

CHRISTIANE CAVALCANTE LEITE

**RECONSTRUÇÃO DOS PADRÕES HISTÓRICOS DE USO DA TERRA NA
AMAZÔNIA, NO PERÍODO 1940-1995, PARA ESTUDOS CLIMÁTICOS E
HIDROLÓGICOS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de “Doctor Scientiae”

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

L533r
2008

Leite, Christiane Cavalcante, 1974-

Reconstrução dos padrões históricos de uso da terra na Amazônia, no período 1940-1995, para estudos climáticos e hidrológicos / Christiane Cavalcante Leite. – Viçosa, MG, 2008.

xv, 123f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Marcos Heil Costa.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 119-123.

1. Climatologia agrícola. 2. Amazônia - Desmatamento.
3. Solo - Uso - Amazônia. 4. Solo - Uso - Planejamento.
5. Solo rural - Uso. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 22.ed. 630.2515

CHRISTIANE CAVALCANTE LEITE

**RECONSTRUÇÃO DOS PADRÕES HISTÓRICOS DE USO DA TERRA NA
AMAZÔNIA, NO PERÍODO 1940-1995, PARA ESTUDOS CLIMÁTICOS E
HIDROLÓGICOS**

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia
Agrícola, para obtenção do título de “Doctor
Scientiae”

APROVADA: 31 de julho de 2008

Prof. Gilberto Chohaku Sedyama
(Co-orientador)

Prof. Carlos Antonio A . Soares Ribeiro
(Co-orientador)

Prof. Britaldo Silveira Soares Filho

Prof. José Maria Nogueira da Costa

Prof. Marcos Heil Costa
(Orientador)

Aos meus pais, JOSÉ e MÁRCIA, por sempre acreditarem no meu potencial e por todo o amor, carinho, educação e apoio durante toda a minha vida pessoal e acadêmica.

Dedico

Aos meus irmãos, Marcos e Raquel, as minhas sobrinhas, Maria Fernanda e Maria Alice, à meus avos maternos Varcelon e Áurea (in memorian), à meus avos paternos João Sabino (in memorian) e Antônia (in memorian).

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me manter sempre firme em meus propósitos e por me ajudar a concluir mais uma etapa da minha vida.

Ao meu orientador, Dr. Marcos Heil Costa, pela orientação neste trabalho.

Aos Co-orientadores, Dr. Gilberto Chohaku Sedyama e Dr. Carlos Antonio A. Soares Ribeiro, pelas valorosas contribuições dadas a esta tese.

Ao Cleverson, aluno de graduação, pela grande e importante ajuda na construção das malhas municipais digitais.

À todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola da UFV.

As minhas amigas, Ivana, Ana Maria, Karla, Dayse, Dona Nilda, Kelly, Silvia e Hewlley, pela sincera amizade.

Ao meu grande amigo Ranieri, pelo companheirismo, amizade, apoio e incentivo durante todo o curso.

Aos meus colegas do programa de Pós-Graduação, Lucía, Vanda, Raquel, Francisca, Maria Emilia, Michele, Wellian, José Luis, Evaldo, Santiago, Leonardo Aguiar, Murilo e Marcelo.

Aos funcionários do DEA, em particular as secretárias do Programa de Pós-Graduação, Verônica e Graça, por toda a amizade e profissionalismo.

À CAPES, Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo financiamento do projeto de pesquisa.

Ao IPEA, Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas, pelos dados de censo agrícola digitados.

A secretaria de Planejamento do Estado do Mato Grosso pela contribuição nesse trabalho cedendo material de consulta.

Ao IBGE do Estado de Rondônia pela ajuda com os mapas de evolução histórica do estado.

E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

BIOGRAFIA

CHRISTIANE CAVALCANTE LEITE, filha de José Cavalcante Leite e Márcia Áurea Leite, natural de Arapiraca, Alagoas, nasceu no dia 14 de dezembro de 1974.

Em junho de 2002 graduou-se em Meteorologia pela Universidade Federal de Alagoas. Iniciou em agosto de 2002 o Programa de Pós-Graduação em Meteorologia na Universidade Federal de Alagoas, AL, submetendo-se a defesa de tese em julho de 2004 obtendo o título de Mestre. Iniciou em agosto de 2004 o Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, MG, submetendo-se a defesa de tese em julho de 2008 obtendo o título de Doutor.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE SIGLAS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1. Ocupação histórica da Amazônia	6
2.2. Implicações das mudanças no uso da terra no clima e no ciclo do carbono	8
2.3. Implicações das mudanças no uso da terra nos recursos hídricos	10
2.4. Bancos de dados de uso e cobertura da terra	13
3. METODOLOGIA	17
3.1. Descrição do processo de construção das malhas municipais digitais da Amazônia para o período 1940-1985	18
3.2. Mapas históricos de uso da terra para a Amazônia	20
3.2.1. Dados utilizados	20
3.2.2. Dados de censo	21
3.2.3. Classificação de uso da terra por Cardille et al. [2002]	22
3.2.4. Classificação de uso da terra por Ramankutty et al. [2008]	23
3.2.5. Área de estudo	23
3.3. Mapas de uso da terra rasterizados	24
3.3.1. Algoritmo de reconstrução histórica de uso da terra	24
3.4. Interpolação temporal dos mapas	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27

4.1.	Malhas municipais digitais no período 1940-1995	27
4.2.	Reconstrução dos mapas de uso da terra no período 1940-1995	31
4.2.1.	Mapas de uso da terra AMZ-C, baseados na classificação de uso da terra de Cardille et al. [2002]	31
4.2.2.	Mapas de uso da terra AMZ-R, baseados na classificação de uso da terra de Ramankutty et al. [2008]	47
4.2.3.	Tendência de longo prazo	63
5.	VALIDAÇÃO DOS BANCOS DE DADOS DE USO DA TERRA PARA A AMAZÔNIA	68
5.1.	Comparação entre os mapas de uso da terra AMZ-C, AMZ-R e os mapas de cobertura da terra TRFIC	68
5.1.1.	Rondônia	69
5.1.2.	Pará	76
5.2.	Comparação entre os bancos de dados AMZ-C-1980 e AMZ-R-1980 com os mapas de Cardille e Foley [2003]	84
5.3.	Diferença entre o produto de Cardille et al. [2002] e Ramankutty et al. [2008]	89
5.4.	Uso da terra dentro das reservas indígenas e unidades de conservação	99
6.	APLICAÇÃO DOS BANCOS DE DADOS HISTÓRICOS DE USO DA TERRA	109
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	113
7.1.	Conclusões	113
7.2.	Perspectivas de aplicações	116
7.3.	Trabalhos futuros	117
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Localização das regiões de estudo dos bancos de dados baseados em Cardille et al. [2002] e Ramankutty et al. [2008]	24
2. Exemplo de uma área mínima comparável no Estado do Pará. (a) relação de municípios em 1995 que podem ter suas áreas (somadas) comparadas a área do município de Altamira em 1940 e (b) Ilustração da AMC entre 1995 e 1940 para o município de Altamira no Pará	25
3. Algoritmo de reconstrução histórica de uso da terra. As caixas com bordas arredondadas indicam mapas espacialmente explícitos numa grade de 5-min (~10 km) de resolução. As caixas com bordas retas indicam dados a nível de município	26
4. Malhas municipais digitais da Amazônia Brasileira e do estado de Goiás para os anos de censo agrícola. (a) 1940, (b) 1950, (c) 1960, (d) 1970, (e) 1975, (f) 1980, (g) 1985 e (h) 1995	30
5. Localização das principais rodovias da Amazônia e das cidades citadas no texto	31
6. Uso da terra agrícola na Amazônia em 1940 (AMZ-C-1940). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas e (c) pastagem total	33
7. Uso da terra agrícola na Amazônia em 1950 (AMZ-C-1950). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural, (d) pastagem plantada	35
8. Uso da terra agrícola na Amazônia em 1960 (AMZ-C-1960). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural, (d) pastagem plantada	36
9. Uso da terra agrícola na Amazônia em 1970 (AMZ-C-1970). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural, (d) pastagem plantada	38
10. Uso da terra agrícola na Amazônia em 1975 (AMZ-C-1975). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural, (d) pastagem plantada	40
11. Uso da terra agrícola na Amazônia em 1980 (AMZ-C-1980). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural, (d) pastagem plantada	42
12. Uso da terra agrícola na Amazônia em 1985 (AMZ-C-1985). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural, (d) pastagem plantada	44
13. Uso da terra agrícola na Amazônia em 1995, por Cardille et al. [2002]. (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural, (d) pastagem plantada	46
14. Uso da terra agrícola na Amazônia em 1940 (AMZ-R-1940). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas e (c) pastagem total	48
15. Uso da terra agrícola na Amazônia em 1950 (AMZ-R-1950). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural, (d) pastagem plantada	50
16. Uso da terra agrícola na Amazônia em 1960 (AMZ-R-1960). (a) uso da terra	

	total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural, (d) pastagem plantada	52
17.	Uso da terra agrícola na Amazônia em 1970 (AMZ-R-1970). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural, (d) pastagem plantada	54
18.	Uso da terra agrícola na Amazônia em 1975 (AMZ-R-1975). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural, (d) pastagem plantada	56
19.	Uso da terra agrícola na Amazônia em 1980 (AMZ-R-1980). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural, (d) pastagem plantada	58
20.	Uso da terra agrícola na Amazônia em 1985 (AMZ-R-1985). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural, (d) pastagem plantada	60
21.	Uso da terra agrícola na Amazônia em 1995, por Ramankutty et al. [2008]. (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural, (d) pastagem plantada	62
22.	Evolução do uso da terra no período 1940-1995 de acordo com os mapas AMZ-C para cada estado da região de estudo. PN indica pastagem natural, PP indica pastagem plantada e CA indica culturas agrícolas.	65
23.	Evolução do uso da terra no período 1940-1995 de acordo com os mapas AMZ-R para cada estado da região de estudo. PN indica pastagem natural, PP indica pastagem plantada e CA indica culturas agrícolas.	67
24.	Comparação para Rondônia no ano de 1975 entre: (a) o mapa de uso da terra total AMZ-C-1975, (b) o mapa de uso da terra total AMZ-R-1975 e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, principais rodovias e rios.	70
25.	Comparação para Rondônia no ano de 1985 entre: (a) o mapa de uso da terra total AMZ-C-1985, (b) o mapa de uso da terra total AMZ-R-1985 e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, principais rodovias e rios.	72
26.	Comparação para Rondônia no ano de 1992 entre: (a) o mapa de uso da terra total AMZ-C-1992, (b) o mapa de uso da terra total AMZ-R-1992 e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, principais rodovias e rios.	73
27.	Comparação para Rondônia no ano de 1995 entre: (a) o mapa de uso da terra total de Cardille et al. [2002], (b) o mapa de uso da terra total de Ramankutty et al. [2008] e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, principais rodovias e rios.	75
28.	Comparação para o Pará no ano de 1975 entre: (a) o mapa de uso da terra total AMZ-C-1975, (b) o mapa de uso da terra total AMZ-R-1975 e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, principais rodovias e rios.	77
29.	Comparação para o Pará no ano de 1985 entre: (a) o mapa de uso da terra total AMZ-C-1985, (b) o mapa de uso da terra total AMZ-R-1985 e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, principais rodovias e rios.	79
30.	Comparação para o Pará no ano de 1992 entre: (a) o mapa de uso da terra total AMZ-C-1992, (b) o mapa de uso da terra total AMZ-R-1992 e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, principais rodovias e rios.	81
31.	Comparação para o Pará no ano de 1995 entre: (a) o mapa de uso da terra total de Cardille et al. [2002], (b) o mapa de uso da terra total de Ramankutty et al. [2008] e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, principais rodovias e rios.	83

32. Comparação entre os mapas AMZ-C-1980 e os mapas desenvolvidos por Cardille e Foley [2003]	86
33. Comparação entre os mapas AMZ-R-1980 e os mapas desenvolvidos por Cardille e Foley [2003]	88
34. Diferença entre os mapas de uso da terra para 1995. (a) Ramankutty et al. [2008], (b) Cardille et al. [2002] e (c) a – b	90
35. Intervalo de confiança da média do uso da terra total, utilizando o teste t a 95%, para cada estado da região de estudo, calculado a partir dos mapas, (a) Cardille et al. [2002] e (b) Ramankutty et al. [2008]	92
36. Distribuição de frequência do uso da terra total do mapa de Cardille et al. [2002]	95
37. Distribuição de frequência do uso da terra total do mapa de Ramankutty et al. [2008]	98
38. Localização das reservas indígenas (contorno cinza) e unidades de conservação (contornos vermelhos) dentro da área de estudo. As principais reservas e unidades estão numeradas e seus respectivos nomes relacionados ao lado dos mapas	100
39. Distribuição das reservas indígenas dentro de cada área de abrangência dos mapas (a) Cardille et al. [2002] e (b) Ramankutty et al. [2008] em 1995	102
40. Distribuição das unidades de conservação dentro de cada área de abrangência dos mapas (a) Cardille et al. [2002] e (b) Ramankutty et al. [2008] em 1995	106
41. Localização das bacias dos rios Tocantins-Araguaia, Xingu e Tapajós dentro da região de estudo	110
42. Evolução dos vários tipos de uso da terra dentro das bacias. (a) Tocantins-Araguaia, (b) Xingu e (c) Tapajós. PN indica pastagem natural, PP indica pastagem plantada e CA indica culturas agrícolas	112

LISTA DE TABELAS

	Pág.
1. Médias do uso da terra total, culturas agrícolas e pastagem total dentro das principais reservas indígenas para os mapas de Cardille et al. [2002] e Ramankutty et al. [2008] no ano de 1995.	105
2. Médias do uso da terra total, culturas agrícolas e pastagem total dentro das principais unidades de conservação para os mapas de Cardille et al. [2002] e Ramankutty et al. [2008] no ano de 1995.	108

LISTA DE SIGLAS

AMC - Área mínima comparável

AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer

BU-MODIS - Boston University's - Moderate resolution Imaging Spectrometer

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGBP - International Geosphere-Biosphere Programme

IPEA - Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicada

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectrometer

UMD - Universidade de Maryland

RESUMO

LEITE, Christiane Cavalcante, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2008.
Reconstrução dos padrões de uso da terra na Amazônia, no período 1940-1995, para estudos climáticos e hidrológicos. Orientador: Marcos Heil Costa. Co-Orientadores: Gilberto Chohaku Sedyama e Carlos Antonio A. Soares Ribeiro.

Mudanças em florestas, cultivos agrícolas, vias fluviais e na composição da atmosfera, em todo o mundo, estão ocorrendo pela crescente necessidade de alimentos, fibras, água e moradia para mais de seis bilhões de pessoas. As terras cultivadas (pastagens e plantações) e áreas urbanas têm se expandido nas recentes décadas, acompanhadas por um grande aumento no consumo de energia, água e fertilizantes, juntamente com uma considerável perda de biodiversidade. Alguns estudos têm mostrado que as mudanças na cobertura e no uso da terra também podem afetar o clima. Isto geralmente ocorre por meio de mudanças no saldo de radiação à superfície, e na partição do saldo de radiação em fluxos de calor sensível e latente, causando modificações na circulação atmosférica e no clima. Esse trabalho teve como objetivo criar um banco de dados histórico de uso da terra para a Amazônia, espacialmente explícito em grade, numa resolução de 5' x 5', no período 1940-1995, para estudos climáticos e hidrológicos. A primeira etapa deste trabalho, e uma das mais importantes, foi a construção das malhas digitais dos municípios da Amazônia para cada ano em que o censo agrícola foi realizado dentro do período de estudo. A construção das malhas possibilitou calcular as frações de área cultivada, pastagem natural e pastagem plantada dentro de cada município, para cada ano do censo, dividindo-se a área cultivada dada pelo censo em um determinado ano pela área deste município de acordo com seus limites nesse mesmo ano. De uma maneira semelhante, foram calculadas as frações utilizadas por pastagem natural e pastagem plantada em cada município. A segunda etapa foi calcular as proporções de cada tipo de uso da terra entre 1995 e os anos de censo, para cada área mínima comparável. E a terceira e última etapa foi reconstruir os padrões de uso da terra para a Amazônia, multiplicando-se os mapas resultantes da segunda etapa com duas classificações de uso da terra para 1995, baseadas em dados de satélite e dados de

censo, desenvolvidas por Cardille et al. [*Global Biogeochemical Cycles*, 2002] e Ramankutty et al. [*Global Biogeochemical Cycles*, 2008]. Os resultados mostraram que os bancos de dados de uso da terra na Amazônia, para o período 1940-1985, mostraram-se bastante similares em algumas regiões da área de estudo, como por exemplo nos estados de Tocantins, Goiás e Mato Grosso, tanto em intensidade de atividades agrícolas quanto na distribuição espacial das mesmas. Porém, em outras regiões os dois bancos de dados foram distintos, principalmente na distribuição espacial dos pixels com atividades agrícolas tal como nos estados do Amazonas e Rondônia, onde diferiram tanto em intensidade, quanto em distribuição. Quando comparamos os dois bancos de dados de uso da terra com o mapa de cobertura da terra do *Tropical Rainforest Information Center* (TRFIC), baseados no Landsat, observou-se que na maioria dos anos comparados, especialmente para o Estado de Rondônia, o banco de dados com base em Ramankutty et al. [2008] apresentou um maior número de áreas de pixels contendo atividades agrícolas similares às áreas de desmatamento nos mapas TRFIC, principalmente ao longo da BR 364, área em que o desmatamento foi melhor representado neste banco de dados, tanto em intensidade quanto em distribuição espacial. Contudo, quando comparamos os mapas para o Estado do Pará, os dois bancos de dados apresentaram o mesmo número de áreas similares aos mapas TRFIC. Os bancos de dados construídos nesse trabalho possuem incertezas relacionadas ao fato de que foram criados pela fusão de dois sistemas de observações diferentes, porém, apesar dessas incertezas, esses bancos de dados são a primeira tentativa de estimar as mudanças históricas das culturas agrícolas, pastagem natural e pastagem plantada na Amazônia, utilizando dados de censo agrícola em nível municipal. Esses bancos de dados históricos serão úteis para ajudar a entender as causas das mudanças climáticas na região amazônica, bem como a investigar os impactos das mudanças históricas na cobertura e no uso da terra nos recursos hídricos e clima na Amazônia.

ABSTRACT

LEITE, Christiane Cavalcante, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2008.
Reconstruction of the land use patterns in Amazônia, in the period 1940-1995, for climatic and hydrological studies. Advisers: Marcos Heil Costa. Co-Advisers: Gilberto Chohaku Sedyama and Carlos Antonio A. Soares Ribeiro.

