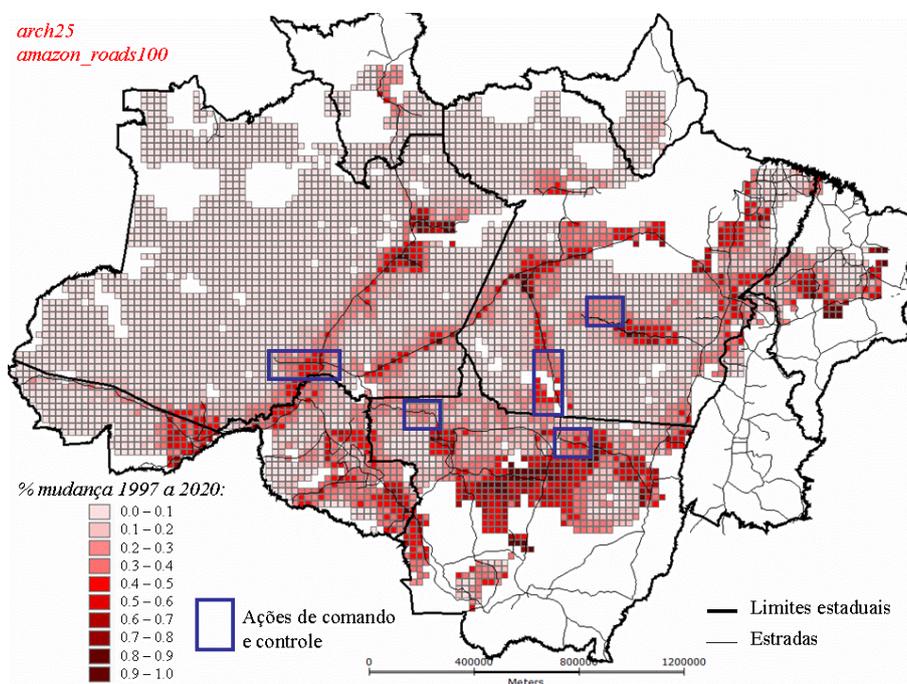


FIGURA 5.21 - Exploração D – Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos *arch25* e *amazon_roads100*, e cenários: Alocação sem mudança, *Comando e Controle Local*, e Demanda Constante.

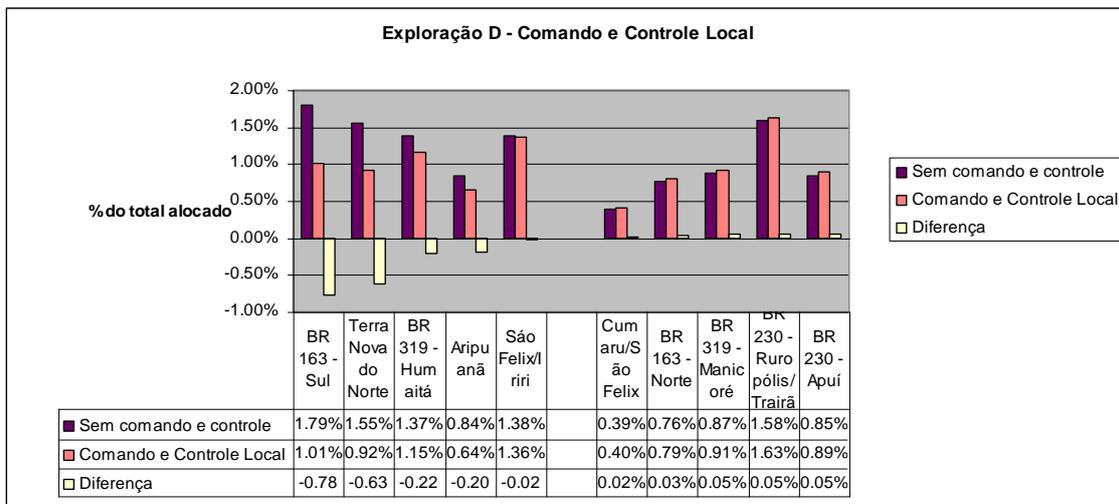


FIGURA 5.22 - Exploração D: comparação quantitativa entre as amostras de teste selecionadas no cenário de cumprimento da lei *Comando e Controle Local*.

A exploração D mostra os mesmos padrões de interação intrarregional apresentados anteriormente, quando a demanda é mantida constante, em ambos os cenários. A maior manutenção das reservas privadas diminui a quantidade de mudança em áreas previamente ocupadas, mas cria uma pressão geral em outras áreas (Figuras 5.18 e 5.19). Compare Rondônia e o norte do Mato Grosso, por exemplo, como marcado na Figura 5.18. Resultados das ações de comando e controle local mostram que ações localizadas são efetivas em áreas onde elas são aplicadas (Figuras 3.22 e 3.23), mas criam uma pressão em outros locais. Por exemplo, o desflorestamento aumenta na região norte da rodovia Cuiabá-Santarém, na qual as ações foram concentradas na sua parte sul. Estes resultados podem ser interpretados como um “nível de governança” hipotético heterogeneamente distribuído no espaço. Eles mostram que ações localizadas de comando e controle não são suficientes para reduzir o desflorestamento, se a demanda não for reduzida.

Esta exploração mostra resultados interessantes sobre o Arco. No cenário de *Manutenção das reservas privadas*, existe menos saturação (células 100% desflorestadas), por exemplo, em Rondônia, mas a ocupação se espalha sobre toda a região Arco. Neste cenário, uma pressão maior é também sentida dentro das áreas protegidas, especialmente aquelas em áreas com níveis de conectividade mais altos,

como a Terra Indígena do Xingu no Estado do Mato Grosso. A Figura 5.29 ilustra estes impactos heterogêneos quantitativamente.

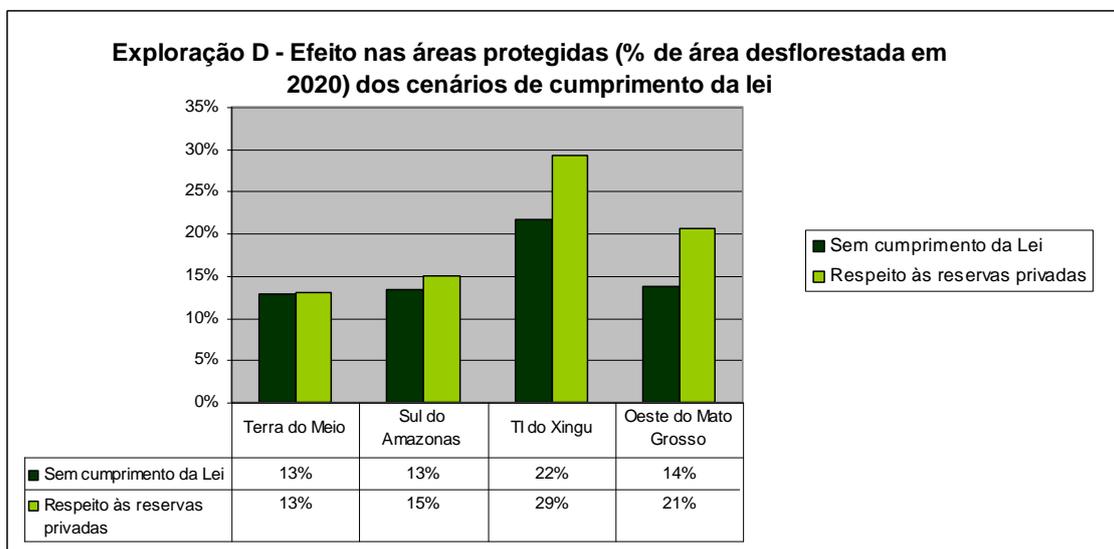


Figura 5.23 - Exploração D: comparação quantitativa entre amostras de teste selecionadas no cenário de cumprimento da lei *Reservas Privadas Parciais*.

Embora este seja um cenário muito improvável (cumprimento da lei nas reservas privadas, mas não nas áreas protegidas), os resultados devem ser analisados sob outra perspectiva, como um alerta: se a demanda por terra é externa, condicionada pelo mercado, e as reservas privadas forem respeitadas, a *pressão* de ocupação aumentará em outras áreas, incluindo nas áreas protegidas. Nós rodamos uma simulação alternativa, mantendo o mesmo nível de demanda para o Arco, mas aumentando o limite de floresta para 80%, como seria requerido pela legislação brasileira atual. O modelo falhou em alocar a demanda. Estes resultados indicam que o nível de ocupação no Arco estará alcançando o limite em 2020, e reforça que, para preservar o restante das áreas de floresta no Arco, em terras públicas e privadas, *medidas efetivas e generalizadas de comando e controle serão necessárias*. Na próxima Seção, este aspecto é discutido novamente, pois são apresentados resultados relativos a restrições de mercado sobre demanda de terra.

5.3.5 Exploração E: Cenários de demanda alternativa

A exploração E considera o impacto de aumento e diminuição da demanda, representando a expansão ou retração das forças de mercado que atuam na Amazônia. Ela utiliza o cenário de alocação de *pavimentação e proteção*. Esta análise complementa a exploração C, mostrando os resultados potenciais da pavimentação e criação de áreas protegidas em cenários de condições alternativas de mercado. Como na exploração C, ela utiliza o modelo *arch25* na resolução fina, e compara os resultados do modelo de rodovias (*amazon_roads100*) e o modelo de distância a centros urbanos (*amazon_urban100*) na resolução grosseira. Rodovias são pavimentadas de acordo com o planejamento mostrado na Tabela 5.4, de acordo com o cenário de alocação de *pavimentação e proteção*. O cenário sem cumprimento da lei é adotado.

Os resultados para *diminuição* da demanda são mostrados na Figura 5.24 (modelo *amazon_roads100*) e na Figura 5.25 (modelo *amazon_urban100*). Os resultados do *aumento* da demanda são mostrados na Figura 5.26 (modelo *amazon_roads100*) e na Figura 5.27 (o *amazon_urban100*). É útil compará-los com os resultados da exploração C.

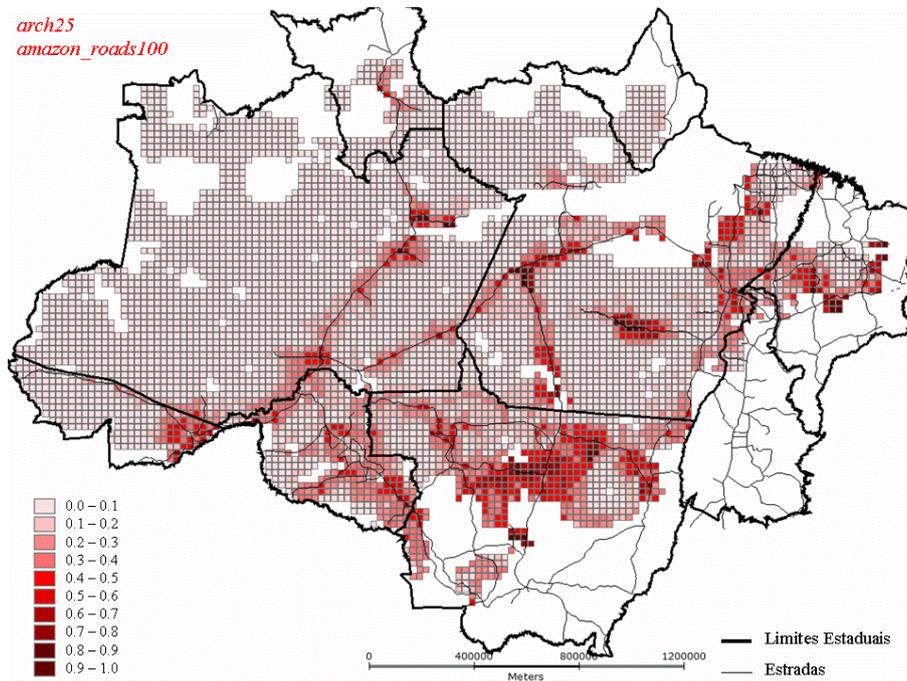


FIGURA 5.24 - *Exploração E* –Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos *arch25* e *amazon_roads100*, e cenários: Pavimentação e Proteção, Não cumprimento da lei, e *Demanda Decrescente*.

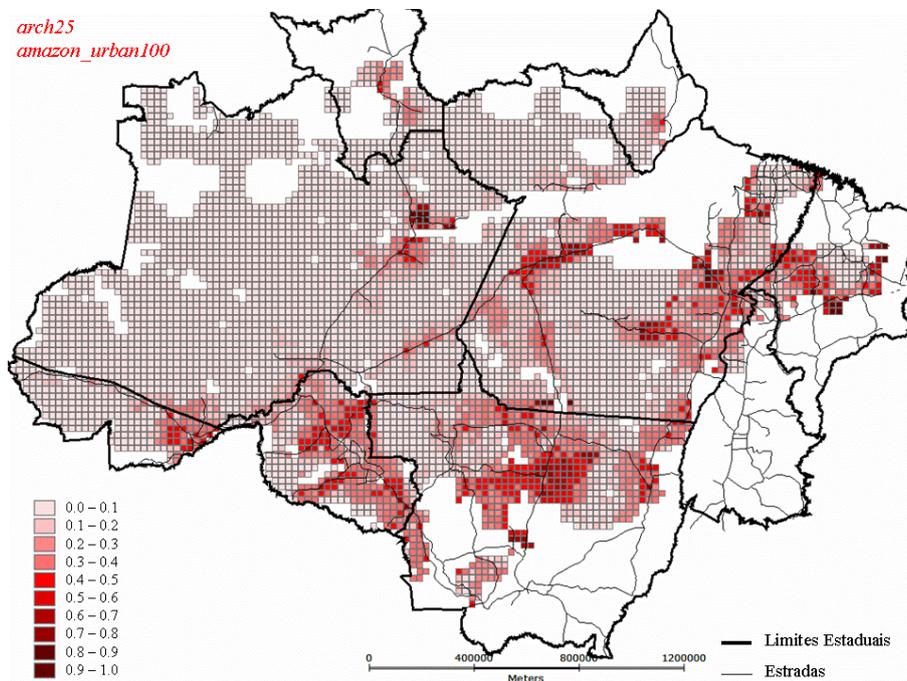


FIGURA 5.25 – *Exploração E* –Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos *arch25* e *amazon_urban100*, e cenários: Pavimentação e Proteção, Não cumprimento da lei, e *Demanda Decrescente*.

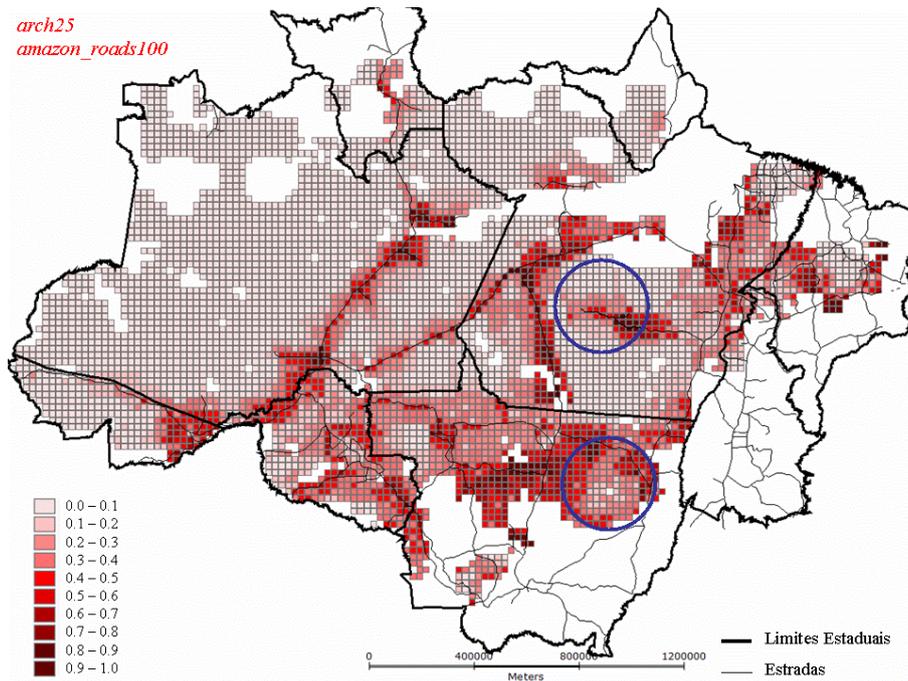


FIGURA 5.26 - *Exploração E* – Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos *arch25* e *amazon_roads100*, e cenários: Pavimentação e Proteção, Não cumprimento das leis, e *Demanda Crescente*.