Changes in forests, croplands, water ways and the atmospheric composition throughout the world are occurring because of the need for food, fibers, water and housing for over 6 billion people. Croplands, pasturelands, forest plantations and urban areas have expanded in recent decades, accompanied by large increases in energy, water and fertilizer consumption and a considerable loss in biodiversity. Research has shown that land cover and land use changes have caused important modifications in the quantity and quality of water resources, in addition to changes in climate. This generally occurs through changes in the radiation balance at the surface, and in the partitioning of the radiation balance in sensible and latent heat fluxes, causing modifications in the atmospheric circulation and climate. This work aims at creating a historical database of land use for Amazonia, geographically explicit in grid, at a 5' x 5' spatial resolution, in the period 1940 - 1995, for climatic and hydrological studies. The first part of this work, and one of the most important, was to construct the municipal digital meshes of Amazonia in each year the agricultural census was accomplished in the period 1940-1995. The construction of the meshes allowed the calculation of the fractions of cropland, natural pasture and planted pasture inside each municipality, for each year of the census, by dividing the census cropland area in a certain year by the area of this municipality, according with its limits on that same year. In a similar way, the fractions used by natural pasture and planted pasture in each municipality were calculated. The second part was to calculate the proportions of each type of land use between 1995 and the years of census, for each comparable minimum area. And the third and last part was to reconstruct the patterns of land use for Amazonia multiplying the resulting maps of the second stage with two classifications of land use for 1995, based on satellite and census data, developed by Cardille et al. [Global

Biogeochemical Cycles, 2002] and Ramankutty et al. [Global Biogeochemical Cycles, 2008]. The results showed that the databases of land use in Amazonia, for the period 1940-1985, show some similar patterns in the study area, for example in the states of Tocantins, Goiás and Mato Grosso, both in intensity as in the spatial distribution of agricultural activities. However, in another regions the two databases were different, mainly in the spatial distribution of the pixels with agricultural activities, such as in the states of Amazonas and Rondônia, where they differed, in intensity, and in distribution. When we compared the two databases of land use with the map of land cover produced by the Tropical Rainforest Information Center (TRFIC), based on Landsat images, it was observed that in most of the compared years, especially for State of Rondônia, the database based on Ramankutty et al. [2008] presented a larger number of pixels containing agricultural activities similar to the deforestation areas in the TRFIC maps, mainly along BR 364, area in that the deforestation was better represented in this database. However, when we compared the maps for the State of Pará, the two databases presented the same number of areas similar to the TRFIC maps. The databases constructed in this work have uncertainties related to the fact that they were created by the merge of two different observations systems. However, in spite of those uncertainties, these databases are the first attempt of reconstructing the historical changes of the cropland, natural pasture and planted pasture in Amazonia, using agricultural census data at municipal level. These historical databases will be useful to help to understand the causes of the climatic changes in Amazonia, as well as to investigate the impacts of the historical changes in the land cover and land use in the water resources and climate of Amazonia.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, mudanças no uso da terra geralmente têm sido consideradas um assunto ambiental local, mas tem-se observado que pouco a pouco este tema está se tornando um assunto de importância global. Mudanças em florestas, cultivos agrícolas, vias fluviais e na composição da atmosfera, em todo o mundo, estão ocorrendo pela crescente necessidade de alimentos, fibras, água e moradia para mais de seis bilhões de pessoas. As terras cultivadas (pastagens e plantações) e áreas urbanas têm se expandido nas recentes décadas, acompanhadas por um grande aumento no consumo de energia, água e fertilizantes, juntamente com uma considerável perda de biodiversidade. Embora as práticas de uso da terra variem grandemente pelo mundo, o seu resultado geralmente é o mesmo: a aquisição de recursos naturais de necessidade imediata para os humanos, o

que frequentemente é obtido à custa da degradação das condições ambientais [Foley et al. 2005].

Segundo dados do último censo agropecuário realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no período 1995-1996, a área plantada na Amazônia Legal, incluindo lavoura permanente e temporária, pastagem natural e plantada, era de 568.949 km², uma área equivalente à do Estado de Minas Gerais, e está crescendo a uma taxa média anual de aproximadamente 19.300 km² ao ano.

Enquanto isso, pesquisas diversas demonstram que mudanças na cobertura da terra têm causado importantes modificações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos, além do próprio clima.

A ação do homem sobre o solo pode produzir alterações substanciais nos processos hidrológicos terrestres como: redução ou aumento das vazões médias, máximas e mínimas de uma bacia hidrológica, e alteração da qualidade da água [Tucci, 2002]. O desmatamento realizado para dar lugar às culturas agrícolas e pastagens aumenta o escoamento médio de uma bacia pela redução na evapotranspiração e infiltração. Estudos realizados em pequenas bacias (< 10 km²) mostraram que a produção de escoamento superficial e da vazão geralmente aumenta tanto na estação seca quanto na chuvosa com o aumento do desmatamento e diminui com o reflorestamento [Bruijnzeel, 1990; Sahin e Hall, 1996], enquanto Costa et al. [2003] demonstraram que a vazão média anual do rio Tocantins em Porto Nacional (178.000 km²) aumentou 24% após um aumento no uso agrícola na bacia. Também podem ser esperadas mudanças no fluxo biogeoquímico nas regiões onde as mudanças na cobertura e no uso da terra forem significativas [Brandes et al., 1996].

Alguns estudos têm mostrado que as mudanças na cobertura e no uso da terra também podem afetar o clima. Isto geralmente ocorre por meio de mudanças no saldo

de radiação à superfície e na partição do saldo de radiação em fluxos de calor sensível e latente, causando modificações na circulação atmosférica e no clima [Bonan, 2002; Foley et al., 2003; Costa, 2005].

Apesar desta importante relação entre cobertura da terra, recursos hídricos e clima, ainda são relativamente poucos os trabalhos que estudam essa relação, principalmente numa escala temporal de longo prazo (várias décadas), necessária para a definição do clima ou do hidroclima. Uma das razões para isso é a reduzida disponibilidade de séries temporais de uso da terra.

Com o avanço do sensoriamento remoto, é possível monitorar consistentemente as mudanças na cobertura da terra a partir do espaço. Contudo, os dados de sensoriamento remoto estão disponíveis somente para as últimas três ou quatro décadas sendo, portanto, de utilidade limitada para estudos de mudança na cobertura da terra em escalas de tempo muito longas. Uma alternativa são as informações históricas com dados socioeconômicos coletados por organizações censitárias. Para isso deve ser compilada uma extensa base de dados histórica de uso de solos agrícolas em nível nacional e regional (estados, municípios, etc.), consistente com os limites políticos em cada período de coleta.

Ramankutty e Foley [1998] apresentaram uma análise da distribuição geográfica global da área em pastagem permanente durante 1992 utilizando um modelo com resolução global de 5' de arco (~9 km) de latitude-longitude para cada célula da grade. Os dados foram obtidos a partir de uma combinação de dados de cobertura da terra derivados de satélites, com uma variedade de dados de censos agrícolas, em todos os continentes.

Usando uma metodologia semelhante, Cardille et al. [2002] usaram um método estatístico baseado na análise da árvore de regressão, para encontrar o melhor ajuste

entre as informações de classificações de cobertura da terra por satélite e as informações de uso da terra do censo agrícola. Eles usaram esta relação para estimar a densidade de áreas agrícolas com 5' de resolução espacial nas bacias do rio Amazonas e Tocantins. Portanto, a fusão de imagem de satélite e censo agrícola fornece uma nova descrição geograficamente explícita da área cultivada por culturas agrícolas, pastagem natural e pastagem plantada.

Mais importante que a descrição geográfica, porém, é que estes conjuntos de informações fornecem uma nova mistura de dados espacialmente explícitos baseados em satélite e em censo. Esta aproximação pode ser usada como uma base para projetar padrões de uso da terra ao longo do tempo, seja para frente ou para trás. Partindo de padrões espaciais globais de uso da terra obtidos para 1992 (discutido anteriormente), Ramankutty e Foley [1999] compilaram um extenso banco de dados de uso agrícola da terra, em nível nacional (em alguns casos estaduais), de 1700 a 1992, e então usaram a classificação de uso de solo de 1992 para reconstruir padrões de uso da terra por culturas agrícolas permanentes, de 1992 de volta a 1700. Este trabalho, ainda que tenha sido a primeira reconstrução de uso da terra para culturas agrícolas global, ainda apresenta algumas limitações, como o pouco uso de dados de censo em nível municipal, de maior desagregação, e fornece apenas o uso da terra por culturas agrícolas, negligenciando a sua ocupação por pastagens, que são muito importantes no Brasil.

Com base no exposto, este trabalho tem como objetivo reconstruir os padrões históricos dos principais tipos de uso da terra (terras cultivadas, pastagem natural e pastagem plantada) na Amazônia, no período 1940-1995. Mais especificamente, objetivou-se: (i) construir as malhas municipais digitais da Amazônia no período 1940-1995, para os anos em que o censo agropecuário foi realizado (1940, 1950, 1960, 1970, 1975, 1980, 1985, 1995) e (ii) produzir uma série histórica de dados de uso da terra,

espacialmente distribuídos em grade (rasterizados), para a Amazônia, numa resolução de 5' x 5' (~9 km x 9 km), para o período 1940-1995.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Ocupação histórica da Amazônia

O processo de ocupação da Amazônia pela civilização branca tem suas raízes no século XVII quando se iniciam as primeiras construções de fortificações militares com a pretensão de se garantir a posse do território regional. Os fatores de atração populacional durante os séculos XVIII e XIX foram, principalmente a procura por ouro e pedras preciosas, as plantações de cana-de-açúcar, a pecuária extensiva e a exploração gomífera, impulsionada pela demanda internacional após 1839, quando surgiram várias indústrias tanto nos Estados Unidos quanto na Europa, cuja matéria-prima fundamental era a borracha. Entre os anos de 1840 e 1910 – época em que a borracha absorveu toda a atividade econômica regional – a Amazônia tornou-se recipiente de grande contingente de migrantes nordestinos e imigrantes estrangeiros. Vislumbra-se neste período um grande crescimento populacional, que de 137.000 habitantes no ano de 1820 salta para aproximadamente 1.217.000 habitantes em 1910 [Souza, 2005].

Após 1940 tem-se a predominância da garimpagem nos rios Tocantins e Araguaia e a expansão da pecuária nas áreas de cerrado, fortemente estimulada pela implantação de ferrovias que ligavam o Centro-Oeste ao Sudeste do país, possibilitando o transporte de gado vivo para que fossem abatidos em frigoríficos nesta região. 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 010) e Cuiabá - Porto Velho (BR 364). De 1950 até 1965, a população na Amazônia aumentou de 1 para 5 milhões de habitantes [Becker, 1991]. No entanto, as maiores mudanças ocorreram de 1965 até 1985 [Becker, 1991; Costa, 1997; Machado, 1998; Homma, 2003], durante o regime militar, que considerou a ocupação da Amazônia uma prioridade nacional. Porém, a partir da década de 70, o processo de ocupação acelerou-se e milhões de hectares de florestas foram derrubados para a criação de pastos, projetos de colonização e reforma agrária [Alves, 2001].

De acordo com Becker [1991], o governo foi responsável pelos principais projetos públicos na região, através de três eixos estratégicos: primeiro, o estabelecimento de uma grande rede de rodovias, infra-estrutura de comunicações e grandes usinas hidrelétricas; segundo, o estabelecimento de muitos programas de colonização – que geraram um grande fluxo migratório e o estabelecimento de novos centros urbanos – e de redução de impostos e subsídios que induziram grandes investimentos privados na região [Moran, 1981; Fearnside, 1986]; terceiro, 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.

Segundo 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, sendo que 90% da extração de madeira é

ilegal e contribui para o empobrecimento da floresta e a torna mais suscetível a queimadas [Nepstad et al., 1999]. 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 [Aguiar, 2006]. 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 convertidas da floresta.

A partir dos anos 90, a agricultura capitalizada, especialmente a soja, também se expandiu na região. A expansão inicial da agricultura de grande escala ocorreu na região de cerrado no sul da Amazônia. Posteriormente, esta expansão começou a ocorrer também em áreas de floresta [Aguiar, 2006]. A agricultura de pequena escala ocorre principalmente em áreas de ocupação antiga, tais como o nordeste do Pará e ao longo da rodovia Transamazônica, Mato Grosso e Rondônia, que foram colonizadas por projetos de reforma agrária do governo [Moran, 1981; Becker, 1991].

Trabalhos recentes sobre o desmatamento na Amazônia mostram que o mesmo ocorre de forma concentrada, ao longo das estradas e em áreas pioneiras de desmatamento, [Machado, 1998; Alves et al., 1999; Alves, 2002] cuja intensificação tem como consequência, na maioria das vezes, impactos sociais e ambientais, como conflitos pela posse da terra [Becker, 1991], fragmentação florestal, destruição e degradação de hábitat [Skole e Tucker, 1993].

2.2. Implicações das mudanças no uso da terra no clima e no ciclo do carbono

As atividades humanas têm alterado entre 30 e 50% dos recursos naturais [Vitousek et al., 1997], modificando extensamente a superfície da Terra e transformando a distribuição da vegetação global através das mudanças no uso da terra.

Essas mudanças alteram a estrutura e o funcionamento de ecossistemas e diminui a habilidade dos mesmos para continuarem provendo recursos valiosos, tais como alimento, água potável, recursos florestais e serviços, como regulação do clima, qualidade da água e recursos da terra. As atividades agrícolas, em particular, têm sido responsáveis pela maioria destes usos da terra [Ramankutty et al., 2008].

As mudanças antropogênicas no uso da terra contrastam com os distúrbios naturais (por exemplo, fogo e praga) onde a composição da vegetação natural existente é geralmente recuperada depois do distúrbio. As mudanças na cobertura da terra têm efeitos significativos no ciclo do carbono e no sistema climático global. Aumentar o entendimento das interações entre as mudanças climáticas globais e o ciclo do carbono requer o conhecimento das taxas espacialmente explícitas da dinâmica das mudanças no uso da terra causadas pelo homem [Verburg et al., 2003], bem como dos ecossistemas terrestres naturais. A importância da mudança na cobertura vegetal para o balanço climático e do carbono em escala regional e global é agora bem aceito, principalmente para as recentes tentativas de representar os processos dos ecossistemas terrestres, incorporando explicitamente a mudança no uso da terra causada pelo homem nas simulações de clima global [Feddema et al., 2005; Betts et al., 2006].

De acordo com estudos de modelagem climática, os padrões de desmatamento tropical provavelmente causarão um considerável aumento na temperatura da superfície e uma diminuição nos valores anuais de precipitação e evapotranspiração [Bonan, 2002; Costa, 2005]. Em geral, a substituição da floresta tropical por pastagem aumenta o albedo e diminui a rugosidade, o índice de área foliar e a profundidade do sistema radicular [Costa e Foley, 2000]. A redução na rugosidade da superfície, na área foliar e na profundidade das raízes, limita a quantidade de vapor d'água que pode ser reciclado na atmosfera por meio da evapotranspiração – um importante componente do ciclo

hidrológico nas florestas tropicais – causando diminuição na precipitação [Salati et al., 1979; Costa e Foley, 1999]. A conversão de florestas tropicais em pastagem ou culturas anuais provavelmente conduzirá a mudanças no microclima local dessas regiões. Grandes flutuações diurnas na temperatura a superfície e no déficit de umidade, aumento do escoamento superficial durante a estação chuvosa e diminuição durante a estação seca e diminuição da umidade do solo são esperadas (Salati e Nobre, 1991).

Segundo Betts et al. [2007], a influência no clima global resultante de mudanças no uso da terra é relativamente pequena comparada à forçante do CO₂ antropogênico, porém é comparável a efeitos atribuídos aos aerossóis e outros gases de efeito estufa. Caspersen et al. [2002] sugerem que o aumento do carbono terrestre nas duas últimas décadas foi devido, primeiramente ao recrescimento das florestas (p.ex., no abandono de terras agrícolas), ao invés de possíveis fertilizações do CO₂ ou outras mudanças ambientais, e concluem que os modelos de ecossistemas terrestres focalizam exclusivamente os processos fisiológicos, omitindo o fator dominante, isto é, as mudanças históricas do uso da terra.

Para investigar como as mudanças históricas nas terras cultivadas estabelecidas e abandonadas, combinadas com o CO₂ atmosférico e as mudanças climáticas modificam os padrões regionais e globais do escoamento superficial, Piao et al. [2007] usaram um modelo de biosfera terrestre baseado em processos e os resultados mostraram que a mudança no uso da terra representa um papel importante no controle regional dos valores do escoamento superficial, particularmente nas regiões tropicais.

2.3. Implicações das mudanças no uso da terra nos recursos hídricos

A ocupação dos espaços naturais com a expansão das atividades agrícolas, silviculturais e pastoris modifica a cobertura vegetal e as propriedades físicas da terra,

interferindo localmente no ciclo hidrológico. Entre as conseqüências desse processo podem ser citadas: compactação do horizonte superficial da terra, com redução da infiltração; a erosão da terra e produção de material sedimentável que se deposita nos rios; alteração da evapotranspiração; eliminação das matas ciliares e outras formações que protegem as margens dos rios, lagos e reservatórios; conflitos entre o uso da água para irrigação e outros fins [Tucci, 2002].

O desmatamento para culturas anuais aumenta o escoamento médio de uma bacia pela redução da evapotranspiração e da infiltração. O impacto que isto tem sobre a vegetação e os sistemas hídricos pode depender dos efeitos de escala nas bacias de maior porte. Um outro aspecto importante é que o plantio, após o desmatamento, sem nenhum cuidado com a conservação da terra, tende a aumentar consideravelmente a erosão, com grande aumento no escoamento com relação às condições prévias de floresta. Adicionalmente, as estradas e as divisas de propriedades são geradores de alterações da terra devido à erosão e à compactação que se formam.

A vegetação tem um papel fundamental no balanço de energia e no fluxo de água. Uma parcela da precipitação é retida pela vegetação, então quanto maior for a superfície de folhagem, maior a área de retenção da água durante a precipitação. Da parcela de precipitação que atinge o solo, a mesma pode infiltrar ou escoar superficialmente dependendo da capacidade do solo em infiltrar. Essa capacidade de infiltração depende de condições variáveis, como a quantidade de umidade já existente, das características do solo, da cobertura e do tipo de uso da terra. Normalmente, a capacidade de infiltração de solos com florestas é alta [Pritchett, 1979], o que produz pequena quantidade de escoamento superficial. Para solos com superfície desprotegida que sofre a ação de compactação, a capacidade de infiltração pode diminuir dramaticamente, resultando em maior escoamento superficial.

Segundo Tucci [2002], com a retirada da floresta, os fluxos envolvidos no ciclo hidrológico se alteram, ocorrendo o aumento do albedo (a floresta absorve maior radiação de onda curta e reflete menos), maiores flutuações da temperatura e déficit de pressão de vapor das superfícies das áreas desmatadas, o volume evaporado é menor devido à redução da interceptação vegetal pela retirada das árvores e menor umidade das camadas profundas da terra, já que a floresta pode retirar umidade de profundidades superiores a 3,6 m, enquanto que a vegetação rasteira, como pasto, age sobre profundidades de cerca de 20 cm.

O desenvolvimento urbano também apresenta um impacto significativo sobre o ambiente, criando condições extremamente desfavoráveis sobre os rios na vizinhança dos centros urbanos, além das inundações geradas por projetos de drenagem inadequados. O desenvolvimento urbano também altera a cobertura vegetal provocando vários efeitos que alteram os componentes do ciclo hidrológico natural. Com a urbanização, a cobertura da bacia é em grande parte impermeabilizada com edificações e pavimentos e são introduzidos condutos para escoamento pluvial, gerando alterações como redução da infiltração da água, aumentando assim o escoamento superficial, diminuindo o escoamento subterrâneo, e diminuindo o nível do lençol freático por falta de alimentação. Outra alteração gerada é a redução na evapotranspiração, já que a cobertura urbana não retém água como a cobertura vegetal [Tucci, 2002].

Segundo Quilbé [2008], o escoamento superficial e a qualidade da água são influenciados por muitos fatores naturais e antropogênicos que ocorrem dentro da escala de uma bacia hidrográfica. É bem conhecido que o uso da terra constitui um desses fatores e que o desmatamento de uma parte da bacia para agricultura ou desenvolvimento urbano pode afetar localmente o balanço hídrico e o destino das

substâncias poluentes. Porém, essa influência do uso da terra é difícil de quantificar, especialmente a longo prazo e em grande escala.