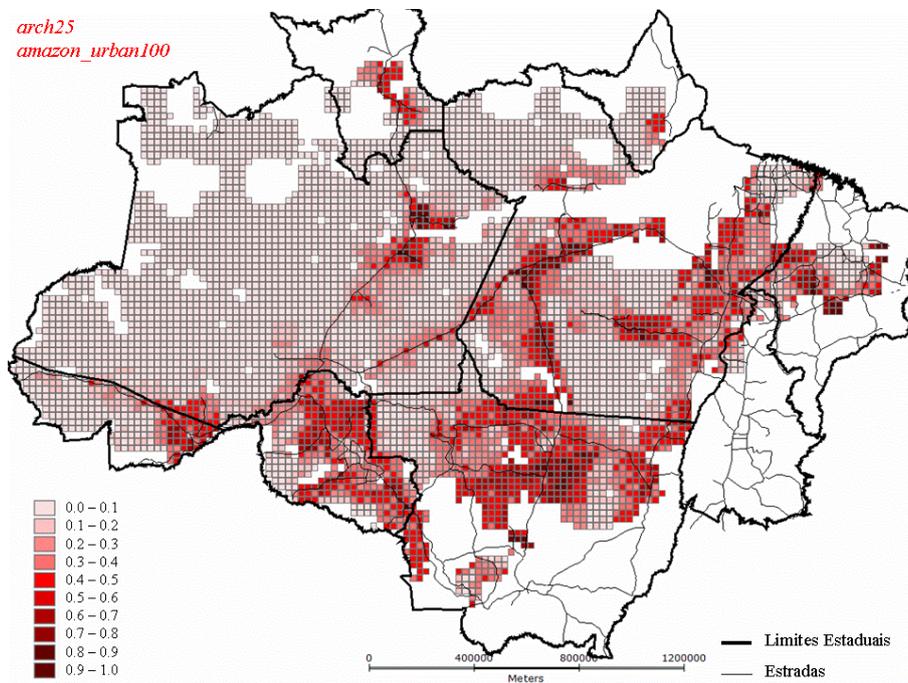


FIGURA 5.27 - *Exploração E* – Porcentagem de desflorestamento em cada célula de 1997 a 2020, com os modelos *arch25* e *amazon_urban100*, e cenários: Pavimentação e Proteção, Não cumprimento das leis, e *Demanda Crescente*..

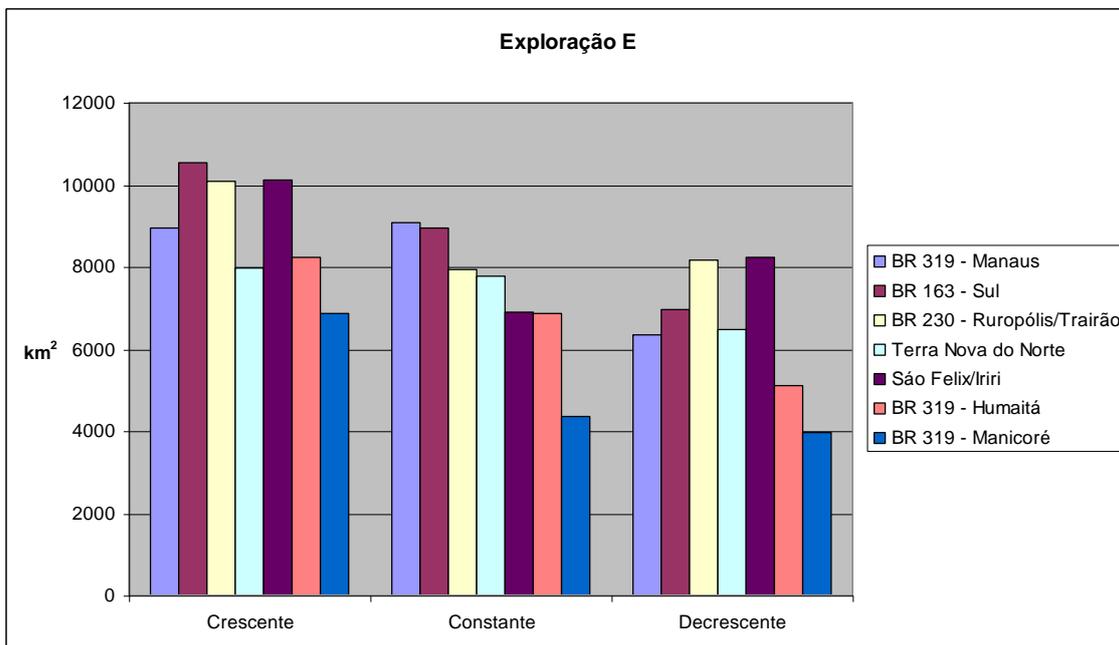


FIGURA 5.28 - Exploração E: comparação quantitativa entre as amostras de teste selecionadas (fora das áreas protegidas)

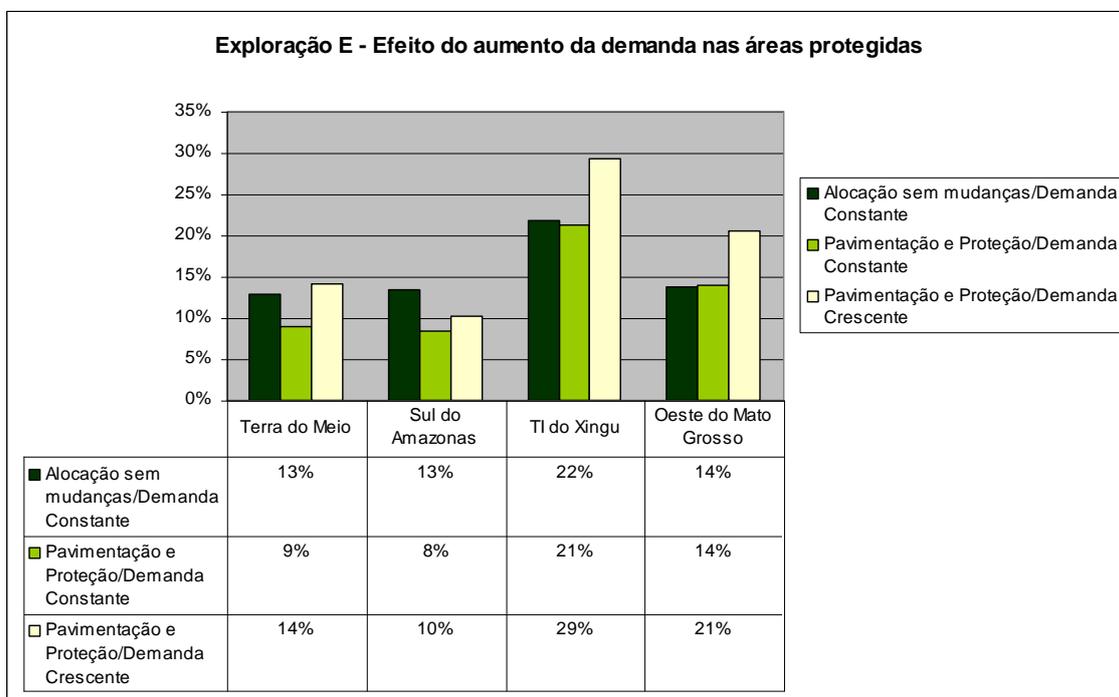


FIGURA 5.29 - Exploração E: comparação quantitativa entre as amostras de teste (dentro das áreas protegidas).

Comparada com a exploração C (demanda constante), os resultados da exploração E mostram padrões similares, tanto quando a demanda aumenta e diminui. Para o aumento da demanda (Figuras 5.26 e 5.27), a quantidade de mudança adicionada não é uniformemente distribuída, especialmente na área Central, como mostra a Figura 5.28. Nas regiões da Cuiabá-Santarém e São Felix/Iriri o impacto é mais forte, devido a melhores características de conectividade do que outras áreas (como a Porto Velho-Manaus, por exemplo). Porém, sob qualquer cenário de demanda (considerando o cenário pavimentação e proteção), as seguintes amostras de teste concentram as maiores mudanças, mesmo que a ordem relativa seja modificada: BR163–Sul, BR230–Rurópolis/Trairão e São Felix/Iriri no estado do Pará; BR319–Manaus, BR 319–Humaitá, BR 319–Manicoré no estado do Amazonas; e Terra Nova do Norte no estado do Mato Grosso.

O aumento da demanda também causa uma pressão mais alta nas áreas protegidas, de modo não uniforme, como mostrado nas Figuras 5.26 e 5.29. Esta pressão é mais forte nas áreas protegidas no Arco (por exemplo, na Terra Indígena do Xingu), mas ela pode também ser sentida em áreas mais conectadas na região Central (na Terra do Meio, por exemplo). Como mostra a Figura 5.29, a redução nas taxas de desflorestamento na Terra do Meio obtidas pela criação de áreas protegidas podem ser perdidas se a demanda geral por terra for aumentada. Os resultados indicam que a vulnerabilidade de áreas protegidas não é homogênea ao longo da região, e ações de comando e controle deveriam levar isto em consideração.

Na situação onde a demanda diminui, pode-se observar uma diminuição da pressão nos *hot-spots* da área Central da Amazônia. As regiões ao longo das rodovias Cuiabá-Santarém, Porto Velho-Manaus e oeste da Transamazônica mostram uma redução significativa nas taxas de desflorestamento. Isto é um resultado importante, pois ele é o único cenário onde a região Central da Amazônia sofre menos impacto. Estes resultados apontam a necessidade de ações governamentais que busquem ordenar e *controlar como a demanda por produtos agropecuários do mercado internacional e nacional (que independem da ação do governo) se transforma em demanda por terra*, que resulta em desflorestamento descontrolado, quando o Estado não se faz presente. Os resultados

deste capítulo indicam assim a necessidade de um plano que considere os efeitos macrorregionais da pressão do mercado, em especial medidas abrangentes de monitoramento e controle, aliadas a ações em parceria com os setores produtivos, como discutido na Seção 6.3.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Este capítulo está organizado do seguinte modo. A Seção 6.1 retoma as hipóteses apresentadas no Capítulo 1, e aponta como os resultados obtidos nos Capítulos 4 e 5 confirmam tais hipóteses. A Seção 6.2 apresenta algumas considerações finais sobre aspectos metodológicos desta tese. A Seção 6.3 coleta os resultados mais relevantes apresentados nos Capítulos 4 e 5 em termos de subsídios para políticas públicas para Amazônia, e os discute com maior detalhe. Por fim, a Seção 6.4 apresenta sugestões para trabalhos de pesquisa futuros, com base nos resultados e conclusões desta tese.

6.1 Hipóteses de pesquisa

Esta tese explorou duas hipóteses principais sobre o processo de ocupação humana na Amazônia utilizando abordagens quantitativas de modelagem espacial:

- A heterogeneidade de fatores espaciais determinantes de uso da terra e dos efeitos de políticas públicas na Amazônia.
- A importância de medidas de conectividade a mercados para explicar diferenças intrarregionais no processo de ocupação da Amazônia.

O Capítulo 4 apresentou uma análise de regressão espacial para explorar diferenças intrarregionais na importância relativa dos fatores determinantes no uso da terra na Amazônia. Os resultados da análise estatística confirmam a *primeira hipótese* explorada nesta tese: *a importância relativa e significância dos fatores determinantes do uso da terra variam bastante na Amazônia*. Foram analisados separadamente os fatores determinantes em toda a Amazônia, e nas três macrorregiões: Arco, Amazônia Central e Ocidental. O resultado quantitativo obtido utilizando esta metodologia corrobora com o que foi dito por Becker (2001): “na Amazônia coexistem sub-regiões com velocidades diferentes de mudança, devido à diversidade de condições ecológicas, socioeconômicas,

políticas e de acessibilidade”. O uso de modelos de regressão espacial também corrobora com verificações anteriores sobre a natureza difusa das mudanças do uso da terra na Amazônia (Alves, 2002), como mostrado pelos altos valores dos coeficientes autorregressivos em todos os modelos. Apenas na região Ocidental os valores foram ligeiramente menores, indicando uma menor intensidade no padrão difusivo e velocidade de mudanças.

Depois dos coeficientes que indicam a dependência espacial, os modelos mostram a significância de vários dos fatores determinantes, demonstrando que análises que focam em fatores únicos podem ser enganosas. *É somente a interação entre vários fatores que pode explicar os padrões heterogêneos de uso da terra na Amazônia.* Quando analisada toda a Amazônia, os resultados mostram que a concentração dos padrões nas partes sul e leste da Amazônia está relacionado à proximidade a centros urbanos e rodovias, *reforçados pela alta conectividade às regiões mais desenvolvidas do Brasil*, e a condições climáticas mais favoráveis em comparação com o restante da região (ver Figura 4.1). Portanto, condições de produção mais favoráveis em termos de clima, conexão a mercados nacionais, e proximidade a mercados locais parecem ser os fatores chaves na explicação do processo de desflorestamento, e da concentração da ocupação humana das últimas décadas no Arco. Outros fatores como projetos de assentamento e fertilidade do solo também são significativos para explicar os padrões de desflorestamento das últimas décadas.

Quando cada região é analisada separadamente, os fatores determinantes apresentam variações importantes. Por exemplo, quando apenas o Arco é analisado, áreas protegidas tornam-se o segundo fator mais importante, após o coeficiente de dependência espacial, precedendo inclusive distância a rodovias e distância a centros urbanos. Isso indica como as áreas protegidas possuem um papel importante em evitar o desflorestamento em áreas de alta pressão. Por outro lado, distância a rodovias e distância a centros urbanos são fatores importantes em todas as partições espaciais, mas não explicam as variações intrarregionais. A análise com múltiplos fatores mostra que o padrão de ocupação heterogêneo da Amazônia pode apenas ser explicado quando combinando estas variáveis a fatores relacionados à organização de sistemas produtivos em

diferentes regiões, tais como condições ambientais favoráveis e acesso a mercados locais e nacionais.

Estes resultados, tanto para toda a Amazônia, quando a comparação entre as macrorregiões, fornecem novas evidências de que a implantação de rodovias e desenvolvimento de polos nos anos 70 foi um primeiro incentivo ao desflorestamento, mas ele continuou mais elevado nas regiões que estabeleceram sistemas produtivos ligados no Centro, Sul e Nordeste do Brasil (ALVES, 2001, 2002), corroborando assim com a *segunda hipótese* desta tese.

Ambas as hipóteses são também confirmadas pelos resultados do Capítulo 5, no qual uma versão modificada do arcabouço de modelagem CLUE foi utilizada para explorar cenários de desflorestamento na Amazônia Brasileira. Cada exploração enfatizou um aspecto diferente no processo de ocupação da Amazônia. Três conclusões principais podem ser tiradas dos resultados do Capítulo 5. Primeiro, a conexão a mercados nacionais é o fator mais importante por capturar os padrões espaciais e diferentes estágios de ocupação das novas fronteiras da Amazônia Central. Segundo, é a interação entre conectividade e outros fatores, que podem agir em diferentes escalas (tais como clima e proximidade a mercados locais) que *influencia as diferentes dinâmicas intrarregionais, e cria condições locais diferenciadas nos novos eixos de expansão*. Estes padrões não podem ser explicados por um único fator que enfoque o papel das rodovias, por exemplo. E terceiro, estas diferenças intrarregionais podem levar a impactos heterogêneos de políticas na região, por exemplo, obras de infraestrutura, como ilustram nossos resultados.

A variável de *conexão a mercados nacionais* foi utilizada nesta tese como *proxy* da inserção no sistema produtivo nacional. Embora calculada de maneira bastante simples (inverso do caminho mínimo entre cada célula e os principais mercados nacionais, São Paulo e o Nordeste, ponderado pelo tipo de estrada, pavimentada ou não), esta variável, interagindo com as demais variáveis, reforça o padrão de ocupação concentrado no Arco, e permitiu capturar os diferentes estágios de ocupação das novas fronteiras na Amazônia Central. As relações de conectividade podem ser entendidas como

representando o *contexto* socioeconômico de cada região, em especial das oportunidades econômicas devido à facilidade de acesso aos mercados nacionais. E por isso reforçam o padrão concentrado e difusivo da ocupação. Nossos resultados contrastam com estudos anteriores que atribuem ao fator distância a estradas o papel de principal determinante do desflorestamento. Nossos resultados mostram que não é a simples existência de estradas que determina o padrão de ocupação, mas *onde as estradas levam* que contribui para que uma determinada estrada potencialize, em maior ou menor grau, a economia e o processo de ocupação de certa área, interagindo com as condições biofísicas, socioculturais e políticas dessa área. Como corolário, a mesma política (por exemplo, a pavimentação de uma estrada) pode ter efeitos diversos no processo de ocupação, de acordo com o contexto socioeconômico específico de cada região.

O atual *hot-spot* de desflorestamento no município de São Felix do Xingu é um exemplo disto: ele tem sido o líder nas taxas de desflorestamento nos últimos anos (INPE, 2005), *embora não seja servido por rodovias pavimentadas*, mostrando que existem outros fatores locais e regionais que determinam o atual processo na Amazônia central. O mercado de terras é um fator importante na região, tal como a ausência da presença do Estado, mas esta área também possui uma cadeia de mercado de carne muito bem organizada (MARGULIS, 2004; ESCADA et al., 2005a).

Os resultados das análises estatísticas indicam também que a variável *distância a centros urbanos* é tão importante quanto a distância a rodovias. Nesta tese, a distância a centros urbanos é utilizada como um indicador de população, e como uma variável *proxy* para acesso a mercados locais. Faminow (1997) mostrou que a demanda local por produtos bovinos, tais como leite e carne é uma causa pouco explorada no aumento da produção do rebanho, e conseqüentemente do desflorestamento. Nossos resultados reforçam a necessidade de compreender a relação entre as mudanças no uso da terra e o processo de crescimento da população urbana na Amazônia (BECKER, 2001), assim como as relações entre os centros urbanos e as cadeias de mercado.

Os resultados relativos à estrutura agrária na análise dos diferentes usos da terra reforçam estas conclusões em relação à importância dos sistemas de produção, pois apontam a heterogeneidade dos sistemas de uso da terra adotados por diferentes atores, e a influência da estrutura agrária na distribuição dos padrões de uso da terra ao longo da região. Logo, conclui-se que incorporar esta heterogeneidade de fatores, atores, usos de terra e sistemas produtivos é essencial para uma sólida compreensão do processo de mudança no uso da terra na região, especialmente para subsidiar decisões sobre políticas apropriadas para cada sub-região.

6.2 Considerações sobre aspectos metodológicos

Esta seção discute os principais aspectos metodológicos que representam a contribuição desta tese em relação a trabalhos anteriores. São apontados também resultados relevantes para fins de políticas públicas (discutidos na Seção 6.3) ou sugestões de refinamentos e trabalhos futuros (Seção 6.4):

- *Fatores socioeconômicos e ambientais.* Foi criado um Banco de Dados celular com 50 variáveis candidatas (Tabela 3.2), representando sete categorias de fatores socioeconômicos e ambientais. As variáveis utilizadas nas análises dos Capítulos 4 e 5 representam um subconjunto deste banco de dados, que por sua vez é um subconjunto dos fatores que poderiam ter sido analisados. O Apêndice B apresenta uma lista inicial de fatores candidatos, resultante de uma das primeiras iterações do processo de modelagem. Alguns destes fatores foram efetivamente transformados em variáveis no banco de dados celular, e posteriormente selecionadas para a realização das análises, visando minimizar problemas de correlação. Esta seleção final priorizou fatores que pudessem ser manipulados nos cenários de políticas de infraestrutura e conservação que pretendíamos explorar no Capítulo 5. Alguns fatores da lista inicial do Apêndice B foram excluídos pela dificuldade em obter os dados para toda a região, compatíveis com a data dos dados de uso (1996/1997). Por exemplo, informações sobre o preço de terra, o papel das instituições, associadas à presença do Estado, linhas de crédito nas últimas décadas. Um segundo aspecto que pesou na seleção

final de variáveis foi a opção por variáveis que explicassem a *localização dos padrões concentrados* de ocupação na Amazônia. Densidade populacional, sob este aspecto, se confunde com a ocupação humana que nós pretendíamos entender *onde* ocorre. Como discutido na Seção 6.4, trabalhos futuros poderiam realizar muitas análises complementares às realizadas nesta tese, para analisar diferenças intrarregionais considerando outras categorias (por exemplo, relações entre variáveis sociais e padrões de desflorestamento). Entre as variáveis utilizadas nesta tese, destacam-se as medidas de conectividade e indicadores de estrutura agrária que não haviam sido analisadas em trabalhos anteriores, cuja importância e relevância para fins de políticas públicas são detalhadas na Seção 6.3.

- *Utilização de dados de 1997*: O mapa de extensão do desflorestamento de 1997 foi escolhido por ser o mais próximo do último Censo Agropecuário realizado no Brasil, em 1996 (IBGE, 1996). Os dados do Censo Agropecuário foram utilizados para decompor os padrões de desflorestamento nos seus principais usos (pastagem, agricultura temporária, etc.), e como fonte de informações sobre fatores determinantes, nas categorias de estrutura agrária e tecnologia. A principal desvantagem da utilização deste ano como base é que neste período a entrada da agricultura mecanizada em áreas de floresta ainda era pequena. Logo os resultados da análise estatística em relação aos padrões de agricultura temporária refletem mais a agricultura praticada por pequenos agricultores em regiões de ocupação antiga, como o Nordeste do Pará e Maranhão. No entanto, nós não consideramos que isso tenha impactado os resultados da modelagem dinâmica, que focam em projeções de padrões alternativos de desflorestamento. Pelo contrário, as novas fronteiras da Amazônia Central, ativas atualmente, inclusive Cuiabá-Santarém, foram corretamente capturadas nas projeções (ver Figura 5.12), embora em 1997 elas ainda não estivessem ativas, como ilustra a Figura 3.3.
- *Utilização de modelos de Regressão Espacial (Spatial Lag) e Regressão Linear Múltipla convencional*. A utilização da regressão espacial no Capítulo 4

contribuiu para os resultados deste trabalho, pois: (a) comprovou natureza difusa das mudanças do uso da terra na Amazônia; (b) indicou uma menor intensidade no padrão difusivo na região Ocidental, que pode ser interpretado como uma menor velocidade das mudanças naquela região. Foi realizada também uma comparação entre os modelos de regressão espacial e convencional, que demonstrou como diferentes variáveis explanatórias contribuem de modo diferenciado para estrutura dos padrões de uso (no caso da Amazônia, as variáveis de conexão a mercado nacional e condições climáticas). Por fim, na modelagem dinâmica do Capítulo 5, optou-se por manter o modelo de regressão linear convencional na exploração de cenários, pois existe um risco no uso do modelo *spatial lag* na modelagem dinâmica LUCC. O parâmetro de autocorrelação espacial é relacionado com desflorestamento prévio na vizinhança. O modelo resultante teria uma tendência a concentrar mudanças em áreas previamente ocupadas, não permitindo que novos padrões apareçam. Portanto, nós consideramos mais apropriados amarrar os aspectos difusivos de desflorestamento a variáveis manipuláveis através de cenários, tais como conectividade a mercados e distância a rodovias. Novos padrões poderiam emergir com a modificação das características de acessibilidade.

- *Análise estatística e escala*: Os modelos de regressão linear convencional foram construídos para células em duas resoluções: 100 x 100 km² (resolução grosseira) e 25x25 km² (resolução fina). Na resolução mais fina, quatro partições alternativas do espaço foram analisadas: Amazônia, Arco, Amazônia Central e Ocidental. Pode-se dizer então que trabalhamos em três escalas espaciais, considerando o conceito de escala apresentado em Gibson et al. (2000), extensão e resolução: (a) Amazônia, resolução grosseira; (b) Amazônia, resolução fina; (c) Macrorregiões, resolução fina. Em concordância com os resultados encontrados por Kok (2001b) e Hoshino (2001), a mudança de resolução (no caso, de 100 km para 25 km) não acarreta mudanças significativas na composição dos fatores mais importantes, embora a ordem de importância seja, por vezes, modificada; na resolução mais fina, novos fatores são incluídos, mas comparativamente com

pouca importância. Já a componente extensão da escala apresenta maior influência na composição. Outro aspecto interessante, retomando o que foi colocado na introdução sobre a importância da escala: o processo é estudado afeta a explicação encontrada para o fenômeno. Os resultados desta tese em termos de fatores determinantes do desflorestamento divergem dos apresentados por Soares-Filho et al. (2006), pela diferença na escala de estudo e dos dados utilizados. Soares-Filho et al. (2006), realizou estudos locais amostrais, usando células de 1.25 km em 12 casos de estudos (cada um correspondendo a uma imagem Landsat TM), analisando os fatores que influenciam a *mudança* em determinado período de tempo, e conclui, entre outros, que o desflorestamento não é influenciado pela qualidade do solo, e não segue necessariamente a rede de rios principais. Tais resultados são válidos nesta escala. Nossos resultados para to, por outro lado, por considerarem toda a região, numa resolução de 25 x 25 km², e analisarem padrões, não mudanças em um intervalo curto de tempo, apontam que solos e proximidade a rios são fatores significantes para explicar os padrões de desflorestamento da região. Finalmente, um último aspecto referente à escala se refere às transformações aplicadas aos dados. Uma análise estatística exploratória inicial mostrou que algumas das relações entre as variáveis explanatórias potenciais e as variáveis de uso da terra não eram lineares. Nós aplicamos uma transformação logarítmica nas variáveis de uso da terra e em algumas variáveis explanatórias (ver Apêndice C). A transformação logarítmica melhorou o resultado da regressão significativamente. Esta melhora sugere que as variáveis explanatórias estão relacionadas com a escolha inicial das áreas a serem ocupadas, nas escalas de estudo adotadas nesta tese.

- *Adequação do arcabouço CLUE para a região Amazônia*: como discutido no Capítulo 5, os resultados iniciais do modelo não foram adequados, devido às características específicas do processo de ocupação na Amazônia. Nos primeiros testes, ocorreu uma concentração das mudanças em algumas poucas células, e nenhuma mudança projetada na região Central. Modificações foram introduzidas no módulo de alocação do CLUE, em suma: (a) mecanismo para restringir a

quantidade de mudança em uma célula no mesmo ano, o que condiz com as características do processo de conversão e resolução das células (25 x 25 km²); (b) mecanismo para desacelerar o ritmo de conversão da floresta após uma determinada porcentagem de desflorestamento; (c) mecanismo para controlar esses parâmetros de modo a simular cenários de cumprimento das leis, acelerando ou desacelerando o processo de desflorestamento de acordo com a presença ou não do Estado em certa área, como discutido no item abaixo. Buscou-se também selecionar uma melhor combinação de diferentes fatores determinantes, através de modelos de regressão alternativos, que permitisse capturar os processos de ocupação recentes, em especial as novas fronteiras da Amazônia Central. Isso foi obtido utilizando os modelos do Arco que enfatizam a variável conexão a mercados na região Central, como será discutido na Seção 6.3. Entre os aspectos positivos do arcabouço CLUE destacam-se: (a) flexibilidade em termos de utilização de modelos de regressão, que permitiu a realização das explorações para determinação de fatores mais adequados, e então obter resultados compatíveis com os processos recentes de ocupação; (b) abordagem multiescala do modelo CLUE possibilitou incorporar a influência complementar de variáveis importantes e correlacionadas, em diferentes escalas (em especial, a análise da Exploração B, em relação à influência de distância a estradas e centros urbanos). O arcabouço foi utilizado nesta tese para explorar padrões de desflorestamento, mas numa próxima etapa deverá ser utilizado para analisar os processos de expansão de usos distintos, em especial, da criação de gado e agricultura mecanizada, como discutido na seção 6.4.

- *Indicador de presença do Estado não uniforme na região:* neste trabalho, nós introduzimos um mecanismo no arcabouço CLUE para incorporar a presença heterogênea do Estado na região, testado nos cenários de cumprimento da lei. Nós utilizamos um indicador espacial para frear ou acelerar os processos de mudança, atuando diretamente no mecanismo interno de alocação, interagindo indiretamente sobre a adequação para mudança determinada pelos fatores

determinantes espaciais empiricamente derivados. Possíveis aplicações deste mecanismo em outros contextos são discutidas na seção 6.4.

- *Introdução do conceito de exploração de cenários.* Cada exploração enfatiza um aspecto diferente do processo de ocupação da Amazônia. De várias possibilidades existentes, este trabalho apresentou os resultados de cinco explorações que analisam os efeitos *fatores de acessibilidade alternativos, políticas públicas e condições do mercado*. De cada umas das cinco explorações, padrões muito diferentes emergiram. Cada exploração discutiu dois ou três resultados alternativos. Juntos, os resultados das cinco explorações são complementares, e contribuem para o entendimento de diferentes aspectos do processo de ocupação. Em regiões complexas como a Amazônia, a exploração de cenários é uma ferramenta importante para comparar os resultados de modelos de uso de terra. Dadas as incertezas inerentes ao processo de modelagem LUCC, cenários controlados, onde um parâmetro chave é modificado por vez, são muito úteis para ganhar conhecimento e elucidar determinados aspectos relativos ao processo de ocupação.
- *Premissas em relação aos efeitos de políticas locais:* nossa modelagem para a exploração de cenários não incorporara premissa alguma sobre como as políticas locais afetam (positivamente ou negativamente) as taxas de desflorestamento gerais. A quantidade total de desflorestamento é uma variável exógena no modelo. O modelo considera que a demanda para a abertura de novas áreas está relacionada a forças de mercado externas, e representam uma maior ou menor pressão para a conversão da floresta determinada pelo agronegócio nacional e internacional. Nós analisamos os padrões emergentes através da manipulação de três condicionantes do processo de ocupação separadamente: (a) políticas de infraestrutura; (b) políticas relativas ao cumprimento das leis e políticas de conservação; e (c) forças de mercado. Os resultados ilustram como os efeitos de políticas locais podem ser observados em outras áreas, não necessariamente de forma benéfica, de acordo com a percepção dos atores sobre novas restrições e oportunidades criadas pelas políticas e pelo mercado, e como políticas públicas

para a Amazônia devem considerar a interação espacial e temporal entre políticas localizadas e processos regionais. Estes aspectos serão elaborados na seção 6.3, referente a recomendações para políticas públicas.

6.3 Recomendações para políticas públicas

Esta seção resume os principais resultados desta tese com foco em recomendações para a definição de políticas públicas para a Amazônia, organizados em quatro tópicos principais: (1) Conexão a mercados; (2) Heterogeneidade e evolução temporal de fatores nas macrorregiões; (3) Estrutura Agrária; e (4) Fortalecimento das Instituições e controle da demanda por terra.

6.3.1 Conexão a mercados

Nossos resultados de análise estatística (Capítulo 4) indicam que a concentração dos padrões de ocupação nas partes sul e leste da Amazônia está relacionado à proximidade aos centros urbanos e rodovias, *reforçados pela alta conectividade às regiões mais desenvolvidas do Brasil*, e a condições climáticas mais favoráveis em comparação com o restante da região. Isto é, condições de produção mais favoráveis. Em especial a variável conexão a mercados nacionais, interagindo com as demais variáveis, reforça o padrão de ocupação concentrado no Arco nas últimas décadas, e permite capturar os diferentes estágios de ocupação das novas fronteiras na Amazônia Central, como mostram os resultados da modelagem dinâmica do Capítulo 5.

Em termos de políticas públicas, a combinação destes fatores, em especial a variável conexão via rede viária ao resto do país, fornece um indicador em relação a áreas mais vulneráveis à ocupação, como o Norte do Mato Grosso e as novas fronteiras da Amazônia Central, como ilustra a Figura 4.1. Analisados em conjunto com outros critérios, como, por exemplo, a importância de diferentes tipos de vegetação (NELSON et al, 2001), as características de conectividade do território podem ser utilizadas na definição de prioridades da criação e consolidação de áreas protegidas. Além disso, nossos resultados mostram as áreas protegidas em regiões com maior conexão tendem a sofrer uma maior pressão de ocupação. Obviamente, outras questões relativas ao

contexto nos quais diferentes áreas foram criadas (ESCADA et al, 2005a) influenciarão o nível de proteção efetivo de cada uma. De qualquer modo, as medidas de conectividade podem também prover um indicador de áreas protegidas mais vulneráveis, para balizar a definição de medidas abrangentes de comando e controle (Seção 6.3.4), de acordo com as relações de conexão atuais e futuras, como discutido na próxima seção.

6.3.2 Heterogeneidade e evolução temporal dos fatores nas macrorregiões

Nesta seção são enfatizadas as diferenças entre as três macrorregiões consideradas relevantes para fins de políticas públicas, incluindo a importância das áreas protegidas em áreas de alta pressão de ocupação, e a diferenças na importância relativa de medidas de conectividade e sua evolução temporal:

- *Áreas Protegidas:* Nos modelos de regressão para o Arco, áreas protegidas tornam-se o segundo fator mais importante, após o coeficiente de dependência espacial, precedendo mesmo as variáveis distância a estradas e distância a centros urbanos. Nestes modelos, a existência de áreas protegidas é o principal fator estatisticamente significativo no impedimento do desflorestamento. Um segundo impedimento são condições climáticas desfavoráveis, em áreas onde a estação da seca é menos intensa. Como a área ao sul do Arco ainda possui uma extensão considerável de áreas de floresta primária fora das áreas protegidas, próximas ao cinturão agrícola mecanizado do sul do Mato Grosso, e também se beneficia de clima mais seco, a criação de áreas protegidas, em contextos socioeconômicos apropriados, seria um fator importante para restringir o processo de desflorestamento. Por exemplo, no norte do Estado Mato Grosso, como ilustrado nas Figuras 4.1 e 3.21. Na Amazônia Central, o relacionamento estatístico entre os padrões de desflorestamento até 1997 e as áreas protegidas não foi tão forte quanto no Arco, por ainda existirem muitas áreas de florestas. No entanto, a região Central é, atualmente, a região mais vulnerável, onde novas fronteiras são localizadas (BECKER, 2004). Logo, a criação de áreas protegidas na região central também deve ser um instrumento importante para a

conservação de áreas que podem vir a ser ameaçados pelas novas fronteiras, e pelo aumento da conexão destas áreas ao resto do país (e.g., com o asfaltamento da BR 163, por exemplo).

- *Diferentes medidas de conectividade e sua evolução temporal*: Outra diferença entre as macrorregiões está relacionada à importância relativa das medidas de conectividade. Os resultados apontam para um processo de ocupação no Arco que utiliza rodovias como sua principal conexão. Na região Central, devido ao histórico de ocupação da área, conexão a mercados nacionais não é tão significativo, se considerado o padrão de ocupação até 1997. Por outro lado, existe uma influência forte das conexões por rios (variáveis de distância a rios e conexão a portos). No entanto, conforme os sistemas de produção agrícola das novas áreas ocupadas na região Central tornem-se mais fortes, estes relacionamentos estatísticos poderão ser modificados para refletir uma nova realidade, não necessariamente repetindo os relacionamentos do Arco. Na modelagem dinâmica discutida no Capítulo 5, para realização de projeções até 2020, nós exploramos a utilização dos modelos de regressão do Arco na região Central. Nesta exploração, nós conseguimos capturar os diferentes estágios de ocupação das novas fronteiras, em especial nas áreas de São Felix do Xingu e Cuiabá-Santarém, devido à importância da variável conexão a mercados nacionais (pela rede viária) no modelo do Arco. Este modelo capturou melhor a dinâmica das novas fronteiras do que o modelo baseado apenas em conexão a portos e distância a rodovias, empiricamente derivado para a região Central com dados até 1997, ou do que modelo derivado para toda a Amazônia, baseado somente em distância a estradas. Isso demonstra uma evolução das relações entre os fatores determinantes e os padrões mais recentes.