Vários estudos em pequenas bacias, baseados em modelos hidrológicos [p.ex.: Dunn e MacKay, 1995; Fohrer et al., 2001], mostram que o desmatamento para agricultura ou urbanização induz um aumento na vazão com várias intensidades. Assim, a intensidade dos efeitos do uso da terra no regime hídrico depende do tamanho e do declive da bacia e das características do uso da terra [Cognard-Plancq et al., 2001; Matheussen et al., 2000]. Obviamente, isso também depende do modelo hidrológico usado e dos processos físicos simulados.

Os modelos hidrológicos, especialmente os modelos chuva-vazão, são amplamente usados no entendimento e quantificação dos impactos das mudanças no uso da terra e para prover informações que podem ser usadas na tomada de decisão em questões de uso da terra. Porém, se os dados de uso da terra usados não forem representativos da atual condição da terra, as previsões de vazão baseadas neles serão erradas. Como os dados anuais de uso da terra são raramente disponíveis, há uma boa chance que as mudanças no uso da terra não sejam bem representadas dentro dos modelos e as mudanças significativas podem ocorrer mais depressa quando capturadas por interpolação linear. Se o ritmo das mudanças no uso da terra ou a intensificação não é capturada nos dados disponíveis, então os resultados dos modelos mostram observações subprevistas durante a urbanização da região em estudo [Muthukrishnan, 2004].

2.4. Bancos de dados de uso e cobertura da terra

Os dados climáticos e biofísicos são normalmente apresentados como mapas, os quais são representações espacialmente explícitas. Para estudar os impactos humanos no

ambiente, os modelos climáticos globais e os modelos de biosfera global também foram desenvolvidos para dados espacialmente explícitos. Porém, para incorporar as atividades humanas dentro de tais modelos, muitos dos dados socioeconômicos que representam essas atividades precisam ser especializados [Ramankutty e Foley, 1999].

Um dos primeiros bancos de dados de cobertura da terra global foi apresentado por Matthews [1983], em uma grade de $1^\circ \times 1^\circ$ de latitude/longitude, construído através da integração de dados de uso da terra e vegetação para produzir um banco de dados de cobertura da terra global que apresenta as características da vegetação natural e as características antropogênicas. Olson et al. [1983] desenvolveram um mapa com os principais ecossistemas do mundo, caracterizando o uso e a cobertura da terra em uma grade de $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ de resolução espacial distinguindo 44 diferentes tipos de ecossistemas, incluindo sete grandes grupos, um deles sendo denominado de atividades humanas. Wilson e Henderson-Sellers [1985] desenvolveram outra base de dados de cobertura da terra em uma grade de $1^\circ \times 1^\circ$ descrevendo vários tipos de área cultivada e pastagem usando informações do Atlas Mundial de Agricultura. DeFries e Townshend [1994] produziram um banco de dados global de 15 diferentes tipos de cobertura da terra a $1^\circ \times 1^\circ$ de resolução comparando dados do sensor AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) com observações baseadas no solo. Outro banco de dados global de cobertura da terra a 1 km de resolução foi criado por Belward e Loveland [1996]. O desenvolvimento desse banco de dados (DIScover) foi coordenado pelo *International Geosphere-Biosphere Programme's* (IGBP). Foi desenvolvido também um banco de dados de cobertura da terra com resolução de 8 km mostrando a distribuição global de 13 tipos de cobertura (incluindo uma categoria terra cultivada) usando uma combinação de dados do AVHRR e cenários Landsat [DeFries et al., 1998].

Todos os bancos de dados acima representavam apenas a cobertura da terra, sem explicitar os diferentes usos agrícolas da terra. Um dos primeiros bancos de dados de uso agrícola da terra, espacialmente explícito, foi desenvolvido por Ramankutty e Foley [1998], usando a classificação de cobertura da terra global IGBP, com resolução de 1 km, e calibrando com dados de censo agrícola, criando um banco de dados global de terras cultivadas para 1992. Em seguida, criaram um banco de dados histórico, em nível global, de área cultivada, para o período 1700-1992, combinando o banco de dados de 1992 e dados históricos de censo agrícola, usando um algoritmo simples de reconstrução das mudanças históricas no uso da terra [Ramankutty e Foley, 1999]. Hansen et al. [2000] criaram um banco de dados de classificação de cobertura da terra com 1 km de resolução utilizando dados do AVHRR e do Landsat, descrevendo 13 tipos de cobertura da terra, incluindo a categoria área cultivada.

Utilizando uma metodologia similar à de Ramankutty e Foley [1998], Cardille et al. [2002] criaram, para as bacias dos rios Amazonas e Tocantins, um banco de dados de uso da terra, espacialmente explícito, em uma grade de 5-min de resolução, descrevendo em cada célula de grade a fração de área cultivada, pastagem natural e pastagem plantada para 1995 combinando dados de sensoriamento remoto (imagens do sensor AVHRR) e censo agrícola em nível de município. Em seguida, Cardille e Foley [2003] criaram um mapa de uso da terra, para esta mesma região, representativo para 1980, utilizando o banco de dados de 1995 e os dados de censo agrícola de 1980 em nível de estado. Leff et al. [2004] apresentaram uma distribuição global dos 18 principais tipos de culturas agrícolas, para 1992 com a mesma resolução espacial (5-min). Mais recentemente, Ramankutty et al. [2008] desenvolveram um banco de dados global de culturas agrícolas e pastagem, com resolução espacial de 5-min, representativo para o ano 2000, utilizando, para o Brasil, dados do censo agrícola de 1995 e uma classificação

de cobertura da terra por satélite baseada no sensor MODIS (*Moderate resolution Imaging Spectrometer*). Já Monfreda et al. [2007] criaram bancos de dados de uso da terra que descrevem 175 culturas distintas do mundo, através da combinação de dados de censo agrícola em nível municipal, estadual e nacional com um banco de dados global de culturas agrícolas, numa grade de 5-min.

3. METODOLOGIA

Este trabalho foi elaborado em três etapas. A primeira etapa deste trabalho, e uma das mais importantes, foi a construção das malhas digitais dos municípios da Amazônia para cada ano em que o censo agrícola foi realizado dentro do período 1940-1995. A construção das malhas possibilitou calcular as frações de área cultivada, pastagem natural e pastagem plantada dentro de cada município, para cada ano do censo, dividindo-se a área cultivada dada pelo censo em um determinado ano pela área deste município, de acordo com seus limites nesse mesmo ano. De uma maneira semelhante, foram calculadas as frações utilizadas por pastagem natural e pastagem plantada em cada município. A segunda etapa foi calcular as proporções de cada tipo de uso da terra entre 1995 e os anos de censo e a terceira e última etapa foi reconstruir os padrões de uso da terra para a Amazônia multiplicando-se os mapas resultantes da segunda etapa com duas classificações de uso da terra baseadas em satélite e dados de censo para 1995. Cada etapa é descrita a seguir.

3.1. Descrição do processo de construção das malhas municipais digitais da Amazônia para o período 1940-1985

Foram construídas 7 malhas, correspondentes aos anos de 1940, 1950, 1960, 1970, 1975, 1980 e 1985. Essas malhas foram construídas a partir da malha municipal digital mais antiga disponibilizada pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), que representa a situação vigente em 1991 [IBGE, 1996]. A malha de 1995 foi obtida da malha de 1994 [IBGE, 1996] no entanto, foi necessário renomeá-la e acrescentar em sua tabela de atributos os dados de uso da terra referentes ao ano de 1995. A lista de municípios do censo agrícola de 1995 foi comparada à lista de municípios da malha de 1994. De acordo com essa comparação não houve mudanças no número de municípios entre esses dois anos para a região de estudo (Amazônia).

Para ajudar na construção das malhas históricas, contamos com mapas impressos da divisão político-administrativa do Brasil referente aos anos de 1967, 1957, 1945 e uma malha referente a 1980, no formato AUTOCAD (.dxf), além da descrição do histórico de cada município, obtidos no IBGE, nas diversas secretarias estaduais de administração ou nas prefeituras municipais. Decretos-lei de criação de alguns municípios também foram consultados. Os históricos municipais contêm a descrição da formação administrativa de cada município, onde são informadas as datas da divisão territorial desse município, de qual município ele foi desmembrado na sua criação, o decreto-lei e a data de criação, bem como as mudanças de nomenclatura. Também são informados os distritos que foram criados e passam a fazer parte do município e a data e o Decreto-lei que elevaram, posteriormente, esses distritos a categoria de municípios.

A partir dos limites municipais da malha de 1991 estabeleceram-se agregações de polígonos, voltando-se no tempo, para a composição dos municípios em cada ano em que o censo agrícola foi realizado no período 1940-1995. Esse processo foi realizado no

ArcGis™ Desktop 9.1. As malhas construídas correspondem aos municípios dos estados da Amazônia (Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins), do estado de Goiás e do Distrito Federal. As denominações dos diversos estados usada nesta tese correspondem à nomenclatura e extensão territorial após 1988. Para cada malha o número de municípios varia de acordo com o ano correspondente.

As bases cartográficas, que compõem as malhas, utilizam como referência cartográfica o sistema de coordenadas geográficas Latitude e Longitude e como referência geodésica o esferóide SAD 69 (South American Datum 1969). As malhas construídas são compatíveis com a escala de 1:500.000, a qual foi gerada a partir do arquivo-fonte. Para o cálculo das áreas municipais utilizou-se o sistema de Projeção Albers, que tem como característica a conservação das áreas, e adotou-se como parâmetros o meridiano central de -59° , primeiro paralelo padrão 1° , segundo paralelo padrão -14° e latitude de origem 5° .

Os arquivos correspondentes a cada malha são fornecidos no formato *Shapefile* “.shp”. Neste formato, os atributos que constam das tabelas das “Shapefile” estão descritos como segue:

Os atributos relacionados às malhas são:

- CODMUN – Código do município
- NOMEMUN – Nome do município
- NOMEUF – Nome do Estado
- PERIMETRO – Perímetro do município em km
- AREA – Área do município em km^2

Os dados de censo agrícola, dispostos em planilhas Excel™, para os anos em que o censo foi realizado, foram anexados às malhas correspondentes a cada ano, utilizando-se a ferramenta “Join” do ArcGis 9.1, tendo como referência a coluna

“CODMUNIC” presente, tanto na planilha quanto na tabela de atributos das malhas. Em seguida foram calculadas as percentagens de cada uso da terra dentro dos municípios. As colunas referentes aos dados de censo estão apresentadas a seguir.

- PASNAT – Área em km² de pastagem natural
- PASPLANT – Área em km² de pastagem plantada
- LAVTEMP – Área em km² de lavouras temporárias
- LAVPERM – Área em km² de lavouras permanentes
- TERRCULTIV – Área em km² de terra cultivada (Lavouras permanentes + temporárias)
- AREAPLANT – Área em km² de área total plantada (Pasnat + Pasplant + Terrcultiv)
- PERCPASNAT – Percentagem de pastagem natural
- PERCPASPLA – Percentagem de pastagem plantada
- PERCTRRCUL – Percentagem de terra cultivada
- PERCAREPLAN – Percentagem de área plantada

3.2. Mapas históricos de uso da terra para a Amazônia

3.2.1. Dados utilizados

Para a caracterização dos padrões de uso da terra na Amazônia durante o período 1940-1995, foram utilizados dados históricos de censo agrícola obtidos do IBGE e compilados pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Os dados foram coletados em nível de município e são consistentes com os limites municipais de cada ano em que o censo foi realizado, com intervalos de 5-10 anos. Foram utilizadas também duas classificações de uso da terra para 1995 propostas por Cardille et al. [2002] e Ramankutty et al. [2008] para registrar a posição geográfica e os tipos de cobertura da terra nos municípios da Amazônia.

3.2.2. Dados de censo

No Brasil existe um conjunto de dados de censo agrícola bastante detalhado que tenta descrever práticas de uso da terra dentro de cada município. Essa compilação dos dados de censo contém as três maiores categorias: áreas cultivadas (lavouras permanentes e lavouras temporárias), pastagem natural e pastagem plantada. Cada categoria representa a área, naquele tipo de uso agrícola, em cada município.

Segundo definição do IBGE, a área relatada como lavoura permanente compreende a área plantada ou em preparo para o plantio de culturas de longa duração, tais como: café, laranja, cacau, banana e uva, que, após a colheita, não necessitam de novo plantio, produzindo por vários anos sucessivos. Já a lavoura temporária abrange as áreas plantadas ou em preparo para o plantio de culturas de curta duração (inferior a um ano) e que necessitam geralmente, de novo plantio após cada colheita, tais como: arroz, algodão, milho, trigo, flores e hortaliças. A pastagem natural compreende as áreas de pastos não plantados utilizadas ou destinadas ao pastoreio dos animais, enquanto a pastagem plantada compreende as áreas plantadas ou em preparo para o plantio de espécies vegetais destinadas ao pastoreio dos animais.

3.2.3. Classificação de uso da terra por Cardille et al. [2002]

Para registrar com precisão a posição geográfica e os tipos de cobertura da terra através da Amazônia, Cardille et al. [2002] utilizaram classificações baseadas no sensor remoto AVHRR, que produz dados com alta frequência temporal (com duas passagens do satélite por dia), com média resolução espacial (1x1 km). Foram examinados dois tipos de imagens globais de cobertura da terra sobre as bacias dos Rios Amazonas e Tocantins: a classificação DISCover [Belward e Loveland, 1996] do Programa

Internacional Geosfera-biosfera - IGBP, e a classificação global de cobertura da terra da Universidade de Maryland - UMD [Hansen et al., 2000]. Estas classificações de cobertura da terra foram desenvolvidas a partir de valores mensais da diferença normalizada do índice de vegetação (NDVI) e valores de refletância nos cinco canais do AVHRR para 1992-1993.

Para caracterizar o uso da terra dentro das bacias dos rios Tocantins e Amazonas em uma grade regular de 5' (~9 km), Cardille et al., [2002] utilizaram a análise da árvore de regressão [Breiman, 1984; De'ath e Fabricius, 2000] para fundir os dados de censo agrícola de 1995 coletados pelo IBGE e as classificações de cobertura da terra do AVHRR. Foram desenvolvidos três modelos de árvores de candidatos durante a evolução da árvore: o Modelo 1 usou os 17 previsores (categorias) da classificação IGBP (*floresta perene de folhas largas, floresta perene de coníferas, floresta decídua de folhas largas, floresta decídua de coníferas, floresta mista, campo fechado, campo aberto, savana arborizada, savana, campos, terras alagadas permanentes, culturas agrícolas, urbanização, culturas agrícolas/mosaico de vegetação natural, neve, terras áridas, corpos d'água*), o Modelo 2 usou os 14 previsores (categorias) da classificação UMD (*Floresta perene de folhas largas, floresta perene de coníferas, floresta decídua de folhas largas, floresta decídua de coníferas, floresta mista, bosque, campos arborizados, campo fechado, campo aberto, gramado, culturas agrícolas, solo nu, urbanização*) e o Modelo 3 incorporou ambas as classificações IGBP e UMD para fundir os dados de censo e satélite (ver mais detalhes em Cardille et al. [2007]). Depois de vários testes, o Modelo 2 (usando dados UMD) foi escolhido por apresentar melhor correlação com os dados de censo.

3.2.4. Classificação de uso da terra por Ramankutty et al. [2008]

Para registrar com precisão a posição geográfica e os tipos de cobertura da terra através do mundo, Ramankutty et al. [2008] utilizaram dois diferentes bancos de dados de classificação de cobertura da terra global, de média resolução (1 km), baseados em satélite: um produto de cobertura da terra da Universidade de Boston baseado no sensor MODIS, denominado de BU-MODIS [Friedl et al., 2002] e um banco de dados de cobertura da terra global para 2000 baseado no VEGETATION – SPOT, denominado de GLC2000 [Bartholome e Belward, 2005]. Eles combinaram as 16 categorias de cobertura do solo do produto BU-MODIS com as 22 classificações de cobertura do solo do produto GLC2000 e calibraram com uma extensiva compilação de dados de censo agrícola em nível municipal, estadual e nacional para desenvolver mapas globais de terras cultivadas e pastagens, representativos para o ano 2000. Para o Brasil, foram utilizados dados de censo agrícola de 1995 em nível municipal coletados pelo IBGE. Estes mapas caracterizam a distribuição global de terras agrícolas para o ano 2000, descrevendo a extensão espacial das terras cultivadas e pastagens dentro de células de grade com resolução de 5' (~9 km) de latitude e longitude.

3.2.5. Área de estudo

Os três bancos de dados usados neste estudo cobrem áreas ligeiramente diferentes. Os dados de censo agrícola cobrem os municípios da Amazônia, que corresponde aos estados brasileiros do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Tocantins, Rondônia e Roraima. Neste estudo foram incluídos também o Estado de Goiás e o Distrito Federal. O banco de dados de uso da terra de Cardille et al. [2002] foi preparado para as bacias dos rios Amazonas e Tocantins (área cinza na Figura 1), enquanto que o banco de dados de Ramankutty et al. [2008] foi desenvolvido para todo

globo. A área de estudo dos mapas históricos de uso da terra construídos com base em Cardille et al. [2002] (daqui em diante AMZ-C) corresponde à interseção entre a área coberta pelos dados de censo e a área de estudo de Cardille et al [2002]. Já a área de estudo dos mapas históricos de uso da terra com base no banco de dados de Ramankutty et al. [2008] (daqui em diante AMZ-R) corresponde a toda área coberta pelo censo e está representada com o contorno em negrito na Figura 1.

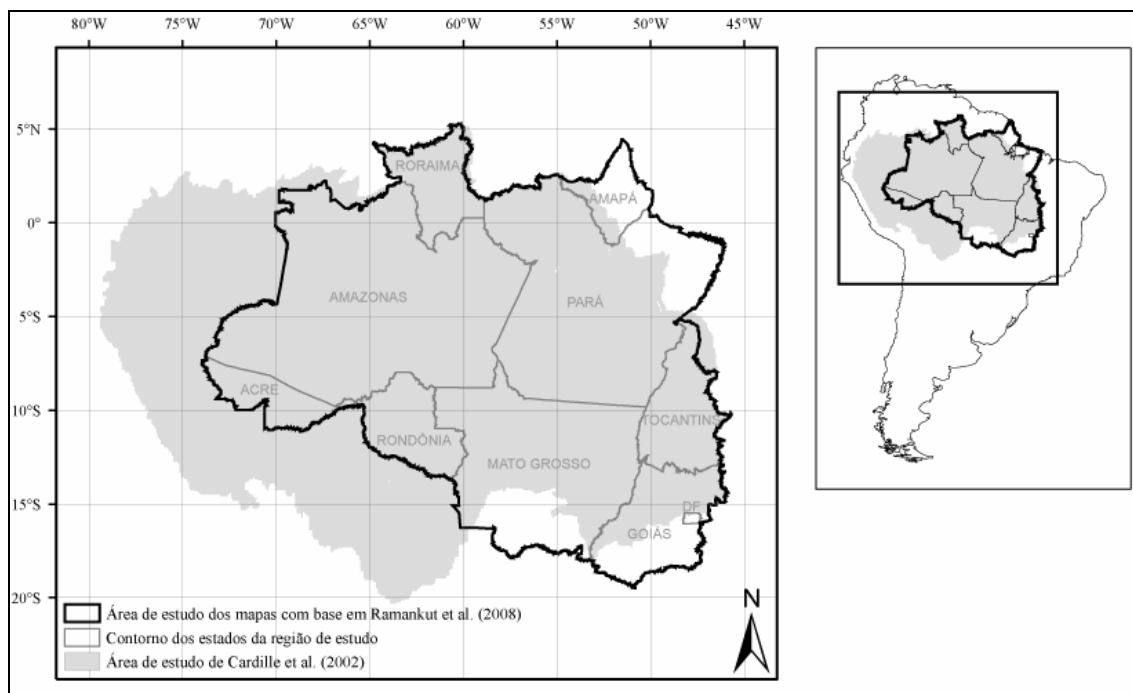


Figura 1. Localização das regiões de estudo dos bancos de dados baseados em Cardille et al. [2002] e Ramankutty et al. [2008]

3.3. Mapas de uso da terra rasterizado

3.3.1. Algoritmo de reconstrução histórica de uso da terra

Neste trabalho, foi utilizado um algoritmo simples para estimar as mudanças históricas na cobertura da terra. Primeiro, foram obtidos os dados de censo agrícola para os oito estados da Amazônia e para o estado de Goiás coletados em nível de município, além do Distrito Federal. Em seguida, foi feita uma filtragem na série de dados de cada município para minimizar possíveis erros de digitação ou durante a coleta desses dados,

uma vez que foram encontrados, em vários municípios, valores bastantes discrepantes do restante da série em alguns anos. Foi utilizado como filtro a média dos dados mais ou menos 1,5 vezes o desvio padrão; todos os valores além do limite do filtro foram considerados espúrios e eliminados. Depois de eliminados os dados espúrios, foi aplicada uma regressão linear para cada município que teve um ou mais dados eliminados e usou-se a equação da regressão para preencher os dados excluídos.

O segundo passo foi calcular as proporções de uso da terra de cada ano com relação a 1995, para cada Área Mínima Comparável (AMC). Essas áreas permitem comparar as informações relacionadas aos segmentos espaciais que sofreram modificações político-administrativas entre os anos comparados, como mostrado no exemplo da Figura 2.

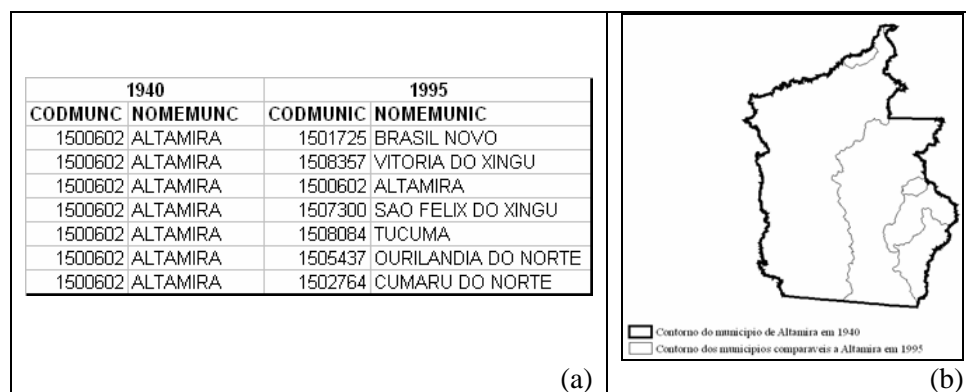


Figura 2. Exemplo de uma área mínima comparável no Estado do Pará. (a) relação dos municípios em 1995 que podem ter suas áreas (somadas) comparadas à área do município de Altamira em 1940. (b) ilustração da AMC entre 1995 e 1940 para o município de Altamira no Pará.

Após calculadas as proporções entre cada ano do censo e 1995, foram criados os mapas de proporções de uso da terra para cada ano do censo, rasterizando-se o valor das proporções em cada AMC. Por último, os mapas de uso da terra para 1995 de Cardille et al. [2002] e Ramankutty et al. [2008] foram multiplicados pelos mapas de proporções de uso da terra de cada ano para criar os mapas históricos de uso da terra rasterizados em uma grade de 5', como mostra a Figura 3.

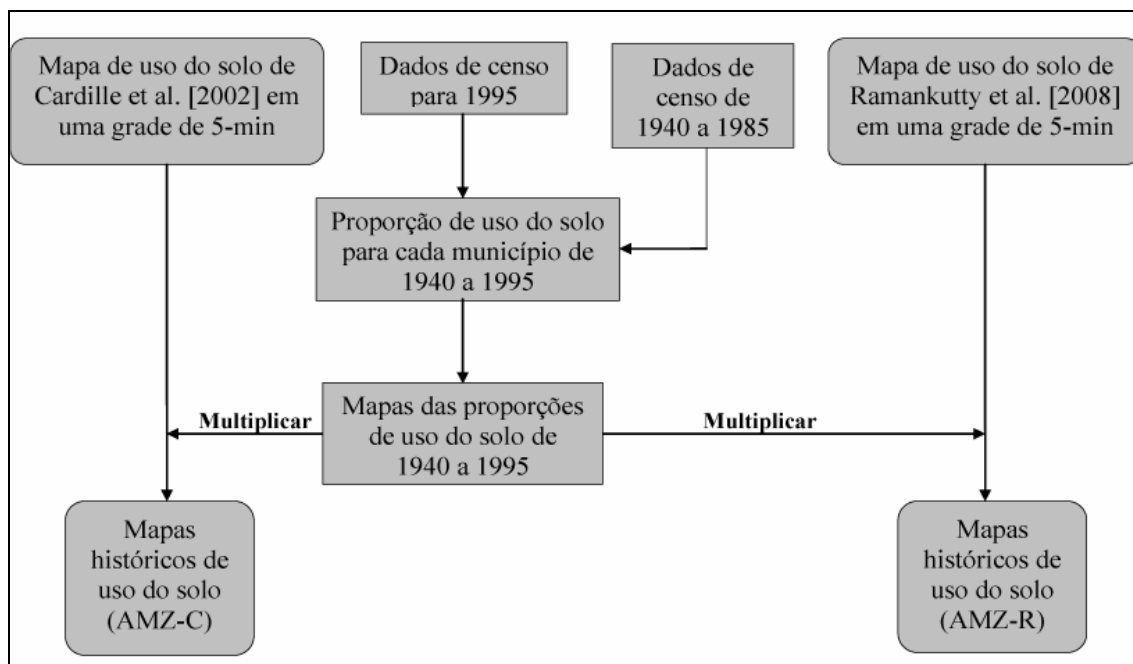


Figura 3. Algoritmo de reconstrução histórica de uso da terra. As caixas com bordas arredondadas indicam mapas espacialmente explícitos numa grade de 5-min (~10 km) de resolução. As caixas com bordas retas indicam dados a nível de município.

3.4. Interpolação temporal dos mapas

Os mapas de uso da terra para a Amazônia, no período 1940-1995, foram construídos para os oito anos em que o censo agrícola foi realizado dentro desse período. Os censos foram realizados em intervalos de 5 a 10 anos, por isso, para se obter os mapas ano a ano, desde 1940 até 1995, foi feita uma interpolação linear entre os anos de censo. Assim, os mapas foram interpolados usando a Equação (1):

$$Y_i = \left(\frac{Y_{t_2} - Y_{t_1}}{t_2 - t_1} \times (i - t_1) \right) + Y_{t_1} \quad (1)$$

onde Y_i é o mapa interpolado, i é o ano da interpolação, t_1 é o ano inicial, t_2 é o ano final, Y_{t_2} é o mapa rasterizado para o ano t_2 e Y_{t_1} é o mapa rasterizado para o ano t_1 . Na primeira interpolação, $t_1 = 1940$, $t_2 = 1950$ e $i = 1941$.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Malhas municipais digitais no período 1940-1995

A evolução político-administrativa da região de estudo, no que diz respeito aos estados, Territórios e Municípios, pode ser analisada nas malhas municipais apresentadas na Figura 4.

Em 1940 (Figura 4a) a região em estudo era composta por 4 estados (Amazonas, Pará, Mato Grosso e Goiás) e um território federal (Acre), contendo, ao todo 153 municípios. Em 1945 foram criados os Territórios Federais do Guaporé (atual estado de Rondônia), Rio Branco (atual estado de Roraima) e do Amapá, assim a malha de 1950 (Figura 4b) é composta por 4 estados e 4 territórios federais, apresentando um total de 190 municípios. Nesse período de 10 anos, foi o estado de Goiás o que mais cresceu em

número de municípios, passando de 52 em 1940 para 77 em 1950. Em 1960 (Figura 4c) foi criado o Distrito Federal e o Território Federal do Guaporé teve sua denominação mudada para Território Federal de Rondônia. Assim, neste ano, a malha fica composta de 4 estados, 4 territórios federais e um distrito federal, totalizando 326 municípios. Observa-se um aumento significativo no número de municípios de 1950 para 1960, sendo os estados do Amazonas e de Goiás os que mais cresceram, aumentando de 25 para 43 e de 77 para 179 municípios, respectivamente. Em 1970, ocorreu a mudança de denominação do Território Federal do Rio Branco para Território Federal de Roraima e a elevação do Território Federal do Acre à categoria de estado. Portanto, a malha municipal de 1970 (Figura 4d) apresenta 5 estados, 3 territórios federais e um distrito federal formando um total de 399 municípios, sendo Goiás o que mais aumentou o número de seus municípios, passando de 179 em 1960 para 221 em 1970.

A malha de 1975 (Figura 4e) possui os mesmos números da malha de 1970, tanto em unidades da federação (Estados, Territórios e Distrito Federal) quanto em municípios, uma vez que, segundo o censo agrícola, não houve modificação nenhuma, nessa região, nesse período de 5 anos. Em 1980 (Figura 4f), o número de estados, territórios e distrito federal continua o mesmo, havendo mudanças apenas no número de municípios, que aumentou de 399 em 1975 para 432 em 1980, sendo, neste ano, o estado de Mato Grosso o que mais cresceu, passando de 34 para 55 municípios. Em 1981, ocorreu a elevação do Território Federal de Rondônia à categoria de Estado, fazendo com que a malha de 1985 (Figura 4g) passasse a ter 6 estados, 2 territórios federais e um distrito federal, somando assim, um total de 489 municípios, onde Goiás foi o estado que mais aumentou o seu número de municípios, passando de 223 em 1980 para 244 em 1985. Em 1988, houve a criação do estado de Tocantins (criado a partir do desmembramento do estado de Goiás) e a elevação dos Territórios Federais de Roraima e do Amapá à categoria de estados. Assim

sendo, a malha de 1995 (Figura 4h) possui 9 estados e um distrito federal, apresentando um total de 748 municípios. Desde 1985 até 1995 ocorreu um aumento significativo no número de municípios na região e os estados onde a criação de municípios foi mais intensa foram Acre, Amapá, Mato Grosso, Pará e Rondônia. O estado de Tocantins, na sua criação, recebeu 52 municípios que pertenciam ao estado de Goiás e até 1995 criou mais 71, apresentando, em 1995, um total de 123 municípios.

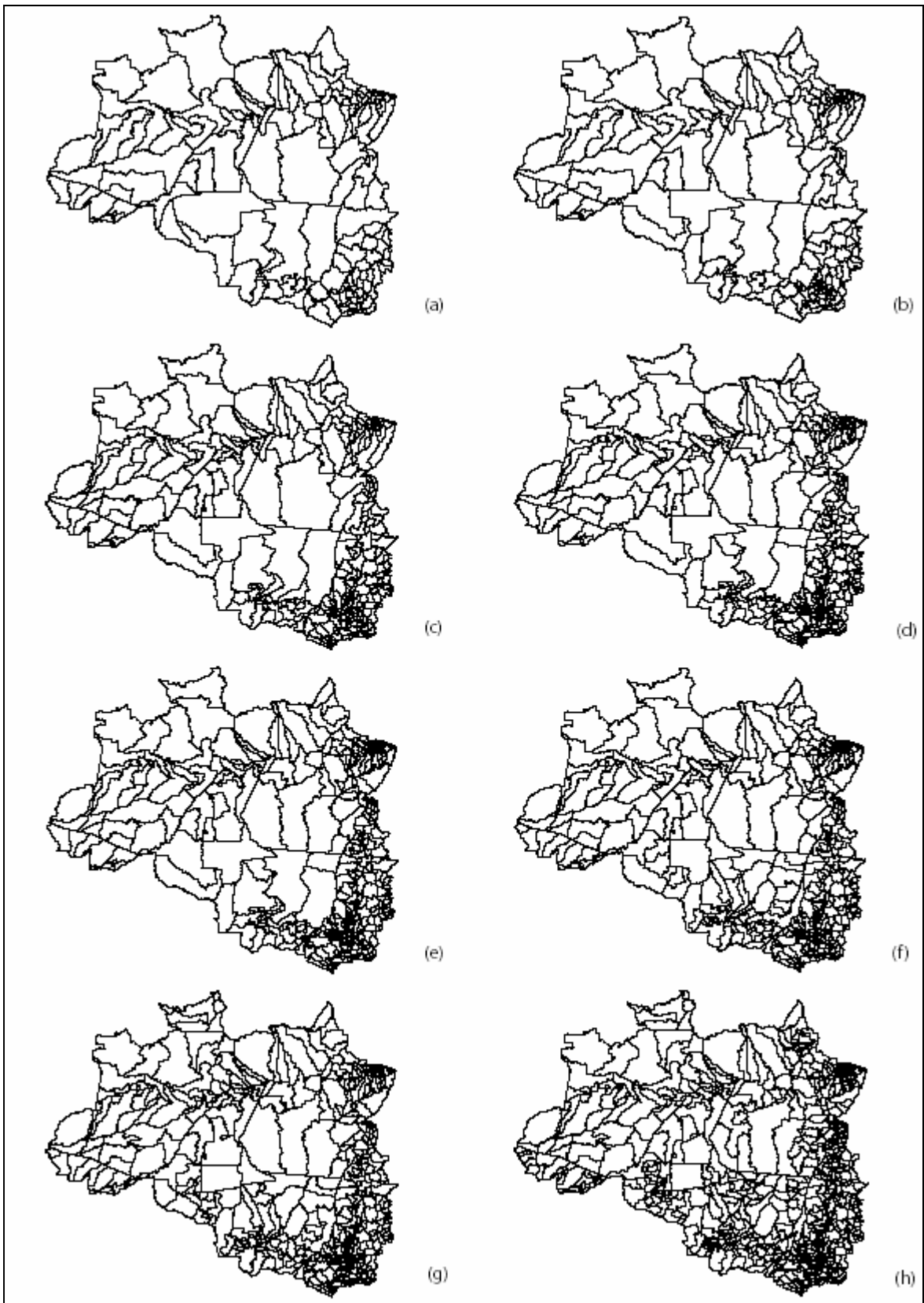


Figura 4. Malhas municipais digitais da Amazônia Brasileira e do estado de Goiás para os anos de censo agrícola. (a) 1940, (b) 1950, (c) 1960, (d) 1970, (e) 1975, (f) 1980, (g) 1985 e (h) 1995.

4.2. Reconstrução dos mapas de uso da terra no período 1940-1995

Para fins de referência, a Figura 5 mostra a localização das principais cidades e rodovias da Amazônia e as cidades que apresentam mudanças significativas de atividades agrícolas e que são citadas no texto a seguir.

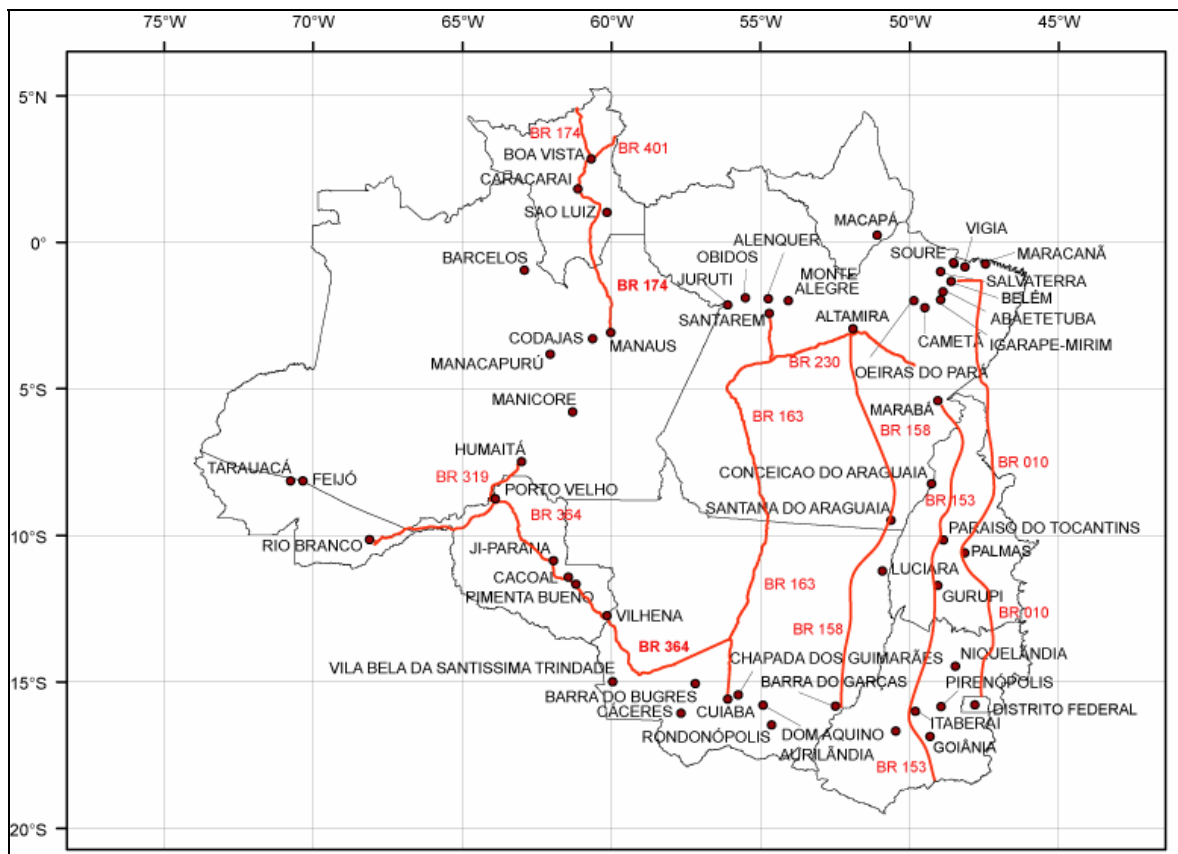


Figura 5. Localização das principais rodovias da Amazônia e das cidades citadas no texto.

4.2.1. Mapas históricos de uso da terra AMZ-C, baseados na classificação de uso da terra de Cardille et al. [2002]

As Figuras 6 a 13 mostram a distribuição espacial do uso da terra na parte brasileira da bacia Amazônica no período 1940-1995 numa grade de 5' (~9 km) de resolução, onde cada célula de grade contém a fração do total de uso da terra estimada através dos dados de

censo agrícola e da classificação de uso da terra para 1995 de Cardille et al. [2002]. As proporções relativas aos tipos de uso da terra dos dados de censo agrícola foram usadas para estimar as frações de culturas agrícolas, pastagem natural e pastagem plantada em cada ano do censo, sendo que em 1940 a área plantada foi desagregada somente em culturas agrícolas e pastagem total, uma vez que os dados de censo neste ano foram disponibilizados desta forma.

O mapa do uso da terra total para 1940 (Figura 6a) indica que neste ano as atividades agrícolas cobriam, principalmente, parte do atual estado de Goiás, e o sudeste do atual estado de Tocantins. O uso da terra dominante é a pastagem (Figura 6c), principalmente na porção sudeste da Amazônia, ocupando as porções norte e oeste de Goiás, o norte e o sudeste de Tocantins, o noroeste do Pará e o sudeste de Mato Grosso onde as maiores densidades variam entre 21% e 60% da área do pixel ocupada por este tipo de uso da terra. As culturas agrícolas (Figura 6b) concentram-se mais no estado do Amazonas, sobretudo na porção leste do município de Barcelos e ao sul dos municípios de Manicoré e Humaitá, e no estado do Pará nos municípios de Oeiras do Pará e Cametá, apresentando frações entre 41% e 60% da área do pixel ocupada por culturas.