O entendimento sobre a *evolução e heterogeneidade da importância das relações de conectividade* na região é necessário para que elas possam ser efetivamente utilizadas como um indicador de áreas de expansão e de áreas prioritárias para conservação, e também para analisar possíveis impactos de obras de infraestrutura em diferentes regiões. As figuras 5.4 a 5.7 ilustram os efeitos temporais de obras de infraestrutura

(pavimentação de estradas) nas variáveis de conexão a portos e mercados nacionais. Por exemplo, pode-se supor que a conexão a portos continuará a ser importante na região Central, devido à presença de portos de exportação no rio Amazonas, embora a conexão por rodovias ao restante do país deva, também, ganhar importância, ligando as áreas de produção aos mercados nacionais. Mesmo dentro da Amazônia Central, diferentes áreas talvez venham a ser mais ou menos influenciadas por diferentes conexões, por exemplo: a região de São Felix pela conexão a mercados nacionais; a Porto Velho-Manaus pela conexão a portos. E, além das conexões aos mercados nacionais e portos, outras conexões poderão também se tornar importantes na Amazônia Central e Ocidental, considerando os eixos de integração com os demais países da América Latina, por exemplo. Neste caso, novos padrões de ocupação poderão surgir. Como discutido na Seção 6.4, é necessário também a elaboração de medidas de conexão mais refinadas, que considerem os mercados específicos para diferentes cadeias produtivas que atuam em diferentes regiões (gado versus soja, por exemplo), e as flutuações destes mercados, que podem influenciar de modo distinto diferentes áreas (BECKER, 2005).

Por fim, cabe notar que esta questão da evolução temporal dos fatores remete a uma discussão mais ampla sobre diferentes regiões da Amazônia estarem em momentos diferentes de um mesmo processo de ocupação (PERZ; SKOLE, 2003; . Embora nós tenhamos explorado a utilização do modelo de regressão do Arco na região Central na modelagem dinâmica, nós não estamos supondo que os mesmos processos irão se repetir nas duas regiões. Existem diferenças importantes no contexto histórico entre os processos que ocorreram no Arco e os que acontecem atualmente na Amazônia Central. O processo de ocupação no Arco está muito relacionado a ações do governo militar, que incluíram políticas de infraestrutura, colonização, crédito, etc. As novas fronteiras na Amazônia Central são movidas mais por forças econômicas e políticas regionais, e atores com recursos próprios, e interesses já estabelecidos na região (BECKER, 2005). Sob este aspecto, analisar a influência da conexão a mercados nacionais, devido à importância das cadeias de mercado de carne e soja, por exemplo, através de uma exploração utilizando o modelo de regressão do Arco foi considerado apropriado, e apresentou bons resultados. Porém, como mencionado acima, no médio prazo talvez

outras conexões se tornem tão ou mais importantes na Amazônia Central do que a conexão a mercados nacionais. Por exemplo, o crescimento de mercados locais, ou do comércio com países vizinhos. E a região Ocidental, por outro lado, apresenta condições biofísicas bastante diferentes do Arco, que pode restringir o desenvolvimento da agropecuária na região. Logo, embora a importância de alguns fatores possa evoluir na mesma direção do Arco, outros poderão talvez divergir, mantendo a heterogeneidade dos fatores determinantes da ocupação na região no tempo.

6.3.3 Estrutura Agrária

Os resultados da análise estatística do Capítulo 4 apontam alguns aspectos importantes em relação às características heterogêneas da estrutura agrária na Amazônia, e aos diferentes tipos de uso relacionados a diferentes atores:

- a) Os resultados da análise estatística indicam que o desflorestamento está mais associado a áreas ocupadas por uma maior proporção¹³ de médias e grandes propriedades, do que a áreas ocupadas por pequenas propriedades, em concordância com trabalhos recentes (MARGULIS, 2004), embora existam muita variação intrarregional nesta participação (WALKER et al., 2000).
- b) Em diferentes localidades, a estrutura agrária e os usos da terra são heterogêneos: pastagens estão espalhadas por toda a região, sendo o principal uso em áreas dominadas por grandes e médias propriedades (como o Sudeste do Pará), e também em algumas áreas com uma proporção maior de pequenas propriedades (por exemplo, Rondônia). Por outro lado, as classes agricultura temporária e permanente apresentam padrões bastante concentrados, em áreas mais ocupadas por pequenas propriedades, como a Zona Bragantina no Pará, o Maranhão e Rondônia, de acordo com os dados do Censo Agropecuário de 1996;

¹³ Proporção em termos de área de propriedades nos municípios. Em termos de número, pequenas propriedades são grande maioria em quase toda a Amazônia (ver Figura 3.19).

c) A análise revela também a existência de *trajetórias de uso distintas* em diferentes localidades, em especial em áreas de pequenas propriedades. Por exemplo, tanto Rondônia quanto o nordeste do Pará apresentam uma alta porcentagem de áreas de pequenas propriedades. No entanto, em Rondônia, culturas temporárias ocupam uma menor proporção da área quando comparado com o nordeste do Pará, uma área de ocupação mais antiga, densamente povoada, e próxima a um importante centro urbano, Belém. Nessa área de ocupação antiga, agricultura temporária é o principal uso da terra. Por outro lado, Rondônia apresenta um padrão mais forte de pastagem, e também de agricultura permanente, ao contrário do nordeste do Pará (comparar Figuras 3.4 a 3.7).

Como dados de 1996 foram utilizados, o cultivo de culturas mecanizadas (como a soja) é capturada apenas na borda com o cerrado, em algumas áreas do norte do Estado do Mato Grosso. Esta agricultura mecanizada, praticada por um tipo de ator mais capitalizado, tem se expandido recentemente também em áreas de floresta (IBGE, 2006). Embora a relação estatística obtida entre agricultura temporária e estrutura agrária possa ser alterada pela entrada deste novo tipo de ator, o fato de existirem outros sistemas de uso em diferentes localidades não mudará (por exemplo, um sistema baseado em agricultura temporária praticado por pequenas fazendas em áreas de ocupação antigas, como no Maranhão e Nordeste do Pará). Esta heterogeneidade de estrutura agrária, atores e trajetórias uso deve ser considerada quando políticas públicas são pensadas para diferentes sub-regiões.

Em relação a pequenos proprietários, políticas públicas deveriam focar na melhoria das condições de vida, na garantia da posse da terra, e em medidas que visem à permanência na terra, através da inserção em cadeias de mercado apropriadas, de acordo com as diferentes características biofísicas, socioeconômicas, políticas e de acessibilidade a mercados de cada área. Nossos resultados indicam, no entanto, que pequenos agricultores não são a principal causa direta do desflorestamento na Amazônia. Políticas de controle do desflorestamento devem focar os atores mais

capitalizados, e nas cadeias de mercado nas quais estão inseridos, em especial de gado, soja, e madeira, como discutido a seguir.

6.3.4 Fortalecimento das instituições e controle da demanda por terra

Possivelmente a recomendação mais clara que pode ser extraída do processo de modelagem dinâmica do Capítulo 5 é a necessidade de medidas de controle do desflorestamento que reflitam uma visão macrorregional de processos que ocorrem em diferentes escalas espaciais e temporais. Em especial o papel de políticas aplicadas localmente versus a pressão por terra resultante da demanda por produtos agropecuários no mercado interno e externo.

O Governo Federal tem avançado muito em ações locais. Em 2005 o governo executou várias ações conjuntas da Polícia Federal e IBAMA do tipo “comando e controle” na Amazônia, para conter o desflorestamento ilegal e extração ilegal de madeira (BRASIL, 2004, 2005). As taxas de desflorestamento aumentaram de 2001 para 2004 de 18.165 km² para 27.971 km². Em 2005, as taxas estimadas caíram para 18.900 km² (INPE, 2005). As ações da Polícia Federal na região e os baixos preços de soja no mercado internacional podem explicar a redução em 2005, o que não indica necessariamente uma tendência. As ações de comando e controle foram principalmente concentradas na rodovia Cuiabá-Santarém, no norte do Mato Grosso, na área de São Felix/Iriri, e também em algumas áreas no sul do Amazonas (BRASIL, 2004, 2005). De acordo com INPE (2005), um decréscimo na intensidade do desflorestamento foi identificado nestas áreas, porém o aumento da pressão em outras áreas, tal como o sul do Pará, como ilustra a Figura 2.3.

Estes efeitos de interação intrarregional são capturados pelo nosso modelo, que não incorporaram premissa alguma sobre como as políticas locais afetam (positivamente ou negativamente) as taxas de desflorestamento gerais. A quantidade total de desflorestamento é uma variável exógena no modelo. O modelo considera que a demanda para a abertura de novas áreas está relacionada a forças de mercado externas. O aumento ou diminuição da demanda são “proxies” de diferentes condições do mercado, e representam uma maior ou menor pressão para a conversão da floresta

determinada pelo agronegócio nacional e internacional. Os resultados ilustram como os efeitos de políticas locais (e.g., ações de comando e controle locais, criação de áreas protegidas) podem ser observados em outras áreas, não necessariamente de forma benéfica, de acordo com a percepção dos atores sobre novas restrições e oportunidades criadas pelas políticas e pelo mercado. Além disto, os sistemas de produção agem em diversas escalas espaciais e temporais. No médio e longo prazo, as cadeias de mercado podem reorganizar, de acordo com as restrições impostas pelas ações políticas, e contribuir para a ocupação de novas áreas, para atender a demandas crescentes por produtos agrícolas.

A demanda por produtos agropecuários, interna e externa, independe em grande parte da vontade política, *mas o controle de como esta demanda se transforma em pressão por terra, que por fim se traduz em novas aberturas na floresta, deveria depender de ações efetivas do governo.* Criar mecanismos efetivos para garantir o cumprimento das leis, ordenar o processo de ocupação e restringir o acesso a terras públicas, sem ficar a mercê da pressão do mercado (por produtos agropecuários ou por terras como reserva de valor), deveria ser o objetivo de um plano com medidas globais para controlar o desflorestamento.

Este plano deveria contemplar a proteção e utilização sustentável dos recursos florestais, sem, no entanto negar a existência e importância econômica da agropecuária na região¹⁴ (MARGULIS, 2004; HOMMA, 2005), mas restringindo a expansão territorial destas atividades, e promovendo o melhor uso das áreas ocupadas (HOMMA, 2005; VIEIRA et al., 2005). Com base nestas considerações, tal plano deveria incluir a *sinergia* entre quatro aspectos:

¹⁴ Citando Margulis (2004): “A *estratégia deve ser trabalhar com os pecuaristas e não contra eles.* Ainda que uma grande parte destes agentes ainda não esteja preparada para negociar, há lideranças mais abertas e interessadas em definir termos de compromisso com governo e sociedade para terem suas atividades integralmente legalizadas. Como estão muito associados aos governos municipais, estes talvez pudessem representá-los ou, no mínimo, participar do processo de negociação. Esta talvez seja uma oportunidade para a nova Administração Federal e, possivelmente, também para os Estados.”

- 1) *Ações abrangentes e constantes de monitoramento e fiscalização cobrindo toda a região*, para garantir o cumprimento das leis e das restrições de ocupação (e as punições pelo não cumprimento) não apenas pontualmente;
- 2) Medidas de *regularização fundiária e aumento da rede de áreas protegidas*, como o Programa ARPA, por exemplo.
- 3) Definição, em parceria com os setores produtivos:
 - *Zoneamento de áreas designadas para o desenvolvimento de diferentes atividades produtivas* (madeira, carne, leite, soja, outras culturas temporárias e permanentes, etc.), em especial as áreas já ocupadas, e *proibição do desflorestamento fora dessas áreas restritas*;
 - *Ações para fortalecer cadeias de mercado, promover a intensificação e a melhor utilização das terras nessas áreas designadas* para cada atividade (apoio tecnológico, crédito direcionado, taxaço de terra improdutiva, e certificação de produtos de acordo com critérios ambientais).
- 4) Desenvolvimento e fomento de atividades e cadeias de mercado alternativas baseadas na *exploração sustentável dos recursos florestais*.

Em suma, é necessário o fortalecimento das instituições e a presença efetiva do Estado na região, não apenas para punir ações ilegais, mas também para fomentar o desenvolvimento social e econômico das diferentes áreas, de acordo com seus atores e características específicas. E, deste modo, buscar ordenar o processo de ocupação, sem deixá-lo à mercê das forças de mercado e de especulação.

6.4 Sugestões para futuros trabalhos de pesquisa

Com base nos resultados e conclusões desta tese, esta seção apresenta algumas sugestões para trabalhos futuros de modelagem e construção de cenários na Amazônia (com enfoque em análises macrorregionais):

- *As interações intrarregionais* entre processos locais e regionais precisam ser melhor entendidas. Trabalhos futuros deveriam tentar entender como *o balanço entre políticas públicas e restrições de mercado, mediadas por condições locais heterogêneas*, podem afetar o futuro do processo de ocupação da Amazônia. Isto requer estudos multiescala e multilocalidade, pois estes processos e interações acontecem em níveis hierárquicos diferentes.
- *Cadeias de mercado diferentes podem influenciar o processo de ocupação de formas diferentes*. A sugestão é continuar este trabalho pelo refinamento dos estudos de pastagem e de agricultura temporária, focando na *expansão de gado e soja* na Amazônia, visando: (a) explorar cenários relativos aos possíveis padrões de ocupação destes dois usos, analisando o modo como estas duas forças poderão configurar o território (mediadas por políticas públicas); (b) incluir cenários de demanda mais complexos, não lineares, considerando mudanças em padrões de consumo e mudanças climáticas, por exemplo; (c) refinar medidas de conectividade, incluindo nós de cadeias de mercado reais, e considerando também a evolução da importância de diferentes relações de conexão (e.g., a mercados locais, nacionais e internacionais, via rede rodoviária, hidroviária, etc.), como discutido na seção anterior; (d) embasamento teórico para modelos e relações de conectividade, em especial na área econômica.
- Também em relação às medidas de conectividade, trabalhos futuros deveriam refinar estas medidas, pois as medidas exploradas nesta tese são baseadas apenas na rede rodoviária. Eles deveriam incluir redes de transporte por rios e trens, compondo *medidas conectividade mais complexas, considerando todo o sistema de transportes*. Outros tipos de redes poderiam também ser explorados, tais como as redes de comunicações e redes urbanas.
- Esta tese explora *o uso de relações entre fatores e padrões de uso do solo derivadas empiricamente, combinadas com conhecimento sobre os processos de ocupação*. Isto foi obtido principalmente pela comparação dos efeitos de modelos de regressão alternativos no arcabouço de modelagem dinâmica, e a

comparação com o conhecimento sobre as novas fronteiras da Amazônia. Uma etapa posterior seria alterar os coeficientes de regressão com base em conhecimento de especialistas, através de explorações controladas. Por exemplo, aumentando a importância da conexão a portos no modelo *arch25* para explorar seus efeitos, como discutido também na seção anterior.

- Neste trabalho, nós introduzimos um mecanismo no arcabouço CLUE frear ou acelerar os processos de mudança de modo não uniforme na região, incorporar a presença heterogênea do Estado na região. Este mecanismo foi testado nos cenários de cumprimento da lei. Este conceito poderia mais explorado, como um meio de *incorporar outros indicadores subjetivos/qualitativos não facilmente derivados de evidências empíricas*. Por exemplo, para explorar a efetividade da presença do IBAMA ou INCRA em regiões diferentes; as aspirações de diferentes estados para conservação e desenvolvimento; o nível de organização social de pequenos fazendeiros, de populações indígenas, etc.
- Os cenários de alocação construídos nesta tese baseiam-se na evolução temporal dos fatores de acessibilidade e proteção. *Cenários de alocação relacionados com outros fatores* poderiam também ser explorados, por exemplo: a criação e crescimento de centros urbanos; a migração de polos de produção de madeira; as mudanças na estrutura agrária relacionada à expansão de soja na Amazônia; a evolução de variáveis tecnológicas no Arco relacionada à intensificação agrícola, etc.
- Abordagens de modelagem diferentes, por exemplo, baseada em agentes (Parker, 2002), poderia ser empregada para explorar o comportamento de grupos que influenciam certos fatores, como por exemplo, a migração das madeiras, ou da cadeia produtiva da soja. Nesta escala de estudo (toda a Amazônia), modelar o comportamento de agentes individuais não parece factível, mas a *utilização de técnicas de modelagem baseada em agentes para representar o comportamento de grupos e instituições* pode acrescentar aspectos que não

podem ser facilmente tratáveis numa abordagem baseada em modelos de regressão, como a utilizada nesta tese.

- Trabalhos futuros, tanto de análise estatística, quanto de modelagem dinâmica, poderiam explorar *outros subconjuntos de fatores determinantes e outras partições do espaço* (por exemplo, Estados) para explorar outros aspectos da heterogeneidade intrarregional. Por exemplo, explorar as variáveis das categorias Tecnológicas e Demográficas, ou ainda outras não compiladas no nosso Banco de Dados, como as exemplificadas no Apêndice B.

Finalmente, nós concluímos que modelos estatísticos e dinâmicos, quando utilizados em conjunto com conhecimento sobre os processos subjacentes, e baseados em premissas de modelagem claras, podem ser ferramentas úteis para aumentar o entendimento sobre o processo de ocupação da Amazônia, e apropriadamente subsidiar políticas públicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. P. D.; CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M., 2003. Modeling spatial relations by generalized proximity matrices. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM ON GEOINFORMATICS, 5., 2003, Campos do Jordão. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003.

AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 19, n. 6, p. 716- 723, 1974.

ALVES, D. S. O Processo de desflorestamento na Amazônia. **Parcerias Estratégicas**. n. 12, p. 259-275, 2001.

ALVES, D. S. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazônia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 14, p. 2.903-2.908, 2002.

ANDERSEN, L.; GRANGER, C.; REIS, E.; WINHOLD, D.; WUNDER, S. **The dynamics of deforestation and economic growth in the Brazilian Amazon**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

ANDERSEN, L.; REIS, E. **Deforestation, development, and government policy in the Brazilian Amazon: an econometric analysis**. Rio de Janeiro: IPEA, 1997. (IPEA Report 76-1997).

ANSELIN, L. Spatial Econometrics. In: BATALGI, B.(ed.), **A companion to theoretical econometrics**. Oxford: Basil Blackwell, 2001. p. 310-330.

ARIMA, E.; BARRETO, P.; BRITO, M., **Pecuária na Amazônia: tendências e implicações para a conservação ambiental**. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente na Amazônia, 2005.

BAILEY, T.; GATTREL, A. **Spatial data analysis by example**. London: Longman, 1995.

BARBIER, E. B.; BURGESS, J. C. The economics of tropical deforestation. **Journal of Economic Surveys**, v. 15, n. 3, p.413-433, 2001.

BECKER, B. **Amazônia**. 5 ed. São Paulo: Ática, 1997. np. 112.

BECKER, B. **Amazônia**: geopolítica na virada do III milênio. Rio de Janeiro: Garamond, 2004. np. 172.

BECKER, B. Cenários de curto prazo para o desenvolvimento da Amazônia. **Cadernos IPPUR**, Ano XIV, n. 1, 2000.

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

BECKER, B. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários? **Parcerias Estratégicas**, n.12, p. 135-159, 2001.

BRASIL - Grupo Permanente de Trabalho interministerial para a redução dos índices de desflorestamento da Amazônia Legal. **Plano de Ação para a prevenção e controle do desflorestamento na Amazônia Legal**, 2004. Disponível em:
www.presidencia.gov.br/casacivil/desmat.pdf. Acesso: 8 de agosto 2006.

BRASIL - Grupo Permanente de Trabalho interministerial para a redução dos índices de desflorestamento da Amazônia Legal. **Tendências Desflorestamento 2004/2005 - Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desflorestamento na Amazônia**, 2005. Disponível em:
http://www.mma.gov.br/doc/tendencias_desflorestamento2004_2005.pdf. Acesso: 8 de agosto 2006.

BRIASSOULIS, H. **Analysis of land use change**: theoretical and modeling approaches. West Virginia: Regional Research Institute, West Virginia University, 2000.

BRITO, M. S. Políticas públicas e padrões de uso da terra na Amazônia Legal. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 57, n. 3, p. 73-93, 1995.

BROWN, K.; PEARCE, D. **The causes of tropical deforestation, the economic and statistical analysis of factors giving rise to the loss of tropical forests**. London: University College London Press, 1994.

COSTA, W. M. **O Estado e as políticas territoriais no Brasil**. São Paulo: Contexto, 1997.

COSTANZA, R.; RUTH, M. Using dynamic modeling to scope environmental problems and build consensus. **Environmental Management**, n. 22, p. 183-195, 1998.

DE KONING, G. H. J.; VERBURG, P.; VELDKAMP, A.; FRESCO, L. O. Multi-scale modeling of land use change dynamics in Ecuador. **Agricultural Systems**, v. 61, n.2, p. 77-93, 1999.

ESCADA, M. I.; VIEIRA, I. C.; KAMPEL, S.; ARAÚJO, R.; VEIGA, J. B.; AGUIAR, A. P. D.; VEIGA, I.; OLIVEIRA, M.; PEREIRA, J. G.; CARNEIRO, A.; FEARNSIDE, F. M.; VENTURIERI, A.; CARRIELLO, F.; THALES, M.; CARNEIRO, T. S.; MONTEIRO, A. M.; CÂMARA, C. Processos de ocupação nas novas fronteiras da Amazônia: o interflúvio do Xingu/ Iriri. **Estudos Avancados - Dossiê Amazônia Brasileira II**, v. 19, n. 54, p. 9-24, 2005.

ESCADA, M. I. S.; AGUIAR, A. P. D.; MONTEIRO, A. M. V. **O Avanço do desflorestamento na Amazônia no contexto das novas fronteiras**. Apresentado com audiovisual, Reunião Projeto Prodes, 2005. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/seminario2005/>. Acesso em: 07 agosto 2006.

FAMINOW, M. Spatial economics of local demand for cattle products in Amazon development. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 62, n. 1, p. 1-11, 1997.

FEARNSIDE, P. M. Spatial concentration of deforestation in the Brazilian Amazon. **Ambio**, v.15 , n. 2, p.72-79 , 1986.

FEARNSIDE, P. Deforestation in Brazilian Amazon: the effect of population and land tenure. **Ambio**, v. 22, n. 8, p. 537-545, 1993.

FEARNSIDE, F. M. Soybean cultivation as a threat to the environment in Brazil. **Environmental Conservation**, v. 28, n. 1, p. 23-38, 2001.

FERREIRA, V. L.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S. O desflorestamento na Amazônia e a importância das áreas protegidas. **Estudos Avançados - Dossiê Amazônia Brasileira I**, v. 19, n. 53, p. 157-166, 2005.

GEIST, H.; LAMBIN, E. F. **What drives tropical deforestation? a meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on sub-national case study evidence**. Lucc Report Series No. 4, 2001. Disponível em: <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/lucc.html> Louvain. Acesso: 31 out. 2005.

REDE TEMÁTICA DE PESQUISA EM MODELAGEM AMBIENTAL DA AMAZÔNIA (GEOMA). **Dinâmica Territorial e socioambiental nas frentes de ocupação e áreas consolidadas: os casos de São Felix do Xingu-Iriri e da região de Marabá**. Marabá: Ministério da Ciência e Tecnologia. 2003. Relatório do Seminário de Marabá,

GIBSON, C.; OSTROM, E.; AHN, T. K. The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey. **Ecological Economics**, n. 32, p. 217–239, 2000.

GUTMAN, G.; JANETOS, A.C.; JUSTICE, C.O.; MORAN, E.F.; MUSTARD, J.F.; RINDFUSS, R.R.; SKOLE, D.; TURNER II, B.L.; COCHRANE, M.A. (ed.). **Observing, monitoring and understanding trajectories of change on the earth's surface**, 2004. v.6, 461. Series: Remote Sensing and Digital Image Processing.

HOMMA, A.K.O. Prefácio. In: _____. **Amazônia: meio ambiente e desenvolvimento agrícola**. Brasília: Embrapa-CPI, Belém: Embrapa – CPTU, 1998. p. 7-21.

HOMMA, A.K.O.; WALKER, R.T.; SCATENA, F.N.; CONTO, A.J.; CARVALHO, R.A.; FERREIRA, C. A. P.; SANTOS, A.I.M. Redução dos desmatamentos na Amazônia: política agrícola ou ambiental. In: Homma, A.K.O. (Ed.). **Amazônia: meio ambiente e desenvolvimento agrícola**. Brasília: Emprapa-CPI, Belém: Embrapa – CPTU, 1998. p. 119-141.

HOMMA, A.K.O. **Histórico da agricultura na Amazônia: da era pré-colombiana ao terceiro milênio**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 2003, np. 274.

HOMMA, A.K.O. Como aproveitar os benefícios da destruição. **Estudos avançados - Dossiê Amazônia Brasileira II**, v. 19, n. 54, p. 115-135, 2005.

HOSHINO, S. Multilevel modeling on farmland distribution in Japan. **Land use policy**, v. 18, p.75-90, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Agropecuário 1996**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso: 8 agosto 2006.

_____. **Censo Demográfico 2000**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso: 8 agosto 2006.

_____. **Pesquisa agrícola municipal**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso: 8 agosto 2006.

_____. **Pesquisa pecuária municipal**. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso: 8 agosto 2006.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Projeto PRODES - monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite**, 2005. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/>. Acesso: 8 agosto 2006.

IRWIN, E.; GEOGHEGAN, J. Theory, data, methods: developing spatially-explicit economic models of land use change. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 85, p. 7–24, 2001.

KAIMOWITZ, D.; ANGELSEN, A. **Economic models of tropical deforestation: a review**. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR), 1998.

KIRBY, K. R.; LAURANCE, W. F.; ALBERNAZ, A. K.; SCHROTH, G.; FEARNSIDE, P. M.; BERGEN, S.; VENTICINQUE, E. M.; COSTA, C. D. The future of deforestation in the Brazilian Amazon. **Futures**, *in press*, 2006.

KOK, K.; FARROW, A.; VELDKAMP, A.; VERBURG, P. H. A method and application of multi-scale validation in spatial land use models. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 85, p. 223-238, 2001.

KOK, K.; VELDKAMP, A. Evaluating impact of spatial scales on land use pattern analysis in Central America. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 85, p. 205–221, 2001.

LAMBIN, E. Modeling and Monitoring land-cover change processes in tropical regions. **Progress in Physical Geography**, v. 21, n. 3, p. 375-393, 1997.

LAMBIN, E.; ROUNSEVELL, M. D. A.; GEIST, H. J. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? **Agriculture, Ecosystems and Environment**, 82: 321–331, 2000.

LAMBIN, E. F.; GEIST, H. J. Global land-use and cover change: What have we learned so far? **Global Change Newsletter**, n. 46, 2001.

LAMBIN, E. F.; TURNER, B. L. I.; GEIST, H. J.; AGBOLA, S. B.; ANGELSEN, A.; BRUCE, J. W.; COOMES, O.; DIRZO, R.; FISCHER, G.; FOLKE, C.; GEORGE, P. S.; HOMEWODD, K.; IMBERNON, J.; LEEMANS, R.; LI, X.; MORAN, E. F.; MORTIMORE, M.; RAMAKRISHNAN, P. S.; RICHARDS, J. F.; SKÅNES, H.; STEFFEN, W.; STONE, G. D.; SVEDIN, U.; VELDKAMP, T. A.; VOGEL, C.; XU, J. The causes of land-use and land-cover change. moving beyond the myths. **Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions**, v. 4, 2001.

- LAMBIN, E.; GEIST, H. J. Regional differences in tropical deforestation. **Environemt**, v. 45, n. 6, p. 22-36, 2003.
- LAURANCE, W.; ALBERNAZ, A. K.; SCHROTH, G.; FEARNSTIDE, P. M.; BERGEN, S.; VENTICINQUE, E.; DACOSTA, C. Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Biogeography**, v. 29, p. 737-748, 2002.
- LAURANCE, W.; COCHRANE, M.; BERGEN, S.; FEARNSTIDE, P.; DELAMONICA, P.; BARBER, C.; D'ANGELO, S.; FERNANDES, T. The future of the Brazilian Amazon. **Science**, v. 291, p. 438-439, 2001.
- LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; PEREIRA, D. The expansion of logging in the Brazilian Amazon. **State of the Amazon**, n. 2, 2005.
- MACHADO, L. A fronteira agrícola na Amazônia. In: BECKER, B. K.; CHRISTOFOLETTI, A.; DAVIDOCH, F. R.; GEIGER, R. P. P. (Eds.). **Geografia e meio ambiente no Brasil**, p. 181-217. 1998.
- MARGULIS, S. **Causes of deforestation in Brazilian Amazon**. World Bank Working Paper 22. Washington: World Bank, 2004.
- MERTENS, B.; POCCARD-CHAPUIS, R.; PIKETTY, M. G.; LACQUES, A. E.; VENTURIERI, A. Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation process in the Brazilian Amazon: the case of São Felix do Xingu in South Pará. **Agricultural Economics**, v. 27, p. 269-294, 2002.
- MORAN, E. **Developing the Amazon: the social and ecological impact of settlement along the Transamazon highway**. Indiana: Indiana University Press, 1981.
- NELSON, B.W.; OLIVEIRA, A.A. Área botânica. In: CAPOBIANCO, J.P.R.; VERÍSSIMO, A.; MOREIRA, A.; DOS SANTOS, I.; PINTO, L.P.; SAWYER, D. (eds). **Biodiversidade na Amazônia brasileira**. São Paulo: Editora Estação Liberdade & Instituto Socioambiental, p. 132-176, 2001.

NEPSTAD, D.; CARVALHO, G.; BARROS, A. C.; ALENCAR, A.; CAPOBIANCO, J. P.; BISHOP, J.; MOUTINHO, P.; LEFEBVRE, P.; SILVA-JR., U. L.; PRINS, E. Road Paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon Forests. **Forest Ecology and Management**, v. 154, p. 395-407, 2001.

NEPSTAD, D.; VERISSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, v. 6727, p. 505-507, 1999.

OVERMARS, K. P.; KONING, G. H. J. D.; VELDKAMP, A. Spatial autocorrelation in multi-scale land use models. **Ecological Modeling**, v. 164, p. 257-270, 2003.

PARKER, D. C.; BERGER, T.; MANSON, S.; MCCONNEL, S. **Agent-based models of land-use /land-cover change**. 2001. LUCC Report Series no 6. Disponível em: <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/lucc.html>Louvain. Acesso: 31 outubro 2005.

PERZ, S. G.; SKOLE, D. L. Social determinants of secondary forests in the Brazilian Amazon. **Social Science Research**, v. 32, p. 25-60, 2003.

PFAFF, A. What drives deforestation in the Brazilian Amazon? evidence from satellite and socio-economic data. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 37, p. 26-43, 1999.

POCCARD-CHAPUIS, R. **Les réseaux de la conquête** - filières bovines et structuration de l'espace sur les fronts pionniers d'Amazonie Orientale brésilienne. Tese de Doutorado em Geografia. Paris, 2004.

REIS, E.; GUZMÁN, R. An econometric model of Amazon deforestation. In: BROWN, K.; PEARCE, D. (Eds.). **The causes of tropical deforestation, the economic and statistical analysis of factors giving rise to the loss of tropical forests**. London: University College London Press, 1994. p. 172-91.

- REIS, E.; MARGULIS, S. Options for slowing Amazon jungle clearing. In: DORNBUSCH, R.; POTERBA, J. M. (Eds.). **Global warming: economic policy responses**. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, p. 335-80, 1991.
- RIBEIRO, B., VERÍSSIMO, A., PEREIRA, K. O Avanço do desflorestamento sobre as áreas protegidas em Rondônia. **O Estado da Amazônia**. Imazon, 2005.
- SANCHEZ, P.A. **Properties and management of soil in tropics**. New York: John Wiley, 1976. np. 619.
- SANTILLI, M.; MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S.; NESPSTAD, D.; CURRAN, L.; NOBRE, C. Tropical Deforestation and the Kyoto Protocol: an editorial essay. **Climate Change**, v. 71, p. 267-276, 2005.
- SCHNEIDER, R. R.; ARIMA, E.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; SOUZA, JR. **Amazônia Sustentável: limitantes e oportunidades para o desenvolvimento rural**. Brasília: IMAZON, World Bank, 2000. Série Parcerias.
- SOARES-FILHO, B.; CERQUEIRA, G.; PENNACHIN, C. Dinâmica – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modeling**, v. 154, n. 3, p. 217-235, 2002.
- SOARES-FILHO, B.; NEPSTAD, D.; CURRAN, L.; CERQUEIRA, G.; GARCIA, R.; RAMOS, C. A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESSINGER, P. Modeling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, n. 7083, p. 520-523, 2006.
- THERY, H. Situações da Amazônia no Brasil e no continente. **Estudos Avançados - Dossiê Amazônia Brasileira I**, v. 19, n. 53, p. 37-49, 2005.
- VEIGA, J.B.; ALVES, A.M., POCCARD-CHAPUIS, R., THALES, M.C.; DA COSTA, P.A.; GRIJALVA, J.O.; CHAMBA, T.V.; COSTA, R.M.; PIKETTY, M.-G.; TOURRAND, J.-F. **Cattle ranching, land use and deforestation in Brazil, Peru and Ecuador**. Gainesville: Annual report for the Inter-American Institute, USA, 2001.

VELDKAMP, A.; FRESCO, L. CLUE-CR: an integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica. **Ecological Modeling**, v. 91, p. 231-248, 1996.

VELDKAMP, A.; LAMBIN, E. Predicting land-use change. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 85, p. 1-6, 2001.

VELDKAMP, A.; VERBURG, P.; KOK, K.; DE KONING, G.; PRIESS, J.; BERGSMA, A. The need for scale sensitive approaches in spatially explicit land use change modeling. **Environmental Modeling and Assessment**, v. 6, p. 111-121, 2001.

VERBURG, P.; DE KONING, G.; KOK, K.; VELDKAMP, A.; BOUMA, J. A spatial explicit allocation procedure for modeling the pattern of land use change based upon actual land use. **Ecological Modeling**, v. 116, p. 45-61, 1999a.

VERBURG, P.; VELDKAMP, A.; FRESCO, L. O. Simulation of changes in the spatial pattern of land use in China. **Applied Geography**, v. 19, p. 211–233, 1999b.

VERBURG, P.; VELDKAMP, A. The role of spatially explicit models in land-use change research: a case study for cropping patterns in China. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 85, p. 177–190, 2001.

VERBURG, P. H.; SCHOT, P. P.; DIJST, M. J.; VELDKAMP, A. Land use change modeling: current practice and research priorities. **GeoJournal**, v. 61, n. 4, p. 309-324, 2004.