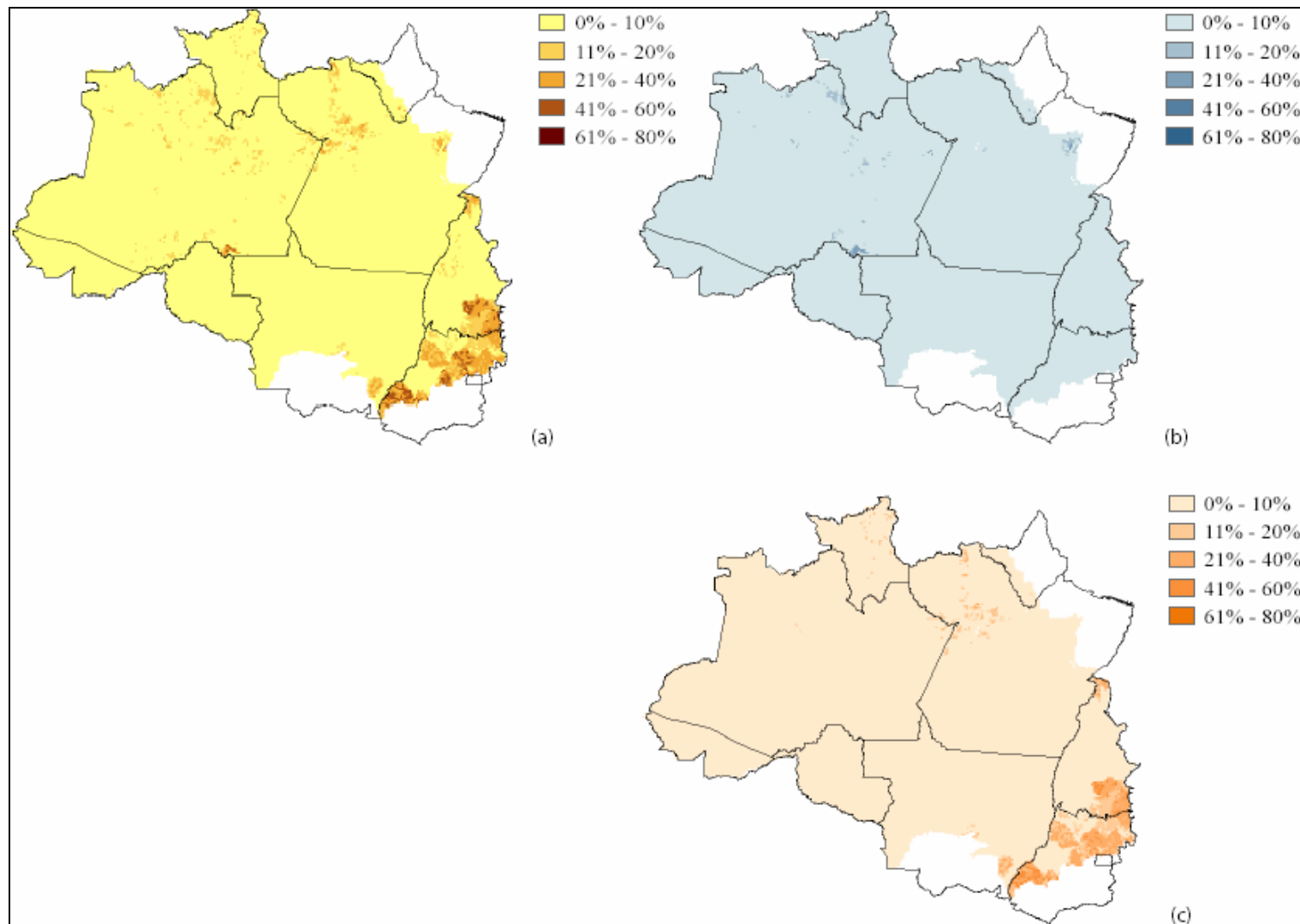


Figura 6 – Uso da terra agrícola na Amazônia em 1940 (AMZ-C-1940). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas e (c) pastagem total.

Em 1950 (Figura 7a) houve uma expansão das atividades agrícolas, sobretudo nos estados de Tocantins, Mato Grosso e Pará, sendo ainda a pastagem o principal tipo de uso da terra. Como neste ano foi possível desagregar a pastagem em natural e plantada, observa-se que a pastagem natural (Figura 7c) é o uso da terra de maior densidade, cobrindo quase todo o estado de Tocantins, parte de Goiás e o sudeste de Mato Grosso bem como o noroeste do Pará e o norte de Roraima. Neste ano, é possível perceber que houve uma conversão do tipo de uso da terra nos municípios de Manicoré e Humaitá no estado do Amazonas, que passou de culturas agrícolas para pastagem natural, fato que pode ser explicado pelo abandono da área de cultivo agrícola havendo assim uma regeneração da vegetação nativa transformando a área em pastagem natural. A pastagem plantada (Figura 7d) começa a surgir no oeste de Goiás nos municípios de Aurilândia, Itaberaí e Niquelândia. As culturas agrícolas (Figura 7b) diminuíram consideravelmente neste ano, principalmente no estado do Amazonas, onde praticamente toda a área de estudo não ultrapassou os 20% da área do pixel coberto por cultivos.

A distribuição da informação de culturas agrícolas e pastagens para 1960 (Figuras 8a – 8d), revela que as atividades agrícolas, neste ano, concentram-se principalmente no norte e sudeste da Amazônia onde, com relação a 1950, houve uma intensificação da pastagem natural (Figura 8c), principalmente nos estados de Goiás e Tocantins e nas regiões norte e central de Roraima, bem como no noroeste do Pará. No oeste de Goiás, nota-se um avanço da pastagem plantada (Figura 8d), apresentando pixels com até 60% de sua área ocupada por esse tipo de uso da terra. Neste ano, as culturas agrícolas (Figura 8b) começam a surgir na região central de Goiás no município de Pirenópolis e na região próxima de Manaus nos municípios de Manacapuru e Codajás no estado do Amazonas.

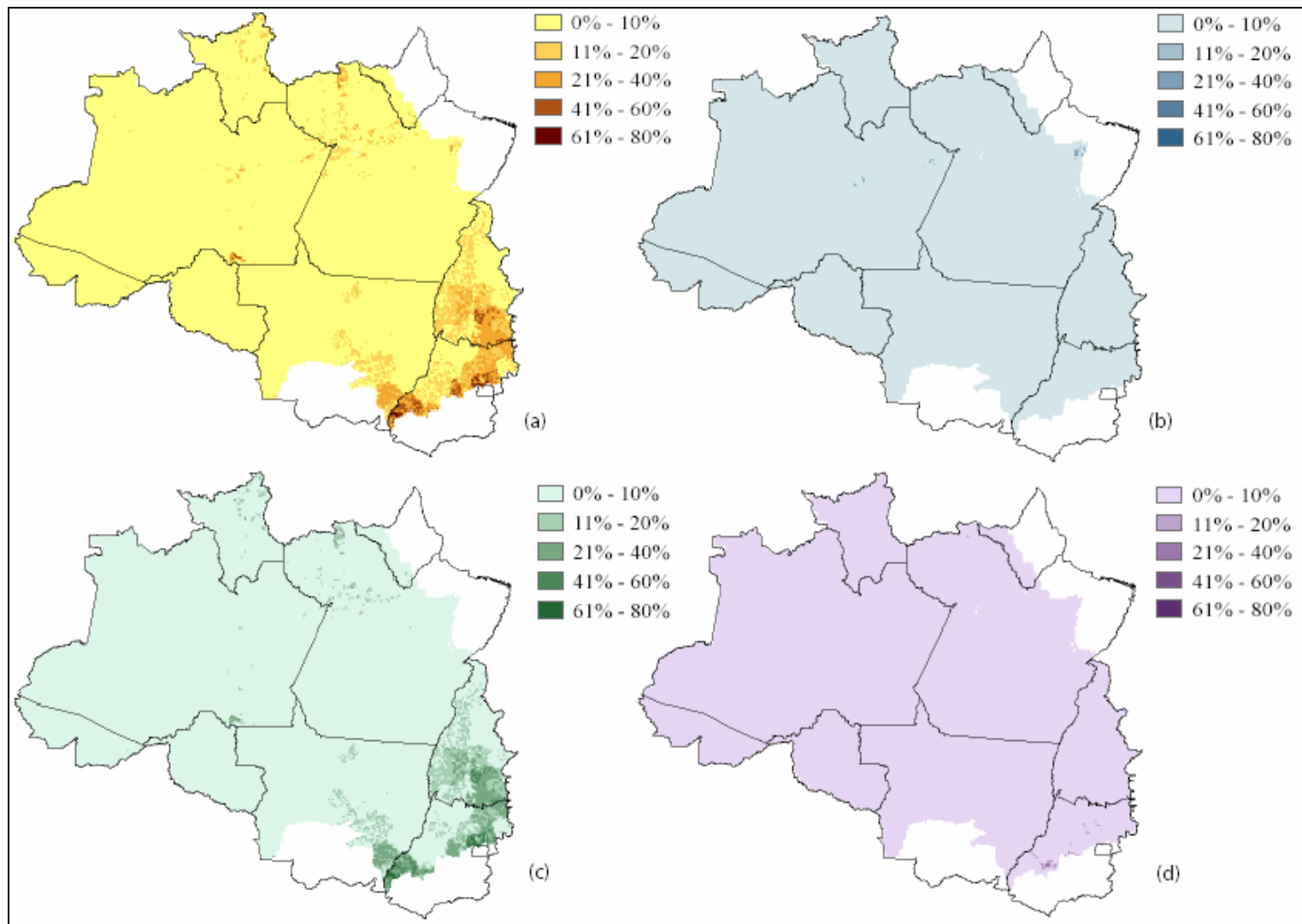


Figura 7 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1950 (AMZ-C-1950). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural e (d) pastagem plantada.

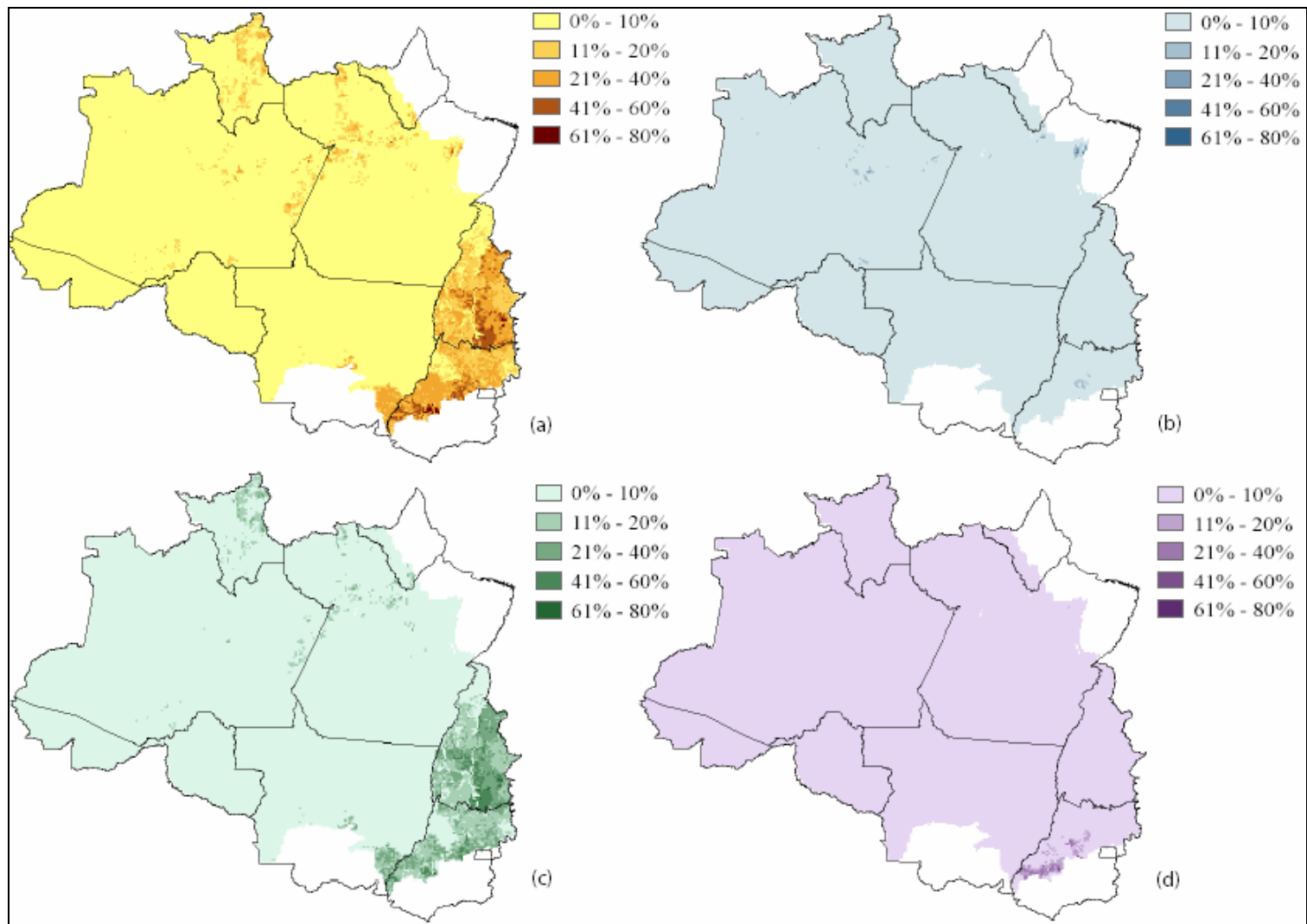


Figura 8 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1960 (AMZ-C-1960). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural e (d) pastagem plantada.

Em 1970, as atividades agrícolas (Figura 9a) sofreram uma expansão nos estados do Mato Grosso, Amazonas e Pará e se intensificaram nos estados de Goiás, Tocantins e Roraima, apresentando pixels com até 80% da sua área ocupada por essas atividades. Essa expansão aconteceu no uso da terra por pastagem natural (Figura 9c), que continua sendo o uso da terra dominante na região. No estado de Mato Grosso a expansão ocorreu nas regiões leste, ao longo da BR 158, e central, ao longo da BR 163, particularmente nos municípios de Barra do Garças, Luciara e Chapada dos Guimarães. No noroeste do Pará, nos municípios de Juruí, Óbidos, Alenquer e Santarém a pastagem natural se intensificou, apresentando pixels com até 60% de sua área ocupada por esse tipo de uso da terra. A pastagem plantada (Figura 9d) começa a surgir no norte de Tocantins e às margens da Rodovia BR 153 na região central do estado, e aumenta sua intensidade no oeste de Goiás. Assim fica caracterizada, nesses dois estados, uma densidade mista de pastagem natural e plantada. Contudo, em algumas áreas podemos observar nitidamente a transição de pastagem natural por plantada, tal como na região norte de Tocantins. Neste ano, as culturas agrícolas (Figura 9b) ainda apresentam uma baixa distribuição, concentrando-se apenas na região central de Goiás, nordeste do Pará e próximo de Manaus, com frações entre 21% e 40%.

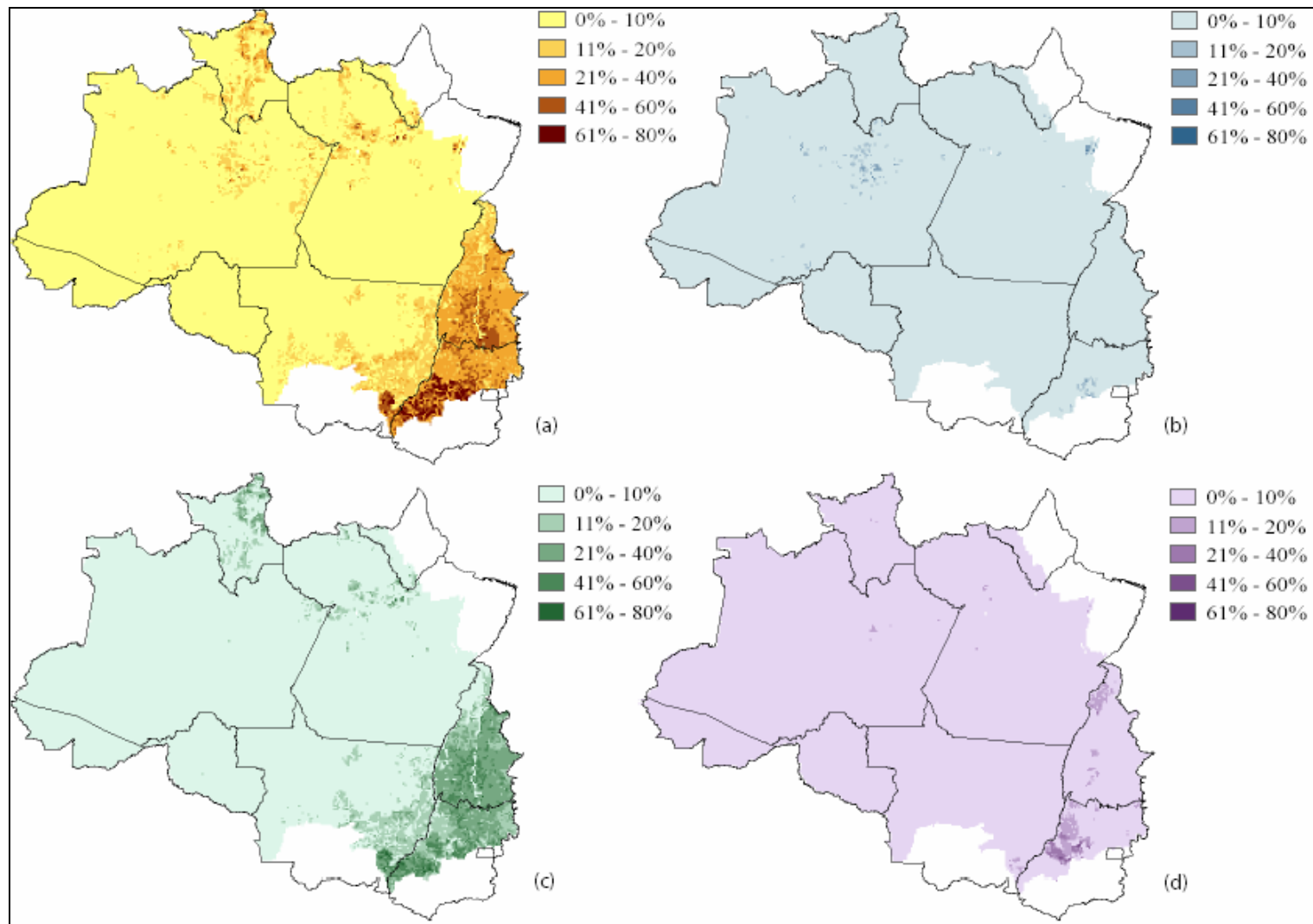


Figura 9 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1970 (AMZ-C-1970). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural e (d) pastagem plantada.

As atividades agrícolas em 1975 (Figura 10a) apresentaram uma maior densidade nos estados de Goiás e Tocantins. Neste ano, houve uma expansão significativa de culturas agrícolas (Figura 10b) no estado do Amazonas, principalmente ao norte do estado e ao longo do Rio Amazonas. As terras cultivadas começam a surgir também nos municípios de Santarém e Aveiro no oeste do Pará e na região central de Porto Velho em Rondônia e volta a aparecer no município de Manicoré no Amazonas. No sudeste do Pará, particularmente nos municípios de Conceição do Araguaia e Santana do Araguaia, houve o surgimento tanto do uso da terra por pastagem natural (Figura 10c) quanto por pastagem plantada (Figura 10d). No entanto, de maneira geral, o tipo de uso da terra dominante continua sendo o de pastagem natural. A pastagem plantada se expandiu para o norte de Goiás e ao longo da rodovia BR 153 no estado de Tocantins, apresentando valores mais expressivos nos municípios de Gurupí, Paraíso do Tocantins e Colméia com frações variando entre 11% e 40%. No município de Caracaraí em Roraima a pastagem natural que existia ao sul em 1970 foi substituída por pastagem plantada em 1975. Isso pode ser explicado pelo fato de a pastagem plantada ser mais produtiva para a criação de gado que a pastagem natural.

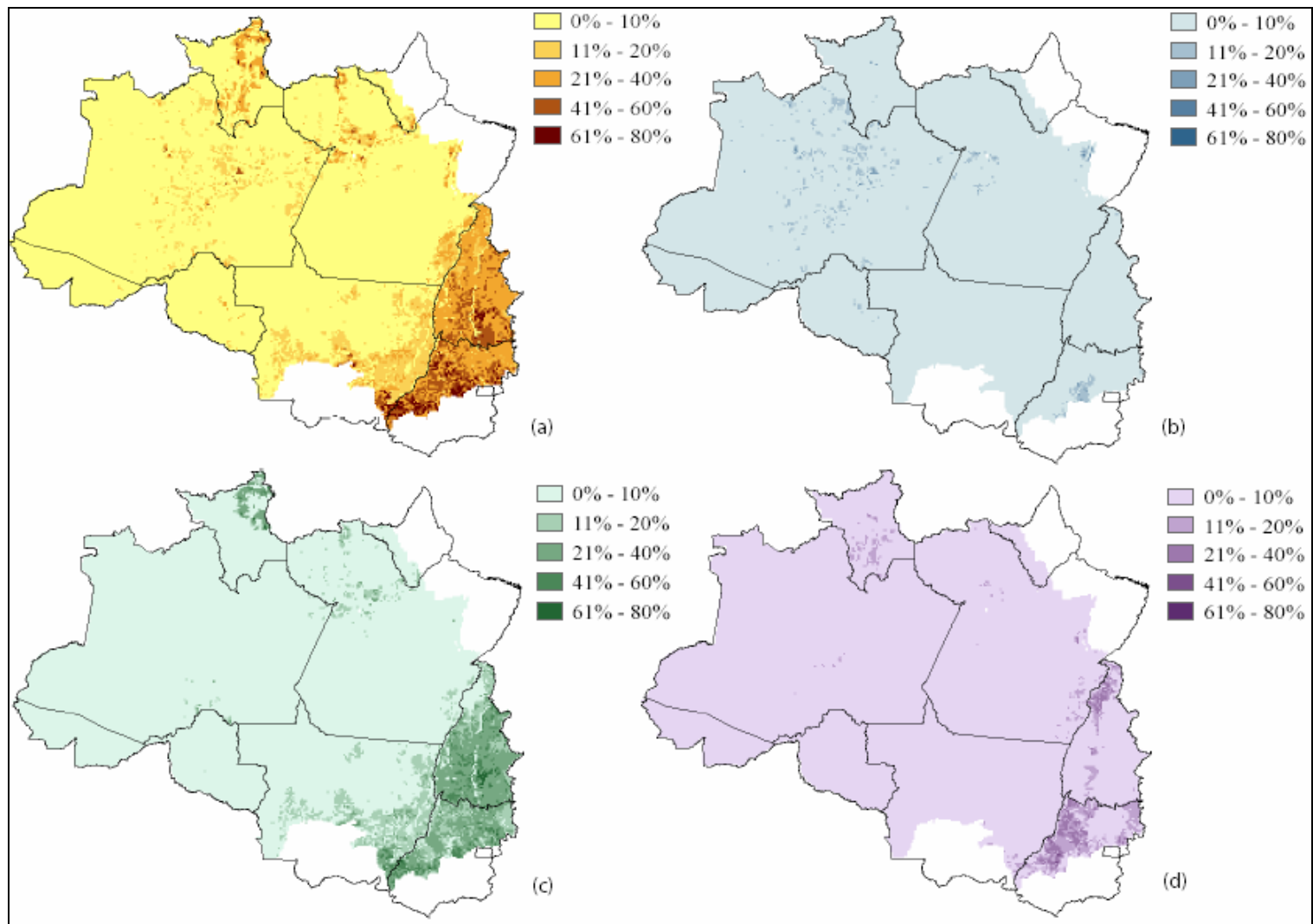


Figura 10 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1975 (AMZ-C-1975). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural e (d) pastagem plantada.

Em 1980, as atividades agrícolas (Figura 11a) aumentaram de intensidade em todo estado do Tocantins, principalmente ao longo das rodovias Belém-Brasília (BR 010) e BR 153, no oeste de Goiás, sudeste de Mato Grosso e nas regiões sudeste e noroeste do Pará, nesta última, o uso da terra se localiza às margens da Rodovia BR 163, apresentando pixels com até 80% de sua área coberta por algum uso da terra. Neste ano, observa-se uma expansão dessas atividades para o leste do Acre e sudeste de Rondônia e já é possível notar uso da terra ao longo da Rodovia Transamazônica (BR 230) no centro do Pará. As culturas agrícolas (Figura 11b) aumentaram de intensidade na região central do estado do Amazonas, particularmente no município de Manacapuru, e no município de Cametá no nordeste do Pará e começam a surgir no sul de Tocantins no município de Alvorada. A pastagem natural (Figura 11c) continua bastante intensa nos estados de Tocantins e Goiás e no leste de Boa Vista em Roraima, aumentando de intensidade no sudeste de Mato Grosso. No sudeste do Pará houve um aumento significativo da pastagem plantada (Figura 11d), assim como no nordeste do Mato Grosso e se intensificando no município de Caracaraí em Roraima, no oeste de Goiás e norte de Tocantins. O uso da terra por pastagem plantada as margens da BR 153, na região central de Tocantins, torna-se ainda mais nítido e mais denso.

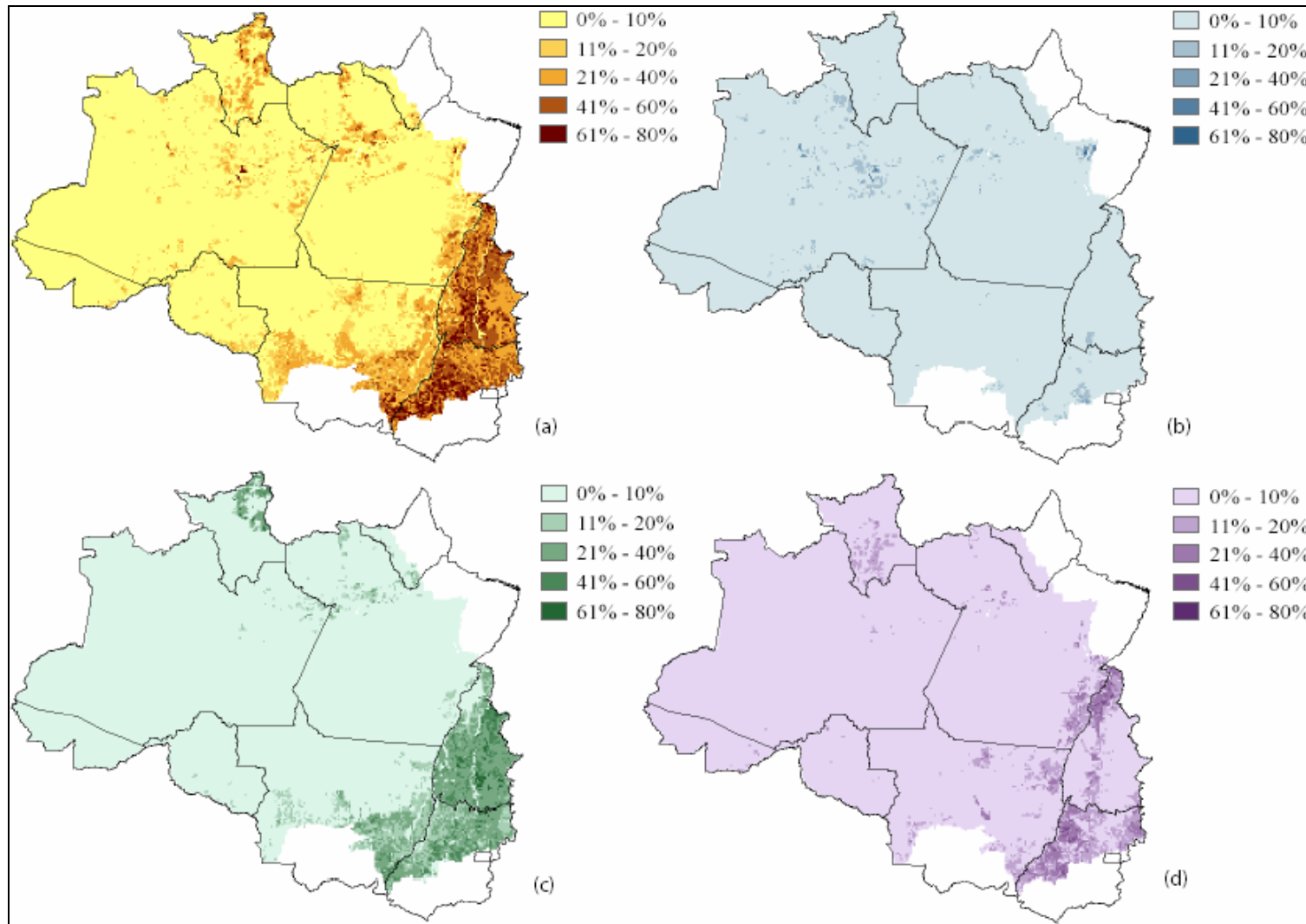


Figura 11 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1980 (AMZ-C-1980). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural e (d) pastagem plantada.

O mapa de uso da terra total para 1985 (Figura 12a) mostra uma maior distribuição das atividades agrícolas nos estados do Mato Grosso, Amazonas e Rondônia, quando comparado ao mapa de 1980. No estado de Mato Grosso o uso da terra se intensificou nas regiões oeste, sudeste e central do estado, principalmente ao longo da BR 163 (Cuiabá-Santarém). Em Rondônia a densidade do uso da terra aumentou nos municípios de Ji-Paraná, Cacoal e Pimenta Bueno às margens da Rodovia Cuiabá-Porto Velho (BR 364) e no município de Vilhena no sudeste do estado. Na região central do estado do Amazonas, principalmente próximo a Manaus, as culturas agrícolas (Figura 12b) aumentaram, particularmente no município de Manacapuru, apresentando pixels com frações que variam entre 21% e 80%, e ao sul no município de Manicoré. As culturas começam a surgir no município de Nobres no Mato Grosso, às margens da BR 163 e no município de Ji-Paraná em Rondônia. A pastagem natural (Figura 12c) continua sendo o uso da terra dominante na Amazônia, porém, em algumas regiões de Tocantins e Goiás nota-se a sua substituição por pastagem plantada (Figura 12d) mostrando que, nesses dois estados, a atividade agrícola continua dividida entre esses dois tipos de uso da terra. Essa transição de pastagem natural para plantada também ocorreu no município de Vila Bela da Santíssima Trindade no oeste do Mato Grosso. Nas porções sudeste e noroeste do Pará, a pastagem plantada se intensifica principalmente nos municípios de Conceição do Araguaia e Alenquer. Isso também acontece no município de Caracaraí em Roraima.

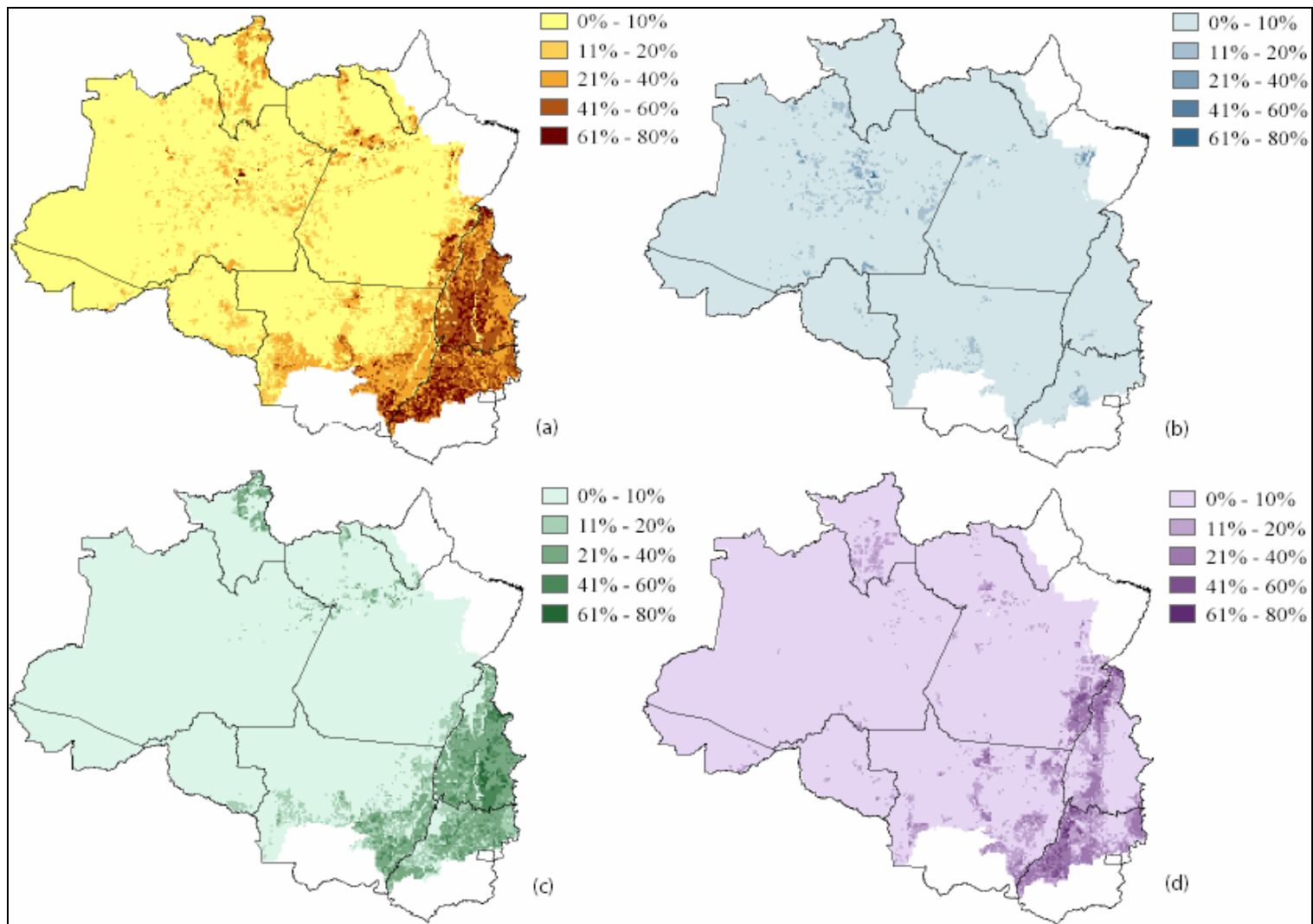


Figura 12 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1985 (AMZ-C-1985). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural e (d) pastagem plantada.

A Figura 13 mostra o produto da fusão de dados de censo agrícola e dados de cobertura da terra baseada em satélite, para 1995, de Cardille et al. [2002]. O mapeamento de culturas agrícolas e pastagens (Figuras 13a-13d) revela uma variada distribuição de área cultivada, pastagem natural e pastagem plantada dentro da região de estudo. Neste ano, nota-se uma expansão significativa da pastagem plantada (Figura 13d) nos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia. Em Rondônia, a maior densidade de pastagem plantada encontra-se ao longo da Rodovia BR 364 e a leste do estado. No estado de Roraima a atividade agrícola é primariamente pastoril, apresentando pastagem natural (Figura 13c) na região norte do estado, concentrando-se a leste do município de Boa Vista, especialmente às margens da BR 174, e pastagem plantada ao sul, nos municípios de Caracará e São Luiz. No Pará a pastagem plantada (Figura 13d) aparece mais intensa nas regiões leste e sudoeste do estado e as margens da Rodovia BR 230 (Transamazônica) na região central. Em Mato Grosso, a atividade agrícola é dividida em culturas agrícolas (Figura 13b) e pastagem plantada (Figura 13d), apresentando culturas em municípios próximos das Rodovias BR 158 e BR 163 e pastagem plantada nas extremidades leste, oeste e norte do estado. Essa mistura também ocorre no noroeste do Pará, sobretudo nos municípios de Santarém, Alenquer e Monte Alegre. Nos estados de Goiás e Tocantins o uso da terra continua sendo predominantemente de pastagem, e neste ano a pastagem plantada se expandiu para as margens da Rodovia Belém-Brasília (BR 010). As culturas agrícolas (Figura 13b) estão mais bem distribuídas no estado do Amazonas, com frações que variam entre 21% e 60%, principalmente nos municípios próximos de Manaus e no município de Barcelos no norte do estado. Essa alta densidade também aparece no nordeste do Pará nos municípios de Cametá e Igarapé-Mirim.