VIEIRA, I.C.G.; SILVA, J.M.C.; TOLEDO, P.M. Estratégias para evitar a perda da biodiversidade na Amazônia. **Estudos Avançados - Dossiê Amazônia Brasileira II**, v. 19, n. 54, p. 153-182, 2005.

WALKER, R. T.; MORAN, E.; ANSELIN, L. Deforestation and Cattle Ranching in the Brazilian Amazon: External Capital and Household Processes. **World Development**, v. 28, n. 4, p. 683-69, 2000.

APÊNDICE A

INTEGRAÇÃO DE DADOS DO CENSO AGROPECUÁRIO E MAPA BASEADO EM DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

As variáveis dependentes utilizadas nas análises dos Capítulos 4 e 5 representam a porcentagem área de diferentes classes de uso em cada uma das células. Elas são calculadas combinando informações sobre área das diferentes classes de uso por município (em km²), obtidas no Censo Agropecuário do IBGE de 1996 (IBGE, 1996), com dados de desflorestamento do Projeto PRODES, referente à extensão total de área desflorestada até 1997 (INPE, 2005), visando localizar melhor classe de uso dentro dos municípios, como ilustra a Figura A.1.

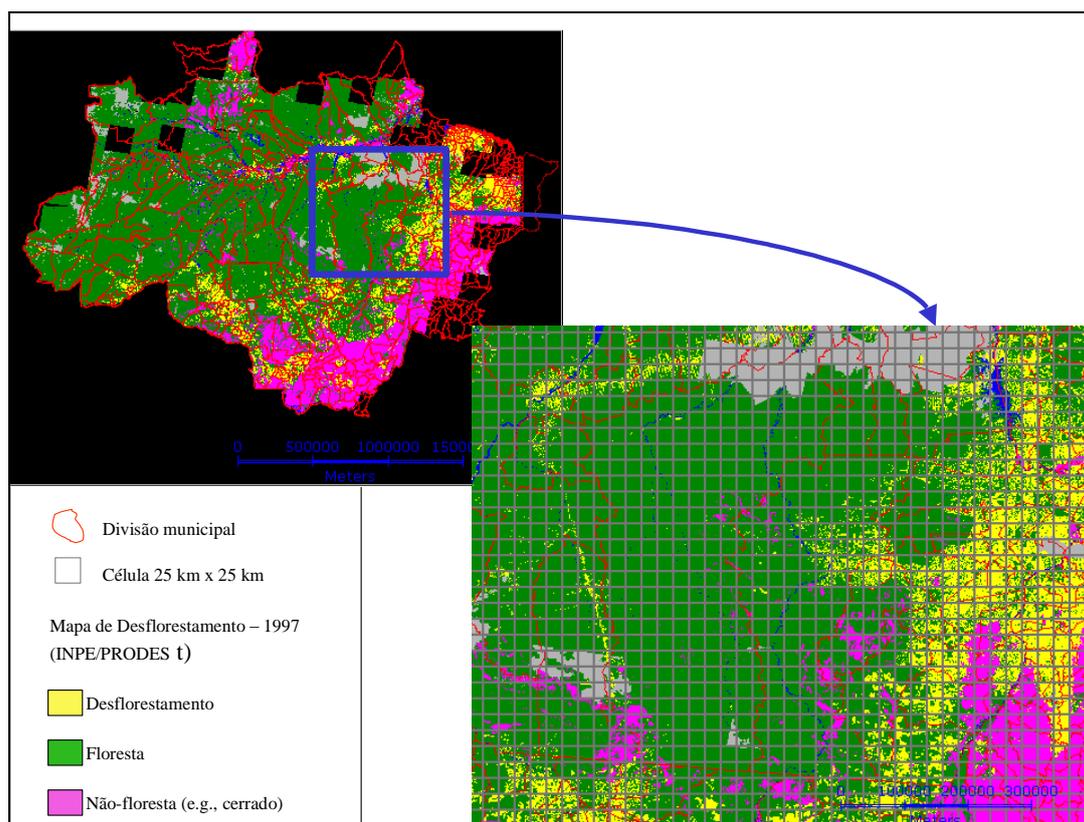


FIGURA A.1 - Exemplo de localização de áreas desflorestadas dentro de municípios.

O mapeamento adotado entre classes as do IBGE e PRODES é apresentado na tabela abaixo:

TABELA A.1 - Mapeamento entre classes de cobertura da terra do PRODES e do IBGE.

Classes da análise	Classes do PRODES	Classes do IBGE
a) <i>Floresta</i>	Floresta	Matas Naturais
b) <i>Pastagem Plantada</i>	Desflorestamento	Pastagens plantadas
c) <i>Culturas anuais</i>		Lavouras temporárias e Terras em descanso ¹⁵
d) <i>Culturas permanentes</i>		Lavouras permanentes
e) <i>Matas plantadas</i>		Matas plantadas
f) <i>Não utilizadas</i>		Terras produtivas não utilizadas ¹⁶
g) <i>Outros</i>		Não-floresta (cerrado e campos).
	Outros	Terras inaproveitáveis.
	Hidrologia	Terras inaproveitáveis
	Cidades	Terras inaproveitáveis
	Nuvens	-
	No data	-

Abaixo é descrito o processo básico pelo qual são combinadas as informações do censo agropecuário e do PRODES para cálculo das porcentagens de classe por célula na resolução 25 x 25 km:

- Classe *Floresta* (a): para cada célula, usando somente dados do PRODES 97:

¹⁵ Não utilizadas em menos de 4 anos.

¹⁶ Não utilizadas por mais de 4 anos.

¹⁷ Premissa adotada: áreas declaradas por produtores como pastagens naturais ocorrem, na sua maior parte, nas áreas de cerrado.

$$\% \text{floresta} = \text{area}(\text{forest}_{\text{prodes}}) / \text{area}(\text{celula})$$

(1)

- Classe *Outros* (g) : para cada célula, usando somente dados do PRODES 97:

$$\% \text{outros} = \text{area}(\text{non-forest}_{\text{prodes}} + \text{others}_{\text{prodes}} + \text{hydrology}_{\text{prodes}} + \text{cities}_{\text{prodes}} + \text{clouds}_{\text{prodes}}) / \text{area}(\text{celula})$$

(2)

- Classe *Desflorestamento*: para cada célula, usando somente dados do PRODES 97:

$$\% \text{desflorestamento} = \text{area}(\text{deforest}_{\text{prodes}}) / \text{area}(\text{celula})$$

(3)

- Para as classes (b) a (f), *Pastagem Plantada, Cultura Anual, Cultura Permanente, Mata Plantada, Não utilizada* os dados do PRODES 97 são utilizados como base para a distribuição espacial dos dados de censo somente em áreas realmente desflorestadas, como ilustra a Figura A.2 abaixo. Para cada célula:

$$\%c_i = \sum_{\text{mun}_j} [(\text{def_cell_mun}_j / \text{cell_area_mun}_j) * (\text{area_c}_i_mun_j / \text{area_tot_uso_mun}_j)]$$

onde,

$\%c_i$: porcentagem de cada uma classes de uso i (classes (b) a (f)) em uma célula;

def_cell_mun_j = área desflorestada dentro da célula E do município j;

cell_area_mun_j = área da célula dentro do município j (área de intersecção);

$\text{area_c}_i_mun_j$ = área da classe i no município j de acordo com os dados de censo;

$\text{area_tot_uso_mun}_j$ = soma das áreas das classes b a f no município j de acordo com dados de censo;



FIGURA A.2 - Representação esquemática da combinação de dados de censo e PRODES.

Este processo distribui a porcentagem de cada classe de uso fornecida pelo censo nas áreas desflorestadas de cada município. Esta porcentagem se refere ao total da área das classes de interesse (i.e., soma das áreas Pastagens plantadas, Lavouras temporárias e Terras em descanso, Lavouras permanentes, Matas plantadas, Terras produtivas não utilizadas em cada município), e não ao total da área do município levantada pelo censo. Assim, mesmo que existem discrepâncias em alguns municípios em termos absolutos nos valores de áreas desflorestadas do PRODES e de áreas em uso nos dados do censo, a premissa básica é que as porcentagens relativas entre as classes mencionadas acima estão corretas nos dados de censo. Os valores calculados deste modo são então agregados (usando uma operação de média) para células de 100 x 100 km.

Finalmente, cabe notar que as análises estatísticas serão realizadas apenas para os padrões de ocupação nas áreas originais de fisionomia florestal (correspondendo às classes Floresta e Desflorestamento do PRODES), por não estarem disponíveis dados compatíveis com os do PRODES sobre a localização dos desmatamentos em outras fisionomias vegetais, como o cerrado. Inicialmente foi adotado o procedimento de excluir células com mais de 20% da classe *Outros* (item g da tabela acima, correspondendo às classes Não-floresta, Outros, Hidrologia, Cidades, Nuvens e No data do PRODES 97). Mas, em especial na resolução de 100 x 100 km, muitas células são excluídas da análise devido a esta restrição. Então, optou-se pela adoção de um

procedimento alternativo, similar ao adotado por Perz e Skole (2003): descartar da análise células com proporção da classe *Outros* superior a 50%; nas demais células, recalculer a proporção das seis classes de interesse, de (a) a (f) subtraindo a área da classe *Outros* encontrada em cada célula (isto é, do valor $cell_area_mun_j$ da equação (4) será substituído por um outro valor que indique a área do município que intercepta a célula menos a área da classe *Outros* nesta área de intersecção).

As porcentagens das classes Desflorestamento e Floresta serão então recalculadas também, removendo a área da classe *Outros* da área total da célula, no denominador das fórmulas (1) e (3). Vale notar que este procedimento apresenta como desvantagem a modificação não linear das porcentagens de desflorestamento entre as diferentes células, dependendo da porcentagem coberta pela classe *Outros*. Em áreas de nuvens, este procedimento assume que as áreas cobertas possuem as mesmas proporções de floresta/desflorestamento do restante da célula. O mesmo para áreas fora da Amazônia Legal. Nas áreas de cerrado, supõe-se um processo de ocupação semelhante ou superior aos das áreas de floresta na mesma célula. A principal desvantagem deste procedimento concentra-se no incremento da área desflorestada em células com alta porcentagem da classe Hidrologia do PRODES 1997, em especial nas margens dos grandes rios (e.g., Rio Amazonas).

APÊNDICE B

PROCESSO DE MODELAGEM: EXEMPLO DE LISTA INICIAL DE FATORES DETERMINANTES CANDIDATOS

TABELA B.1 – Lista de potenciais fatores determinantes compilada com base na literatura como parte do processo de modelagem.

Categoria	Fator	Variáveis
Políticos	Projetos de assentamentos	Quantidade total de pessoas assentadas
		Quantidade de lotes
		Quantidade de pessoas assentadas por há
		Quantidade de assentamentos na célula até determinada data
		Tamanho médio dos lotes
		Pressão de assentamentos vizinhos (função de vizinhança de uma das variáveis)
		Índice qualitativo de sucesso do assentamento (e.g., permanência, qualidade de vida, etc.)
	Áreas protegidas	Presença de unidades de conservação (talvez por tipo de unidade)
		Porcentagem de unidades de conservação (talvez por tipo de unidade)
	Outras Instituições	Distância a determinado tipo de instituição (e.g., extensão rural, crédito, cooperativa)
		Índice qualitativo de eficácia de instituições (e.g., extensão agrícola, crédito, etc.)
	Projetos de Desenvolvimento Sustentável	Presença de projetos de desenvolvimento sustentável
		Quantidade de projetos de desenvolvimento sustentável
		Quantidade de pessoas atendidas em projetos de desenvolvimento sustentável
		Área afetada por projetos sustentáveis
	Políticas de incentivos fiscais/credito	Quantidade de crédito para atividades
		Existência de incentivos a determinada atividade

Demográficos	Crescimento populacional	Rural - Local e pressão da vizinhança
		Urbano - Local e pressão da vizinhança
		Total - Local e pressão da vizinhança
	Densidade populacional	Rural - Local e pressão da vizinhança
		Urbano - Local e pressão da vizinhança
		Total - Local e pressão da vizinhança
Fluxos migratórios	Crescimento populacional devido à migração	
	Quantidade de migrantes	
Estrutura agrária	Indicador de tipo de produtor	Numero médio de trabalhadores por propriedade
		Tamanho médio das propriedades
	Índices de concentração de terras	Tamanho médio das propriedades (evolução no tempo)
	Índice de abandono	Porcentagem de áreas de rebrota
	Índice de intensificação de pecuária	Aumento do número de cabeças nos últimos 10 anos
		Aumento na produção de produtos da pecuária/total da área cultivada
Índice de intensificação da agricultura	Aumento na produção total (ou por produtos)/quantidade de área cultivada	
Econômicos	Inserção em cadeias produtivas	Proximidade a nós das cadeias produtivas (insumos, processamento e distribuição)
	Acessibilidade a mercados	Proximidade a centros urbanos
		Proximidade a grandes centros
		Proximidade a grandes centros nacionais
		Proximidade a mercados internacionais
	Infraestrutura local	Distância a via de acesso mais próxima (estradas, portos locais, estações ferroviárias)
		Distância a área urbana (e.g., vila) mais próxima
		Presença de Energia, telefonia, etc,
		Tempo desde a instalação de energia
		Distância mínima a lugares a pontos de distribuição de energia
		Quantidade de estradas na célula
	Relação com outras cadeias produtivas	Distância a polos madeireiros
		Área de influência de madeiras (categórica)

		Classificação em relação ao tipo de exploração madeireira nas proximidades (predatória, manejada).
		Distância a áreas de exploração de minérios
Ambientais	Solo	Classificação de fertilidade
		Classificação de pH
		Tipo de solo
		Textura
		Retenção de água
		Profundidade das raízes
		Risco de erosão
		Classe de drenagem
	Clima	Número de meses sem chuva
		Precipitação média
		Temperatura média
	Vegetação	Tipo de vegetação
		Classificação de vegetação em termos de interesse econômico
	Hidrografia	Presença de grandes rios
		Distância a fontes de água
		Porcentagem de área inundável na célula (talvez categorizar em probabilidade de inundação 0 a 100 anos)
	Geologia	Rochas de origem terciária
		Rochas de origem quaternária
		outros (ver trabalho CLUE-S nas Filipinas)
	Geomorfologia	Classes de relevo
Topografia	Declividade	
	Altitude	
	Aspecto	
Perturbação	Distância à frente de ocupação	
	Fragmentação da Floresta	
Biodiversidade	Índice de Biodiversidade	
Sociais	Saúde	Presença de endemias/epidemias
		Mortalidade infantil
		Expectativa de vida
	Pragas	Presença de pragas em culturas agrícolas
	Renda per capita	Renda per capita média
Categorias que indiquem a distribuição de renda na sociedade		

Educação	Grau de instrução médio
	Número de crianças fora da escola
Qualidade de vida	Índice de Desenvolvimento Humano
	Porcentagem da população vivendo na pobreza
Emprego	Porcentagem da população empregada nos diversos setores (agricultura, serviços, comércio)
	Taxa de desemprego
Conflitos de terra	Número de conflitos ou de mortos
Histórico de trabalho escravo	Número de autuações

APÊNDICE C

MATRIZES DE CORRELAÇÃO

TABELA C. 1 – Correlações entre variáveis dependentes e explanatórias potenciais, com transformações logarítmicas.