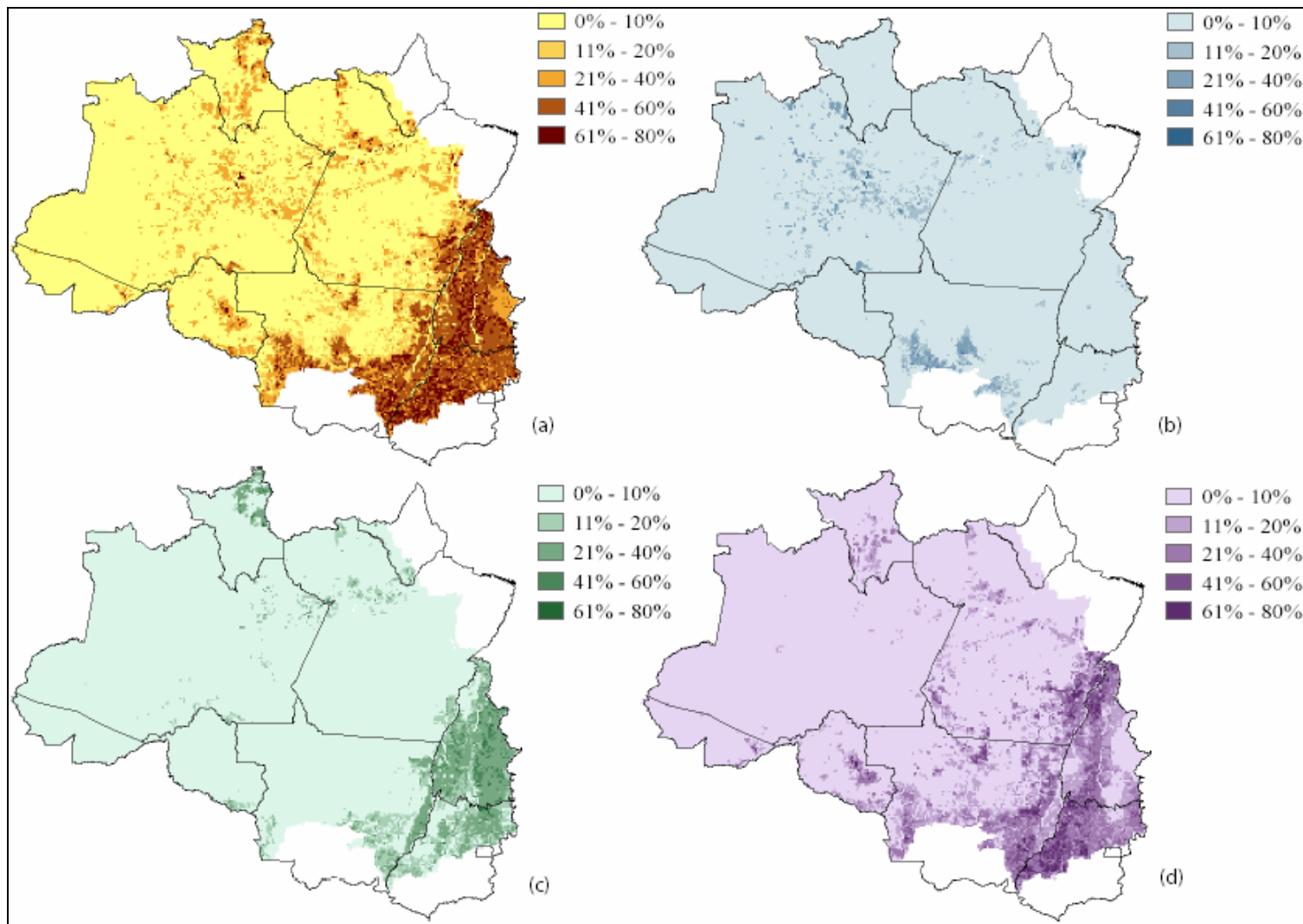


Figura 13 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1995, desenvolvido por Cardille et al. [2002]. (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural e (d) pastagem plantada.

4.2.2. Mapas históricos de uso da terra AMZ-R, baseados na classificação de uso da terra de Ramankutty et al. [2008]

As Figuras 14 a 21 mostram o resultado da reconstrução histórica do uso da terra na Amazônia utilizando dados de censo agrícola e a classificação de uso da terra de Ramankutty et al. [2008]. Nestes mapas estão distribuídas as frações de culturas agrícolas, pastagem natural e pastagem plantada, numa grade com a resolução espacial de 5'.

A Figura 14a apresenta as frações de atividades agrícolas em 1940, as quais se concentram na região sul de Tocantins, no sul do Mato Grosso e em quase todo o estado de Goiás, aparecendo também no nordeste do Pará e norte de Roraima. Essas atividades são predominantemente de pastagens (Figura 14c) com frações variando entre 21% e 60% da área do pixel coberta por esse tipo de uso da terra. As culturas agrícolas (Figura 14b) neste ano começam a surgir no sul do município de Manicoré no estado do Amazonas e no nordeste do Pará nos municípios de Belém, Abaetetuba e Vigia. Alguns pixels, classificados como cultura, também aparecem no extremo norte dos municípios de Tarauacá e Feijó no Acre, próximo da divisa com o estado do Amazonas, sendo que a densidade desse uso da terra dentro dos pixels não ultrapassa os 30%.

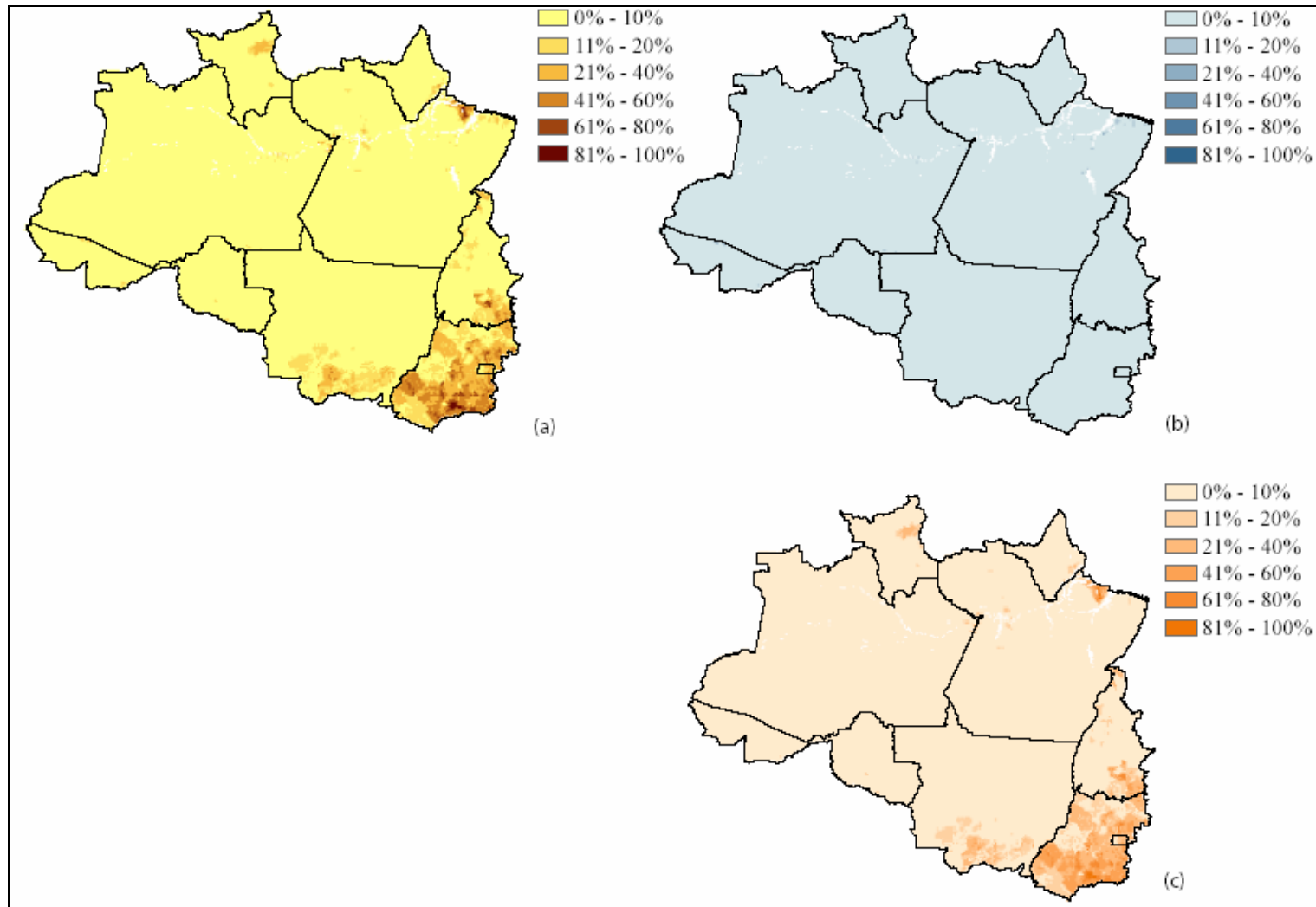


Figura 14 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1940 (AMZ-R-1940). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem total.

Em 1950 as atividades agrícolas (Figura 15a) se intensificaram no sul do Mato Grosso e sul de Goiás e se expandiram ao longo da BR 163, no município de Cuiabá, e por todo o estado de Tocantins. Neste ano, o uso da terra dominante continua sendo a pastagem, particularmente, a pastagem natural (Figura 15c) que aumentou significativamente nos municípios de Barra do Bugres e Cáceres no sul do Mato Grosso. Esse tipo de pastagem é predominante em quase todo o estado de Goiás e Tocantins, ocorrendo também no nordeste do Pará e norte de Roraima. No sul de Goiás começa a surgir a pastagem plantada (Figura 15d) e, na maioria dos municípios ocupados por esse tipo de pastagem, há também a presença de pastagem natural; isso indica que nesses municípios a pastagem natural começa a ser substituída. As culturas agrícolas (Figura 15b), em quase toda a região de estudo, foram menores que 10% ou nulas, com exceção de alguns pixels com valores de até 20% de sua área coberta por esse tipo de uso da terra nos municípios de Firminópolis e Nerópolis no sul de Goiás e no município de Maracanã no nordeste do Pará.

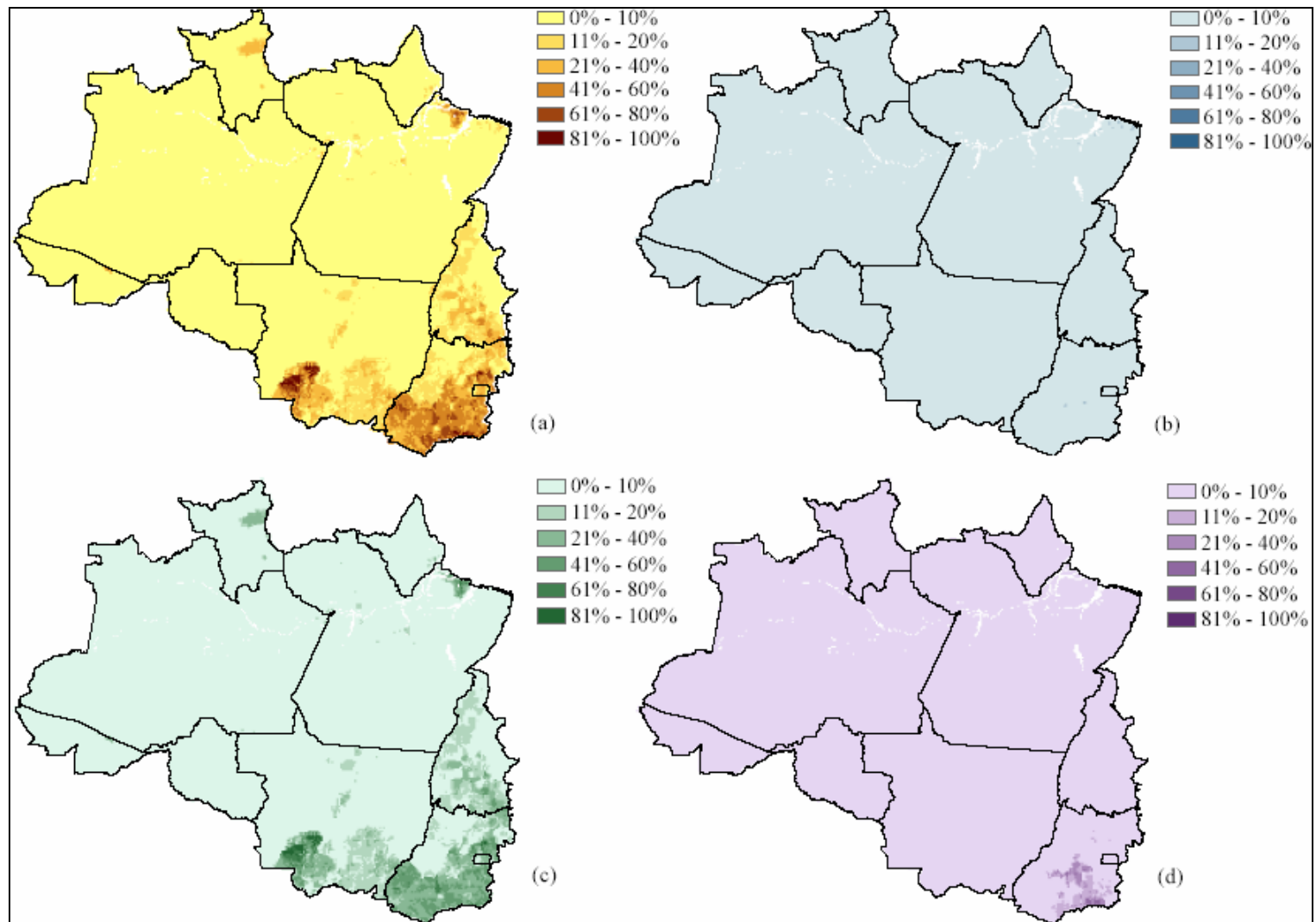


Figura 15 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1950 (AMZ-R-1950). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural e (d) pastagem plantada.

A distribuição das atividades agrícolas em 1960 (Figura 16a) possui o mesmo padrão de 1950; no entanto, a intensidade diminuiu no sul de Mato Grosso e aumentou praticamente em todo o estado de Tocantins e nas regiões sul e central de Goiás. O uso da terra dominante ainda é a pastagem natural (Figura 16c) que se expandiu no oeste de Goiás e em Tocantins, e diminuiu consideravelmente nos municípios de Barra do Bugres e Cáceres no sul de Mato Grosso, desaparecendo ao longo da BR 163 em Cuiabá. Esse tipo de pastagem começa a surgir no sudeste de Roraima e noroeste do Pará e permanece intensa na região nordeste desse estado nos municípios de Ponta de Pedras, Cachoeira do Arará e Soure. A pastagem plantada (Figura 16d) se expande ainda mais em Goiás particularmente no sudoeste do estado e as culturas agrícolas (Figura 16b) começam a surgir nas regiões sul, nos municípios de Itumbiara e Goiatuba, e central, nos municípios de Goianésia e Céres, nesse mesmo estado.

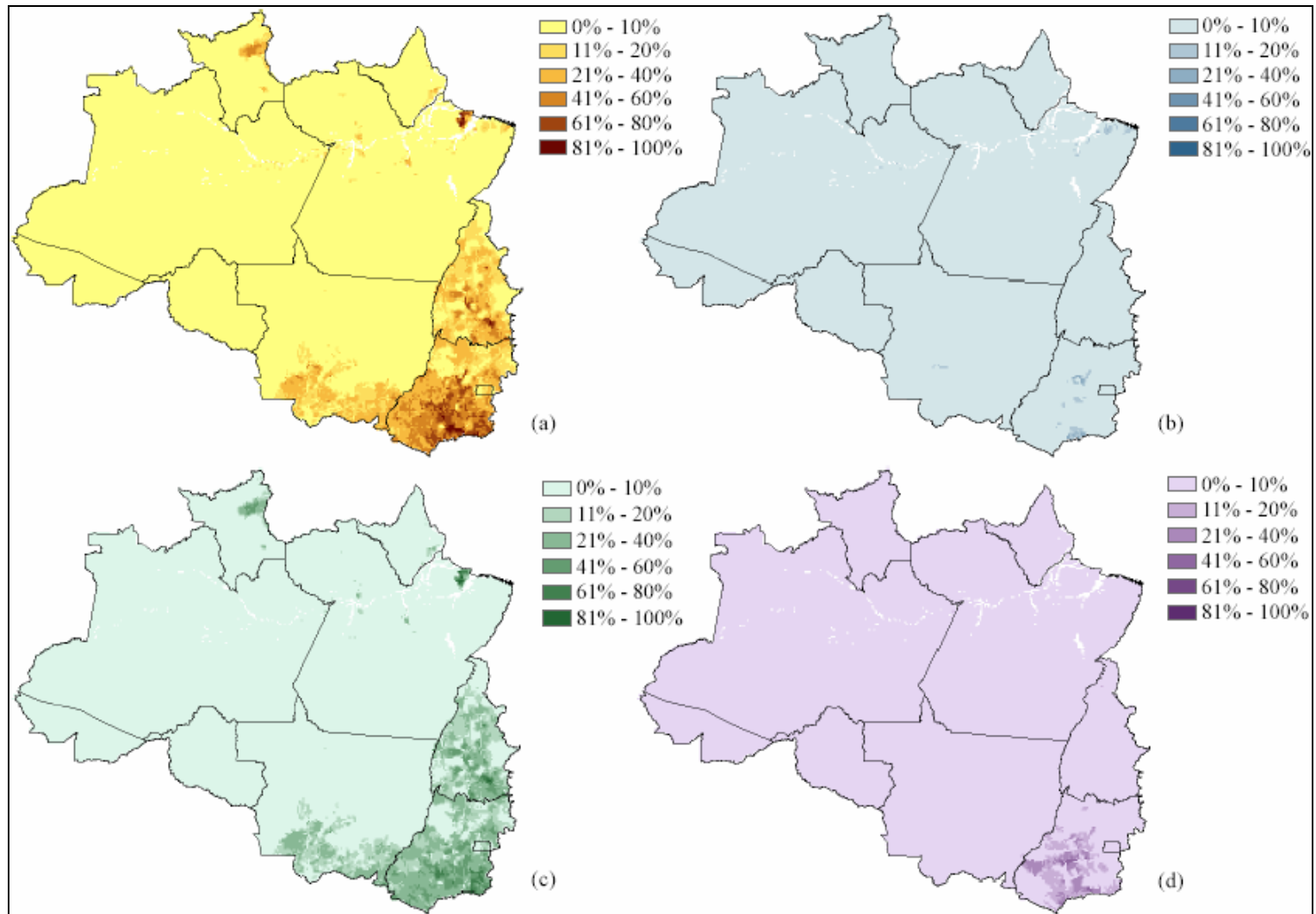


Figura 16 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1960 (AMZ-R-1960). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural e (d) pastagem plantada.

Em 1970, as atividades agrícolas (Figura 17a) se espalharam por todo o leste do estado de Mato Grosso, voltando a surgir ao longo da BR 163 no município de Chapada dos Guimarães. Houve uma intensificação dessas atividades no norte de Roraima e nas regiões noroeste e central do Pará. As culturas agrícolas (Figura 17b) aumentaram ainda mais nas regiões sul e central de Goiás e nos demais estados elas são inferiores a 10% ou nulas. A pastagem natural (Figura 17c) continua cobrindo praticamente todo o estado de Goiás e de Tocantins, e se expandiu na região leste do município de Boa Vista em Roraima e no região leste do estado de Mato Grosso, especialmente no município de Barra do Garças e ao longo da BR 163, na região central do estado. A pastagem plantada (Figura 17d) se expandiu para o leste do Pará, sul de Mato Grosso e norte de Tocantins, surgindo também ao longo da Rodovia BR 153. Neste ano podemos notar que a pastagem plantada na região sul de Goiás sofreu algumas modificações, tais como a substituição por pastagem natural em umas áreas e por culturas agrícolas em outras. O fato de algumas áreas voltarem a ter pastagem natural pode ser explicado pelo abandono da pastagem plantada havendo assim a recuperação da vegetação natural.