	luc_def	log10	luc_past	log10	luc_temp	log10	luc_perm	log10	
<i>Acessibilidade a mercados</i>									
	dist_urban_areas	-0.50	-0.61	-0.45	-0.56	-0.38	-0.58	-0.29	-0.49
	dist_roads	-0.43	-0.52	-0.40	-0.54	-0.28	-0.43	-0.21	-0.36
	dist_non_paved_road	-0.38	-0.47	-0.36	-0.50	-0.23	-0.38	-0.21	-0.34
	dist_paved_roads	-0.48	-0.54	-0.45	-0.57	-0.33	-0.47	-0.23	-0.36
	dist_large_rivers	0.08	0.08	0.13	0.12	0.04	0.07	-0.04	-0.05
	dist_railroads	-0.47	-0.44	-0.46	-0.53	-0.31	-0.36	-0.10	-0.18
x	conn_ports	0.20	0.23	0.07	0.18	0.26	0.28	0.36	0.37
x	conn_markets	0.64	0.62	0.60	0.68	0.49	0.55	0.18	0.31
x	conn_sp	0.54	0.58	0.57	0.66	0.31	0.45	0.14	0.26
x	conn_ne	0.64	0.56	0.55	0.61	0.54	0.54	0.19	0.30
x	log_dist_urban_areas	-0.67	-0.71	-0.59	-0.65	-0.54	-0.70	-0.41	-0.62
x	log_dist_roads	-0.60	-0.65	-0.55	-0.65	-0.42	-0.59	-0.35	-0.53
x	log_dist_non_paved_road	-0.46	-0.54	-0.43	-0.54	-0.28	-0.47	-0.31	-0.46
x	log_dist_paved_roads	-0.64	-0.63	-0.58	-0.64	-0.47	-0.59	-0.33	-0.47
x	log_dist_large_rivers	0.01	-0.02	0.07	0.06	-0.04	-0.05	-0.10	-0.15
x	log_dist_railroads	-0.52	-0.43	-0.51	-0.48	-0.36	-0.39	-0.05	-0.16
	log_conn_ports	0.28	0.32	0.17	0.29	0.27	0.32	0.30	0.35
	log_conn_markets	0.49	0.51	0.47	0.57	0.35	0.43	0.15	0.25
	log_conn_sp	0.43	0.47	0.44	0.54	0.25	0.36	0.12	0.21
	log_conn_ne	0.53	0.50	0.48	0.57	0.41	0.45	0.16	0.25
<i>Atratividade econômica</i>									
	dist_wood_extr_poles	-0.33	-0.43	-0.32	-0.47	-0.19	-0.32	-0.19	-0.28
	dist_min_deposits	-0.26	-0.27	-0.28	-0.36	-0.12	-0.17	-0.09	-0.15
x	log_dist_wood_extr_poles	-0.43	-0.54	-0.41	-0.58	-0.25	-0.43	-0.31	-0.43
x	log_dist_min_deposits	-0.28	-0.28	-0.33	-0.36	-0.08	-0.18	-0.11	-0.17
<i>Demográficos</i>									
	pop_dens_91	0.29	0.22	0.19	0.18	0.28	0.25	0.42	0.28
	pop_dens_96	0.30	0.23	0.19	0.19	0.29	0.26	0.41	0.29
	pop_tx_urban_96	0.05	0.05	0.09	0.05	-0.03	0.01	-0.03	-0.04
	pop_pc_migr81_91	-0.18	-0.24	-0.19	-0.28	-0.09	-0.17	-0.09	-0.15
	pop_pc_migr_91_96	-0.10	-0.15	-0.07	-0.13	-0.11	-0.17	-0.10	-0.15
	pop_tot_var_91_81	0.30	0.26	0.23	0.23	0.21	0.26	0.43	0.31
x	log_pop_dens_91	0.50	0.48	0.44	0.47	0.40	0.49	0.31	0.44
x	log_pop_dens_96	0.63	0.60	0.54	0.59	0.52	0.62	0.42	0.54
x	log_pop_tx_urban_96	0.04	0.03	0.07	0.03	-0.03	0.01	-0.02	-0.02
x	log_pop_pc_migr81_91	-0.17	-0.23	-0.19	-0.28	-0.07	-0.16	-0.06	-0.12
x	log_pop_pc_migr_91_96	-0.04	-0.09	-0.02	-0.07	-0.04	-0.09	-0.09	-0.11

x	log_pop_tot_var_91_81	0.53	0.55	0.49	0.57	0.37	0.49	0.33	0.44
<i>Tecnológicos</i>									
	tech_tractor	0.17	0.26	0.18	0.29	0.20	0.22	-0.03	0.03
	tech_assistance	0.20	0.29	0.22	0.32	0.12	0.19	0.04	0.11
	tech_fertilizer	0.23	0.29	0.15	0.27	0.29	0.30	0.20	0.22
x	log_tech_tractor	0.35	0.44	0.40	0.53	0.14	0.27	0.08	0.16
x	log_tech_assistance	0.25	0.35	0.28	0.41	0.10	0.22	0.10	0.17
x	log_tech_fertilizer	0.30	0.37	0.27	0.41	0.21	0.29	0.19	0.24
<i>Estrutura Agrária</i>									
x	agr_area_small	-0.21	-0.31	-0.29	-0.39	0.00	-0.12	0.07	-0.02
x	agr_area_medium	0.10	0.01	0.09	0.02	0.09	0.08	0.04	0.06
x	agr_area_large	0.16	0.28	0.23	0.34	-0.03	0.08	-0.07	0.00
	agr_nr_small	-0.22	-0.33	-0.28	-0.40	-0.06	-0.18	0.08	-0.01
	agr_nr_medium	0.22	0.31	0.29	0.40	0.05	0.17	-0.07	0.01
	agr_nr_large	0.18	0.30	0.22	0.35	0.06	0.16	-0.07	-0.01
	log_agr_area_small	-0.16	-0.28	-0.22	-0.35	0.01	-0.08	0.10	0.04
	log_agr_area_medium	0.13	0.10	0.12	0.11	0.12	0.15	0.07	0.10
	log_agr_area_large	0.23	0.32	0.26	0.37	0.08	0.19	0.03	0.11
x	log_agr_nr_small	-0.18	-0.29	-0.23	-0.35	-0.09	-0.18	0.07	0.00
x	log_agr_nr_medium	0.24	0.33	0.29	0.42	0.07	0.19	0.01	0.08
x	log_agr_nr_large	0.28	0.38	0.33	0.47	0.08	0.22	0.01	0.10
<i>Políticas Públicas</i>									
	setl_nfamilies_70_99	0.34	0.32	0.34	0.35	0.27	0.32	0.12	0.24
	setl_area_70_99	0.13	0.15	0.13	0.18	0.10	0.15	0.07	0.13
x	prot_all1	-0.34	-0.40	-0.31	-0.39	-0.24	-0.37	-0.17	-0.30
x	prot_ti	-0.27	-0.34	-0.25	-0.32	-0.20	-0.31	-0.14	-0.25
x	prot_cu	-0.18	-0.20	-0.17	-0.21	-0.12	-0.18	-0.08	-0.14
x	log_setl	0.42	0.42	0.42	0.47	0.29	0.40	0.14	0.29
x	log_setl_area_70_99	0.26	0.31	0.27	0.36	0.16	0.26	0.06	0.16
	log_prot_all1	-0.34	-0.36	-0.32	-0.36	-0.24	-0.33	-0.15	-0.25
	log_prot_ti	-0.27	-0.29	-0.25	-0.29	-0.20	-0.27	-0.13	-0.22
	log_prot_cu								
<i>Ambientais</i>									
x	clima_humi_min_3_ave	-0.47	-0.48	-0.48	-0.54	-0.33	-0.40	-0.02	-0.15
x	clima_precip_min_3_ave	-0.38	-0.41	-0.43	-0.52	-0.17	-0.27	-0.03	-0.12
x	clima_temp_min_3_ave	-0.27	-0.32	-0.33	-0.37	-0.12	-0.24	-0.03	-0.11
x	soils_fert_B1	0.44	0.40	0.37	0.42	0.36	0.37	0.30	0.33
x	soils_fert_B2	-0.33	-0.31	-0.25	-0.28	-0.31	-0.33	-0.26	-0.31
x	soils_fert_B3	-0.14	-0.10	-0.16	-0.19	-0.05	-0.04	-0.04	-0.02
	log_clima_humi_min_3_ave	-0.47	-0.47	-0.48	-0.54	-0.34	-0.40	-0.02	-0.14
	log_clima_precip_min_3_ave	-0.42	-0.46	-0.48	-0.57	-0.21	-0.32	-0.03	-0.14
	log_clima_temp_min_3_ave	-0.28	-0.32	-0.33	-0.37	-0.12	-0.25	-0.03	-0.11
	log_soils_fert_B1	0.43	0.42	0.37	0.45	0.35	0.38	0.26	0.31
	log_soils_fert_B2	-0.33	-0.25	-0.26	-0.24	-0.28	-0.26	-0.28	-0.27
	log_soils_fert_B3	-0.17	-0.14	-0.20	-0.24	-0.05	-0.06	-0.04	-0.04

TABELA C.2 – Matriz de correlação entre variáveis explanatórias potenciais na Amazônia.

	agr_area_small	log_setl	prot_all1	conn_ports	conn_mkt	clima_humid	clima_precip	soils_fert_B1	soils_fert_B3	log_pop_dens_96	log_pop_tot_var_91_81	log_tech_tractor	log_tech_fertilizer	log_agr_nr_large	log_dist_wood_extr_poles	log_dist_urban_areas	log_dist_roads	log_dist_non_paved_road	log_dist_paved_roads	log_dist_large_rivers	log_dist_min_deposits	log_dist_railroads
agr_area_small	1.00	-0.19	0.06	0.06	-0.49	0.47	0.66	-0.20	0.30	-0.15	-0.32	-0.82	-0.51	-0.86	0.49	0.14	0.31	0.29	0.30	-0.11	0.36	0.32
log_setl	-0.19	1.00	-0.17	0.09	0.42	-0.28	-0.36	0.21	-0.18	0.48	0.46	0.27	0.28	0.30	-0.34	-0.33	-0.43	-0.36	-0.41	0.03	-0.33	-0.45
prot_all1	0.06	-0.17	1.00	-0.12	-0.27	0.21	0.15	-0.12	-0.02	-0.22	-0.20	-0.16	-0.21	-0.14	0.27	0.33	0.27	0.22	0.25	0.03	0.12	0.13
conn_ports	0.06	0.09	-0.12	1.00	0.07	-0.02	0.01	0.06	-0.06	0.36	0.26	0.05	0.26	0.06	-0.33	-0.24	-0.31	-0.21	-0.34	-0.24	-0.13	-0.11
conn_mkt	-0.49	0.42	-0.27	0.07	1.00	-0.70	-0.63	0.40	-0.24	0.54	0.55	0.61	0.51	0.55	-0.54	-0.44	-0.56	-0.45	-0.64	0.22	-0.29	-0.53
clima_humid	0.47	-0.28	0.21	-0.02	-0.70	1.00	0.67	-0.28	0.24	-0.37	-0.31	-0.58	-0.51	-0.54	0.37	0.31	0.34	0.27	0.44	-0.26	0.21	0.53
clima_precip	0.66	-0.36	0.15	0.01	-0.63	0.67	1.00	-0.29	0.38	-0.24	-0.32	-0.68	-0.63	-0.74	0.56	0.20	0.44	0.38	0.49	-0.25	0.56	0.45
soils_fert_B1	-0.20	0.21	-0.12	0.06	0.40	-0.28	-0.29	1.00	-0.14	0.31	0.30	0.32	0.27	0.25	-0.29	-0.32	-0.31	-0.31	-0.28	0.13	-0.15	-0.18
soils_fert_B3	0.30	-0.18	-0.02	-0.06	-0.24	0.24	0.38	-0.14	1.00	-0.12	-0.19	-0.33	-0.36	-0.39	0.27	-0.07	0.22	0.22	0.17	-0.11	0.36	0.25
log_pop_dens_96	-0.15	0.48	-0.22	0.36	0.54	-0.37	-0.24	0.31	-0.12	1.00	0.77	0.29	0.38	0.27	-0.49	-0.56	-0.53	-0.39	-0.64	-0.05	-0.29	-0.50
log_pop_tot_var_91_81	-0.32	0.46	-0.20	0.26	0.55	-0.31	-0.32	0.30	-0.19	0.77	1.00	0.50	0.42	0.41	-0.59	-0.48	-0.51	-0.40	-0.57	-0.05	-0.36	-0.44
log_tech_tractor	-0.82	0.27	-0.16	0.05	0.61	-0.58	-0.68	0.32	-0.33	0.29	0.50	1.00	0.72	0.83	-0.63	-0.25	-0.40	-0.36	-0.41	0.10	-0.39	-0.35
log_tech_fertilizer	-0.51	0.28	-0.21	0.26	0.51	-0.51	-0.63	0.27	-0.36	0.38	0.42	0.72	1.00	0.70	-0.64	-0.19	-0.45	-0.40	-0.45	0.02	-0.49	-0.34
log_agr_nr_large	-0.86	0.30	-0.14	0.06	0.55	-0.54	-0.74	0.25	-0.39	0.27	0.41	0.83	0.70	1.00	-0.59	-0.19	-0.45	-0.43	-0.40	0.11	-0.50	-0.40
log_dist_wood_extr_poles	0.49	-0.34	0.27	-0.33	-0.54	0.37	0.56	-0.29	0.27	-0.49	-0.59	-0.63	-0.64	-0.59	1.00	0.46	0.58	0.53	0.56	0.02	0.46	0.35
log_dist_urban_areas	0.14	-0.33	0.33	-0.24	-0.44	0.31	0.20	-0.32	-0.07	-0.56	-0.48	-0.25	-0.19	-0.19	0.46	1.00	0.58	0.48	0.57	0.08	0.14	0.31
log_dist_roads	0.31	-0.43	0.27	-0.31	-0.56	0.34	0.44	-0.31	0.22	-0.53	-0.51	-0.40	-0.45	-0.45	0.58	0.58	1.00	0.86	0.72	0.03	0.38	0.35
log_dist_non_paved_road	0.29	-0.36	0.22	-0.21	-0.45	0.27	0.38	-0.31	0.22	-0.39	-0.40	-0.36	-0.40	-0.43	0.53	0.48	0.86	1.00	0.40	0.05	0.33	0.24
log_dist_paved_roads	0.30	-0.41	0.25	-0.34	-0.64	0.44	0.49	-0.28	0.17	-0.64	-0.57	-0.41	-0.45	-0.40	0.56	0.57	0.72	0.40	1.00	-0.11	0.32	0.47
log_dist_large_rivers	-0.11	0.03	0.03	-0.24	0.22	-0.26	-0.25	0.13	-0.11	-0.05	-0.05	0.10	0.02	0.11	0.02	0.08	0.03	0.05	-0.11	1.00	0.03	-0.02
log_dist_min_deposits	0.36	-0.33	0.12	-0.13	-0.29	0.21	0.56	-0.15	0.36	-0.29	-0.36	-0.39	-0.49	-0.50	0.46	0.14	0.38	0.33	0.32	0.03	1.00	0.42
log_dist_railroads	0.32	-0.45	0.13	-0.11	-0.53	0.53	0.45	-0.18	0.25	-0.50	-0.44	-0.35	-0.34	-0.40	0.35	0.31	0.35	0.24	0.47	-0.02	0.42	1.00

TABELA C.3 – Matriz de correlação entre variáveis explanatórias potenciais no Arco.

	agr_area_small	log_setl	prot_all1	conn_ports	conn_mkt	clima_humid	clima_precip	soils_fert_B1	soils_fert_B3	log_pop_dens_96	log_pop_tot_var_91_8	log_tech_tractor	log_tech_fertilizer	log_agr_nr_large	log_dist_wood_extr_p	log_dist_urban_areas	log_dist_roads	log_dist_non_paved_r	log_dist_paved_roads	log_dist_large_rivers	log_dist_min_deposits	log_dist_railroads
agr_area_small	1.00	0.31	-0.02	0.32	0.08	0.26	0.39	0.14	0.09	0.53	0.30	-0.76	-0.26	-0.90	-0.03	-0.30	-0.29	-0.16	-0.32	-0.19	-0.17	-0.21
log_setl	0.31	1.00	-0.13	0.02	0.20	-0.04	-0.02	0.05	-0.02	0.39	0.31	-0.27	-0.15	-0.29	0.04	-0.23	-0.27	-0.18	-0.26	-0.08	-0.11	-0.33
prot_all1	-0.02	-0.13	1.00	-0.06	-0.22	0.06	-0.05	-0.13	0.06	-0.14	-0.16	-0.11	-0.13	-0.03	0.13	0.28	0.20	0.14	0.18	0.12	0.05	0.11
conn_ports	0.32	0.02	-0.06	1.00	-0.08	0.28	0.43	0.05	0.15	0.32	0.27	-0.20	0.07	-0.32	-0.14	-0.19	-0.20	0.02	-0.30	-0.32	-0.12	-0.07
conn_mkt	0.08	0.20	-0.22	-0.08	1.00	-0.60	-0.24	0.21	-0.13	0.44	0.31	0.09	0.16	-0.03	0.18	-0.43	-0.40	-0.26	-0.45	0.15	0.06	-0.44
clima_humid	0.26	-0.04	0.06	0.28	-0.60	1.00	0.63	-0.07	0.14	0.03	0.14	-0.39	-0.20	-0.31	-0.34	0.15	0.05	0.05	0.05	-0.33	-0.38	0.28
clima_precip	0.39	-0.02	-0.05	0.43	-0.24	0.63	1.00	-0.07	0.17	0.24	0.15	-0.40	-0.15	-0.41	-0.13	0.01	-0.05	0.03	-0.10	-0.34	-0.03	-0.09
soils_fert_B1	0.14	0.05	-0.13	0.05	0.21	-0.07	-0.07	1.00	-0.06	0.21	0.17	0.09	0.20	-0.06	-0.08	-0.28	-0.19	-0.27	-0.13	0.21	0.06	0.05
soils_fert_B3	0.09	-0.02	0.06	0.15	-0.13	0.14	0.17	-0.06	1.00	0.03	-0.09	-0.19	-0.14	-0.13	0.06	0.05	0.05	0.11	0.00	-0.08	0.08	0.03
log_pop_dens_96	0.53	0.39	-0.14	0.32	0.44	0.03	0.24	0.21	0.03	1.00	0.77	-0.35	0.05	-0.54	-0.15	-0.56	-0.52	-0.29	-0.62	-0.18	-0.26	-0.46
log_pop_tot_var_91_81	0.30	0.31	-0.16	0.27	0.31	0.14	0.15	0.17	-0.09	0.77	1.00	-0.12	0.17	-0.30	-0.35	-0.47	-0.44	-0.28	-0.51	-0.16	-0.37	-0.31
log_tech_tractor	-0.76	-0.27	-0.11	-0.20	0.09	-0.39	-0.40	0.09	-0.19	-0.35	-0.12	1.00	0.66	0.88	-0.10	0.06	0.14	0.04	0.14	0.24	0.25	0.22
log_tech_fertilizer	-0.26	-0.15	-0.13	0.07	0.16	-0.20	-0.15	0.20	-0.14	0.05	0.17	0.66	1.00	0.43	-0.20	-0.11	-0.06	-0.03	-0.13	0.09	0.10	0.15
log_agr_nr_large	-0.90	-0.29	-0.03	-0.32	-0.03	-0.31	-0.41	-0.06	-0.13	-0.54	-0.30	0.88	0.43	1.00	-0.02	0.24	0.26	0.12	0.28	0.23	0.23	0.21
log_dist_wood_extr_poles	-0.03	0.04	0.13	-0.14	0.18	-0.34	-0.13	-0.08	0.06	-0.15	-0.35	-0.10	-0.20	-0.02	1.00	0.31	0.23	0.25	0.13	0.13	0.19	-0.10
log_dist_urban_areas	-0.30	-0.23	0.28	-0.19	-0.43	0.15	0.01	-0.28	0.05	-0.56	-0.47	0.06	-0.11	0.24	0.31	1.00	0.57	0.43	0.51	0.10	0.14	0.34
log_dist_roads	-0.29	-0.27	0.20	-0.20	-0.40	0.05	-0.05	-0.19	0.05	-0.52	-0.44	0.14	-0.06	0.26	0.23	0.57	1.00	0.69	0.71	0.09	0.16	0.25
log_dist_non_paved_road	-0.16	-0.18	0.14	0.02	-0.26	0.05	0.03	-0.27	0.11	-0.29	-0.28	0.04	-0.03	0.12	0.25	0.43	0.69	1.00	0.13	0.03	0.07	0.08
log_dist_paved_roads	-0.32	-0.26	0.18	-0.30	-0.45	0.05	-0.10	-0.13	0.00	-0.62	-0.51	0.14	-0.13	0.28	0.13	0.51	0.71	0.13	1.00	0.05	0.22	0.37
log_dist_large_rivers	-0.19	-0.08	0.12	-0.32	0.15	-0.33	-0.34	0.21	-0.08	-0.18	-0.16	0.24	0.09	0.23	0.13	0.10	0.09	0.03	0.05	1.00	0.13	0.16
log_dist_min_deposits	-0.17	-0.11	0.05	-0.12	0.06	-0.38	-0.03	0.06	0.08	-0.26	-0.37	0.25	0.10	0.23	0.19	0.14	0.16	0.07	0.22	0.13	1.00	0.09
log_dist_railroads	-0.21	-0.33	0.11	-0.07	-0.44	0.28	-0.09	0.05	0.03	-0.46	-0.31	0.22	0.15	0.21	-0.10	0.34	0.25	0.08	0.37	0.16	0.09	1.00

TABELA C.4 – Matriz de correlação entre variáveis explanatórias potenciais na Amazônia Central.

	agr_area_small	log_setl	prot_all1	conn_ports	conn_mkt	clima_humid	clima_precip	soils_fert_B1	soils_fert_B3	log_pop_dens_96	log_pop_tot_var_91_8	log_tech_tractor	log_tech_fertilizer	log_agr_nr_large	log_dist_wood_extr_p	log_dist_urban_areas	log_dist_roads	log_dist_non_paved_r	log_dist_paved_roads	log_dist_large_rivers	log_dist_min_deposits	log_dist_railroads
agr_area_small	1.00	0.06	-0.23	0.27	-0.33	-0.21	0.18	-0.07	0.07	0.24	-0.16	-0.75	0.09	-0.83	0.02	-0.12	-0.10	-0.09	-0.14	0.04	0.01	0.16
log_setl	0.06	1.00	-0.05	0.04	0.30	0.23	0.03	0.15	-0.11	0.40	0.43	0.18	0.23	0.08	-0.27	-0.20	-0.27	-0.27	-0.09	0.03	-0.16	-0.26
prot_all1	-0.23	-0.05	1.00	-0.14	0.07	-0.06	-0.22	0.11	-0.10	-0.09	0.03	0.19	-0.05	0.19	0.13	0.27	0.28	0.27	0.14	0.09	-0.01	-0.18
conn_ports	0.27	0.04	-0.14	1.00	-0.09	-0.07	0.30	0.01	0.10	0.50	0.20	-0.10	0.21	-0.23	-0.51	-0.49	-0.41	-0.32	-0.55	-0.31	0.17	0.11
conn_mkt	-0.33	0.30	0.07	-0.09	1.00	0.50	0.04	0.21	0.00	0.09	0.33	0.33	-0.15	0.31	-0.30	-0.10	-0.28	-0.32	0.05	-0.17	0.15	0.16
clima_humid	-0.21	0.23	-0.06	-0.07	0.50	1.00	0.48	0.23	0.04	-0.03	0.29	0.32	0.06	0.19	-0.25	-0.16	-0.30	-0.32	0.12	-0.22	0.11	0.27
clima_precip	0.18	0.03	-0.22	0.30	0.04	0.48	1.00	0.04	0.17	0.27	0.15	-0.06	0.25	-0.22	-0.30	-0.35	-0.31	-0.30	-0.10	-0.39	0.25	0.41
soils_fert_B1	-0.07	0.15	0.11	0.01	0.21	0.23	0.04	1.00	-0.08	-0.03	0.07	0.11	-0.03	0.12	0.00	-0.09	-0.13	-0.15	0.08	-0.12	-0.07	-0.11
soils_fert_B3	0.07	-0.11	-0.10	0.10	0.00	0.04	0.17	-0.08	1.00	0.03	-0.08	-0.15	-0.13	-0.13	-0.03	-0.19	-0.07	-0.07	-0.13	-0.22	0.25	0.25
log_pop_dens_96	0.24	0.40	-0.09	0.50	0.09	-0.03	0.27	-0.03	0.03	1.00	0.54	-0.04	0.18	-0.15	-0.49	-0.39	-0.33	-0.26	-0.55	-0.15	0.08	-0.09
log_pop_tot_var_91_81	-0.16	0.43	0.03	0.20	0.33	0.29	0.15	0.07	-0.08	0.54	1.00	0.44	0.06	0.20	-0.49	-0.29	-0.30	-0.27	-0.35	-0.20	0.04	-0.19
log_tech_tractor	-0.75	0.18	0.19	-0.10	0.33	0.32	-0.06	0.11	-0.15	-0.04	0.44	1.00	0.20	0.79	-0.25	0.03	-0.03	-0.02	0.05	-0.09	-0.10	-0.17
log_tech_fertilizer	0.09	0.23	-0.05	0.21	-0.15	0.06	0.25	-0.03	-0.13	0.18	0.06	0.20	1.00	-0.03	-0.24	-0.07	-0.09	-0.04	-0.10	0.04	-0.04	0.02
log_agr_nr_large	-0.83	0.08	0.19	-0.23	0.31	0.19	-0.22	0.12	-0.13	-0.15	0.20	0.79	-0.03	1.00	-0.05	0.06	0.02	0.01	0.12	-0.03	-0.20	-0.23
log_dist_wood_extr_poles	0.02	-0.27	0.13	-0.51	-0.30	-0.25	-0.30	0.00	-0.03	-0.49	-0.49	-0.25	-0.24	-0.05	1.00	0.60	0.53	0.48	0.53	0.28	-0.15	0.01
log_dist_urban_areas	-0.12	-0.20	0.27	-0.49	-0.10	-0.16	-0.35	-0.09	-0.19	-0.39	-0.29	0.03	-0.07	0.06	0.60	1.00	0.64	0.61	0.51	0.38	-0.10	0.00
log_dist_roads	-0.10	-0.27	0.28	-0.41	-0.28	-0.30	-0.31	-0.13	-0.07	-0.33	-0.30	-0.03	-0.09	0.02	0.53	0.64	1.00	0.97	0.44	0.27	-0.10	-0.20
log_dist_non_paved_road	-0.09	-0.27	0.27	-0.32	-0.32	-0.32	-0.30	-0.15	-0.07	-0.26	-0.27	-0.02	-0.04	0.01	0.48	0.61	0.97	1.00	0.29	0.26	-0.07	-0.21
log_dist_paved_roads	-0.14	-0.09	0.14	-0.55	0.05	0.12	-0.10	0.08	-0.13	-0.55	-0.35	0.05	-0.10	0.12	0.53	0.51	0.44	0.29	1.00	0.18	-0.21	0.06
log_dist_large_rivers	0.04	0.03	0.09	-0.31	-0.17	-0.22	-0.39	-0.12	-0.22	-0.15	-0.20	-0.09	0.04	-0.03	0.28	0.38	0.27	0.26	0.18	1.00	-0.20	-0.14
log_dist_min_deposits	0.01	-0.16	-0.01	0.17	0.15	0.11	0.25	-0.07	0.25	0.08	0.04	-0.10	-0.04	-0.20	-0.15	-0.10	-0.10	-0.07	-0.21	-0.20	1.00	0.40
log_dist_railroads	0.16	-0.26	-0.18	0.11	0.16	0.27	0.41	-0.11	0.25	-0.09	-0.19	-0.17	0.02	-0.23	0.01	0.00	-0.20	-0.21	0.06	-0.14	0.40	1.00

TABELA C.5 – Matriz de correlação entre variáveis explanatórias potenciais na Amazônia Ocidental.

	agr_area_small	log_setl	prot_all1	conn_ports	conn_mkt	clima_humid	clima_precip	soils_fert_B1	soils_fert_B3	log_pop_dens_96	log_pop_tot_var_91_8	log_tech_tractor	log_tech_fertilizer	log_agr_nr_large	log_dist_wood_extr_p	log_dist_urban_areas	log_dist_roads	log_dist_non_paved_r	log_dist_paved_roads	log_dist_large_rivers	log_dist_min_deposits	log_dist_railroads
agr_area_small	1.00	-0.33	-0.07	-0.25	-0.19	0.06	0.55	-0.05	0.16	-0.11	-0.17	-0.59	-0.41	-0.75	0.44	0.13	0.46	0.43	0.44	-0.05	0.44	0.51
log_setl	-0.33	1.00	-0.06	0.16	0.18	-0.09	-0.40	0.08	-0.10	0.21	0.26	0.44	0.33	0.42	-0.34	-0.26	-0.43	-0.38	-0.44	0.10	-0.37	-0.40
prot_all1	-0.07	-0.06	1.00	-0.10	-0.23	0.27	0.08	-0.03	-0.18	-0.11	-0.16	-0.09	-0.10	-0.01	0.23	0.28	0.04	0.01	0.15	0.00	-0.02	0.19
conn_ports	-0.25	0.16	-0.10	1.00	0.52	-0.51	-0.32	0.09	-0.09	0.28	0.35	0.51	0.54	0.35	-0.64	-0.10	-0.39	-0.35	-0.52	0.02	-0.24	-0.47
conn_mkt	-0.19	0.18	-0.23	0.52	1.00	-0.70	-0.45	0.05	0.00	0.17	0.21	0.37	0.47	0.30	-0.64	-0.10	-0.32	-0.27	-0.64	0.52	-0.03	-0.78
clima_humid	0.06	-0.09	0.27	-0.51	-0.70	1.00	0.07	-0.08	-0.10	-0.32	-0.40	-0.32	-0.38	-0.21	0.59	0.20	0.18	0.13	0.42	-0.29	-0.05	0.60
clima_precip	0.55	-0.40	0.08	-0.32	-0.45	0.07	1.00	-0.04	0.24	0.16	0.01	-0.59	-0.65	-0.63	0.66	-0.01	0.56	0.52	0.63	-0.20	0.74	0.71
soils_fert_B1	-0.05	0.08	-0.03	0.09	0.05	-0.08	-0.04	1.00	0.00	0.03	0.06	0.06	0.05	0.05	-0.08	0.00	-0.04	-0.02	-0.07	0.01	-0.03	-0.07
soils_fert_B3	0.16	-0.10	-0.18	-0.09	0.00	-0.10	0.24	0.00	1.00	0.12	0.02	-0.17	-0.15	-0.21	0.09	-0.31	0.16	0.16	0.10	-0.13	0.26	0.10
log_pop_dens_96	-0.11	0.21	-0.11	0.28	0.17	-0.32	0.16	0.03	0.12	1.00	0.75	0.26	0.20	0.21	-0.15	-0.42	-0.14	-0.11	-0.24	-0.02	0.16	-0.21
log_pop_tot_var_91_81	-0.17	0.26	-0.16	0.35	0.21	-0.40	0.01	0.06	0.02	0.75	1.00	0.45	0.32	0.34	-0.32	-0.31	-0.20	-0.17	-0.26	-0.04	-0.07	-0.29
log_tech_tractor	-0.59	0.44	-0.09	0.51	0.37	-0.32	-0.59	0.06	-0.17	0.26	0.45	1.00	0.80	0.69	-0.72	-0.14	-0.55	-0.51	-0.59	-0.06	-0.58	-0.56
log_tech_fertilizer	-0.41	0.33	-0.10	0.54	0.47	-0.38	-0.65	0.05	-0.15	0.20	0.32	0.80	1.00	0.61	-0.73	-0.06	-0.52	-0.47	-0.64	-0.03	-0.59	-0.60
log_agr_nr_large	-0.75	0.42	-0.01	0.35	0.30	-0.21	-0.63	0.05	-0.21	0.21	0.34	0.69	0.61	1.00	-0.56	-0.16	-0.65	-0.61	-0.59	0.10	-0.57	-0.59
log_dist_wood_extr_poles	0.44	-0.34	0.23	-0.64	-0.64	0.59	0.66	-0.08	0.09	-0.15	-0.32	-0.72	-0.73	-0.56	1.00	0.20	0.53	0.47	0.72	-0.07	0.55	0.70
log_dist_urban_areas	0.13	-0.26	0.28	-0.10	-0.10	0.20	-0.01	0.00	-0.31	-0.42	-0.31	-0.14	-0.06	-0.16	0.20	1.00	0.31	0.27	0.27	0.13	0.00	0.19
log_dist_roads	0.46	-0.43	0.04	-0.39	-0.32	0.18	0.56	-0.04	0.16	-0.14	-0.20	-0.55	-0.52	-0.65	0.53	0.31	1.00	0.95	0.68	-0.06	0.56	0.49
log_dist_non_paved_road	0.43	-0.38	0.01	-0.35	-0.27	0.13	0.52	-0.02	0.16	-0.11	-0.17	-0.51	-0.47	-0.61	0.47	0.27	0.95	1.00	0.52	-0.03	0.53	0.44
log_dist_paved_roads	0.44	-0.44	0.15	-0.52	-0.64	0.42	0.63	-0.07	0.10	-0.24	-0.26	-0.59	-0.64	-0.59	0.72	0.27	0.68	0.52	1.00	-0.27	0.36	0.72
log_dist_large_rivers	-0.05	0.10	0.00	0.02	0.52	-0.29	-0.20	0.01	-0.13	-0.02	-0.04	-0.06	-0.03	0.10	-0.07	0.13	-0.06	-0.03	-0.27	1.00	0.15	-0.41
log_dist_min_deposits	0.44	-0.37	-0.02	-0.24	-0.03	-0.05	0.74	-0.03	0.26	0.16	-0.07	-0.58	-0.59	-0.57	0.55	0.00	0.56	0.53	0.36	0.15	1.00	0.35
log_dist_railroads	0.51	-0.40	0.19	-0.47	-0.78	0.60	0.71	-0.07	0.10	-0.21	-0.29	-0.56	-0.60	-0.59	0.70	0.19	0.49	0.44	0.72	-0.41	0.35	1.00

APÊNDICE D

BATERIA DE TESTES INICIAIS (CALIBRAÇÃO)

TABELA D.1 – Exemplo de bateria de testes de calibração.

TESTE	MODELOS DE REGRESSÃO					DEMANDA		ALOCAÇÃO			DESCRİÇÃO DO TESTE	
	100 km	25 km				Regional	Cenário	Parâmetros				Cenário
		Amazônia	Partição em macro-regiões:					scale_fact	forest_threshold	change_max_lim		
			Arco	Central	Ocidental							
1	urban100	urban25				N	Constante	1	0.9	0.3	Sem mudança	Sem regionalizar demanda e regressões
2	roads100	roads25				N	Constante	1	0.9	0.3	Sem mudança	
3	urban100		urban25_arco	urban25_central	urban25_ocidental	N	Constante	1	0.9	0.3	Sem mudança	Sem regionalizar demanda, mas regionalizando regressões
4	roads100		roads25_arco	roads25_central	roads25_ocidental	N	Constante	1	0.9	0.3	Sem mudança	
5	urban100		urban25_arco	urban25_central	urban25_ocidental	S	Constante	1	0.9	0.3	Sem mudança	Regionalizando demanda e regressões
6	roads100		roads25_arco	roads25_central	roads25_ocidental	S	Constante	1	0.9	0.3	Sem mudança	
7	roads100		roads25_arco	roads25_central	roads25_ocidental	S	Constante	1	0.9	0.5	Sem mudança	Modificando parâmetros alocação
8	roads100		roads25_arco	roads25_central	roads25_ocidental	S	Constante	3	0.9	0.3	Sem mudança	
9	roads100		roads25_arco	roads25_central	roads25_ocidental	S	Constante	3	0.9	0.5	Sem mudança	
10	roads100		roads25_arco	roads25_central	roads25_ocidental	S	Constante	5	0.9	0.3	Sem mudança	
11	roads100		roads25_arco	roads25_central	roads25_ocidental	S	Constante	5	0.9	0.5	Sem mudança	
12	roads100		urban25_arco	urban25_central	urban25_ocidental	S	Constante	1	0.9	0.5	Sem mudança	Trocando modelos - resolução 100 km
13	urban100		roads25_arco	roads25_central	roads25_ocidental	S	Constante	1	0.9	0.5	Sem mudança	
14	urban100		roads25_arco	roads25_arco	roads25_arco	S	Constante	1	0.9	0.5	Sem mudança	Testando modelo do arco - resolução 25 km
15	roads100		roads25_arco	roads25_arco	roads25_arco	S	Constante	1	0.9	0.5	Sem mudança	