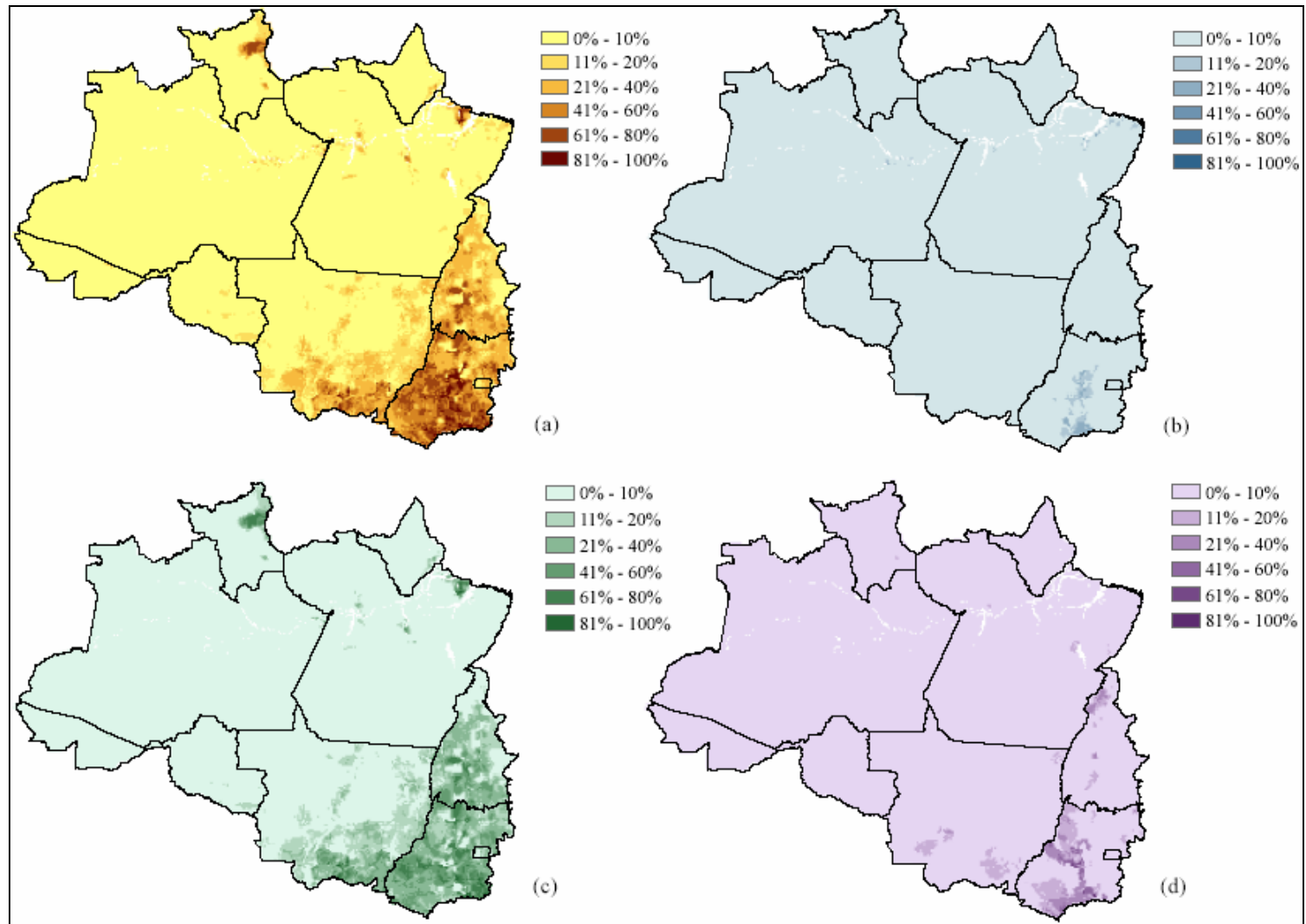


Figura 17 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1970 (AMZ-R-1970). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural e (d) pastagem plantada.

A Figura 18a mostra a distribuição das atividades agrícolas para 1975 em toda a região de estudo. Observa-se um aumento dessas atividades no leste de Rondônia e nas regiões sudeste e nordeste do Pará enquanto que, no sul de Mato Grosso e em quase todo o estado de Tocantins e de Goiás, elas aumentaram de intensidade, assim como no norte de Roraima. Começam a surgir ao leste dos estados do Amapá e Amazonas e ao longo da Transamazônica na região central do Pará. As culturas agrícolas (Figura 18b) começam a surgir no leste de Rondônia e do Pará e se intensificam ainda mais nas regiões sul e central do estado de Goiás, especialmente ao longo da BR 153, apresentando pixels com até 60% de sua área coberta por esse tipo de uso da terra. Os estados de Goiás e Tocantins continuam apresentando, como uso da terra dominante, a pastagem natural (Figura 18c) que cobre também todo o sul de Mato Grosso, leste do município de Boa Vista em Roraima e os municípios de Ponta de Pedras, Cachoeira do Arari, Salvaterra e Soure no nordeste do Pará, começando a surgir no sudeste de Rondônia. A pastagem plantada (Figura 18d) se expandiu em todo o estado de Goiás, principalmente a oeste do estado e aumentaram de intensidade no sul de Mato Grosso, especialmente nos municípios de Barra do Bugres e Rondonópolis e no norte de Tocantins ficando ainda mais evidente esse tipo de uso da terra ao longo da Rodovia BR 153. Esse tipo de pastagem começa a surgir no leste do Pará e na região sudeste do estado ela se mistura a pastagem natural.

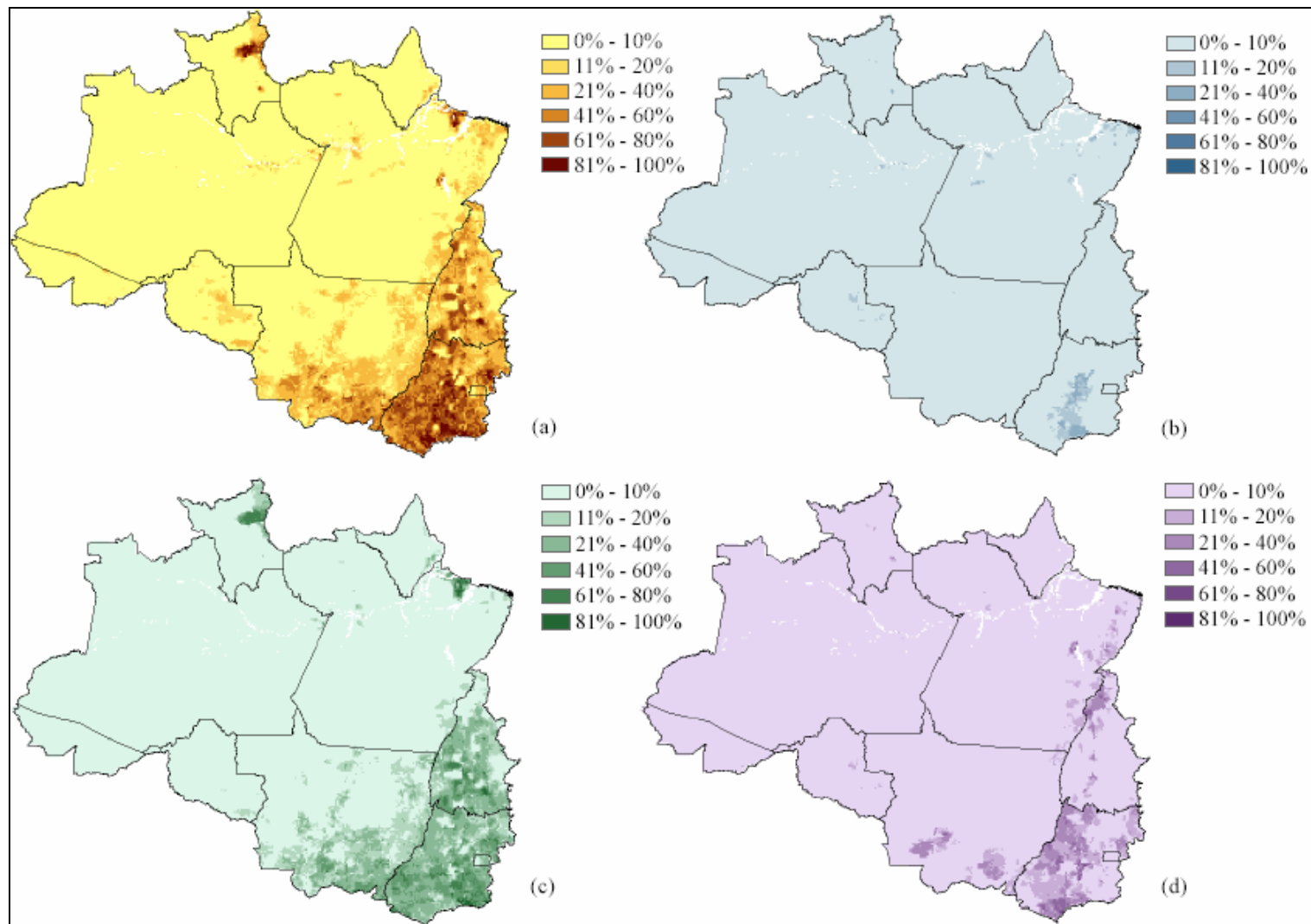


Figura 18 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1975 (AMZ-R-1975). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural e (d) pastagem plantada.

As atividades agrícolas em 1980 (Figura 19a) se intensificaram, principalmente no sul de Mato Grosso, leste e sudeste de Rondônia e nas regiões nordeste e sudeste do Pará. Observa-se que as culturas agrícolas (Figura 19b) se expandiram para o norte e sul de Mato Grosso, especialmente nos municípios de Barra do Bugres, Rondonópolis, Itiquira, Cuiabá, Dom Aquino e Chapada dos Guimarães e no sudeste de Rondônia e aumentaram de intensidade nas regiões sul e central de Goiás. Já a pastagem natural (Figura 19c) diminuiu um pouco nessas mesmas regiões, o que indica que ela pode estar sendo substituída por culturas e em alguns lugares por pastagem plantada (Figura 19d) também. No estado de Mato Grosso a pastagem natural continua com a mesma distribuição espacial que tinha em 1975, porém sua intensidade aumentou em algumas áreas, sobretudo no sul. Apesar disso, a pastagem plantada também se expandiu nesse estado, particularmente nas regiões norte e nordeste e no Pará ela aumentou de intensidade nas regiões sudeste, leste e nordeste do estado. Esse tipo de uso da terra começa a ocorrer também no leste dos estados de Rondônia e Acre, sendo que com baixas frações (entre 11% e 20%).

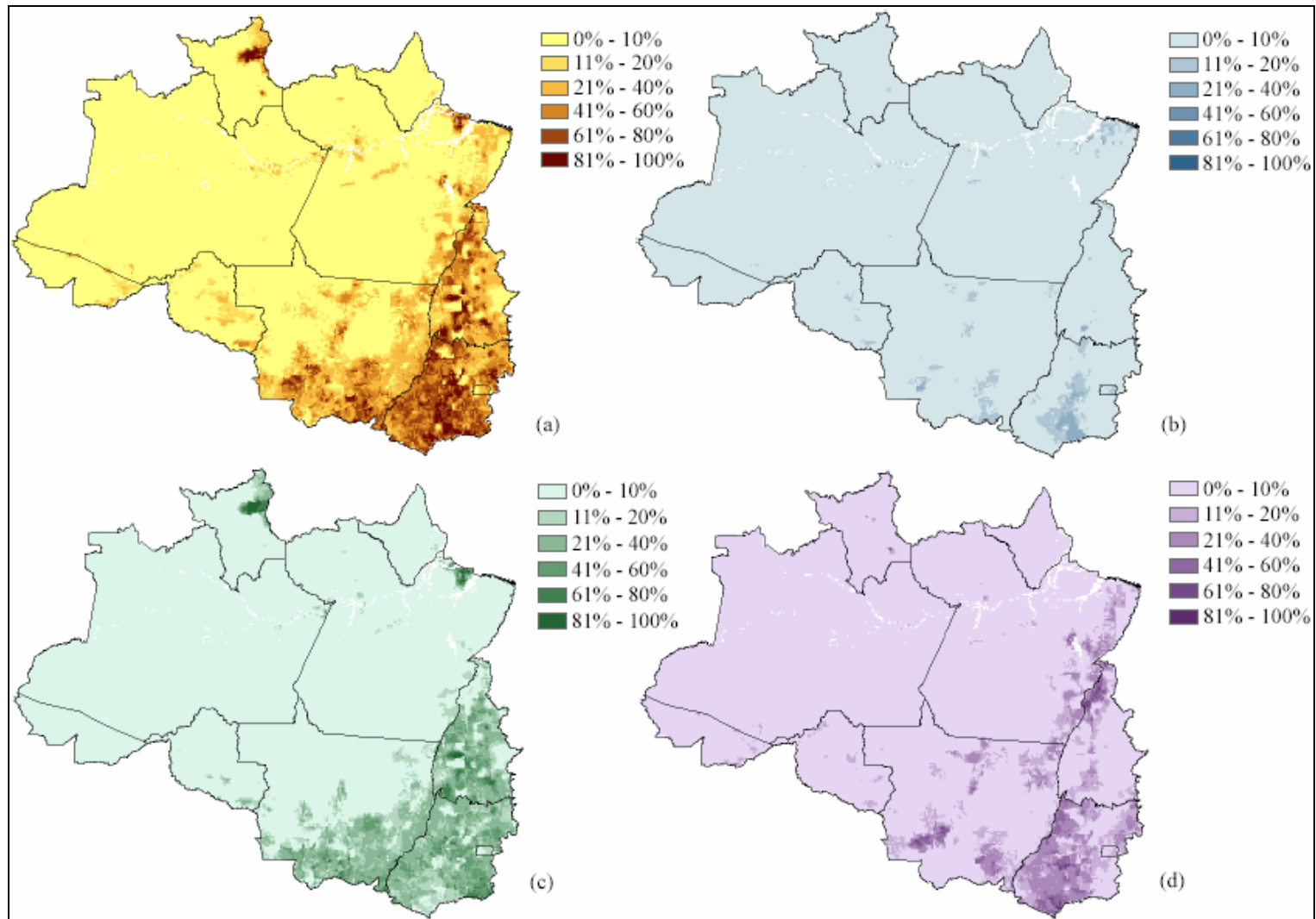


Figura 19 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1980 (AMZ-R-1980). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural e (d) pastagem plantada.

Em 1985, as culturas agrícolas e as pastagens (Figura 20a) continuam bem concentradas na porção sudeste da região de estudo, principalmente em Goiás, Tocantins e Mato Grosso. Essas atividades agrícolas se intensificaram especialmente nos estados de Rondônia e Mato Grosso. Nesse último, fica evidente a distribuição dos cultivos agrícolas ao redor do Parque do Xingu, no norte do estado. Nas demais áreas da região de estudo tanto a distribuição espacial como a intensidade continuaram praticamente as mesmas. Neste ano, o uso da terra que mais se expandiu foi a pastagem plantada (Figura 20d), sobretudo no leste de Mato Grosso, sudeste do Pará e ao longo da BR 153 na região central do estado de Tocantins. A pastagem natural (Figura 20c) continua sendo o uso da terra dominante na região, porém já se percebe a diminuição da mesma em algumas áreas, notadamente no sul de Goiás. As culturas agrícolas (Figura 20b) aumentaram no sul de Tocantins, na região central de Mato Grosso e ao longo da BR 364 em Rondônia, bem como no centro-sul de Goiás. Ao redor do Parque do Xingu surgem os três tipos de uso da terra, entretanto as pastagens aparecem com mais intensidade.

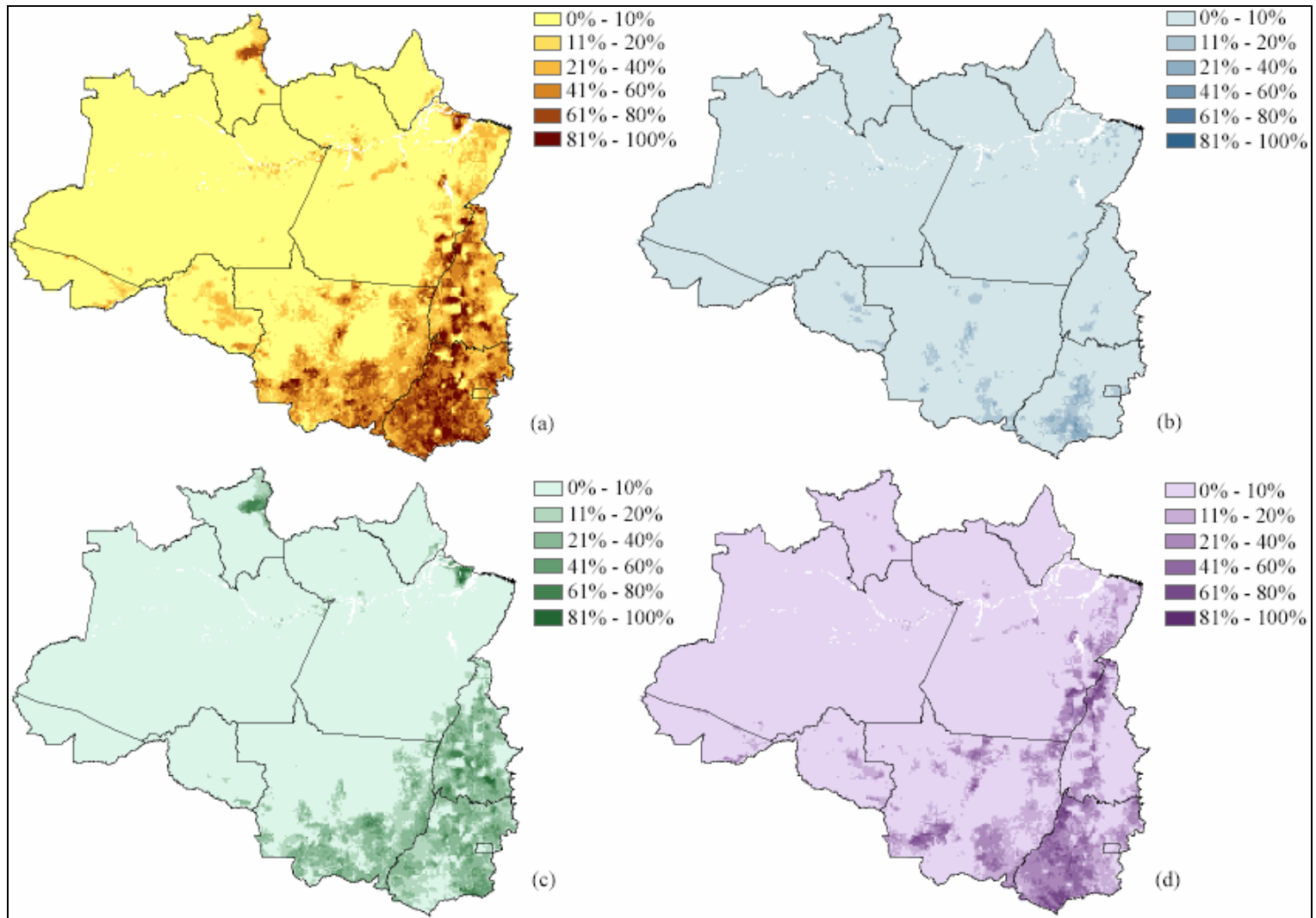


Figura 20 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1985 (AMZ-C-1985). (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem natural e (d) pastagem plantada.

A distribuição de culturas agrícolas e pastagem para 1995 (Figura 21a) feita por Ramankutty et al. [2008] mostra intensa atividade agrícola em toda a região sul e sudeste da área de estudo, principalmente em todo o estado de Goiás, Tocantins, especialmente ao longo das rodovias Belém-Brasília (BR 010) e BR 153, e nas porções sul e sudeste do Mato Grosso. Observa-se também forte densidade dessas atividades ao longo da BR 364 em Rondônia, no norte de Roraima e no sudeste do Pará. O estado do Amazonas apresenta uma densidade muito baixa de práticas agrícolas, as quais aparecem principalmente no leste do estado (ao longo do Rio Amazonas) e são caracterizadas pelo uso da terra por pastagem (Figura 21c) que é o tipo de uso da terra dominante em praticamente toda região de estudo. A pastagem se mostra bastante intensa nos estados de Tocantins, Goiás, Rondônia e nas regiões sudeste e nordeste do Pará. No leste do município de Boa Vista em Roraima a pastagem continua sendo o uso da terra dominante, entretanto, nessa mesma região começam a surgir as culturas agrícolas (Figura 21b) que também se intensificam ao longo da BR 364 em Rondônia. As culturas agrícolas (Figura 21b) estão concentradas, especialmente nas regiões central e sudeste de Mato Grosso e no nordeste do Pará, bem como no sul de Goiás.

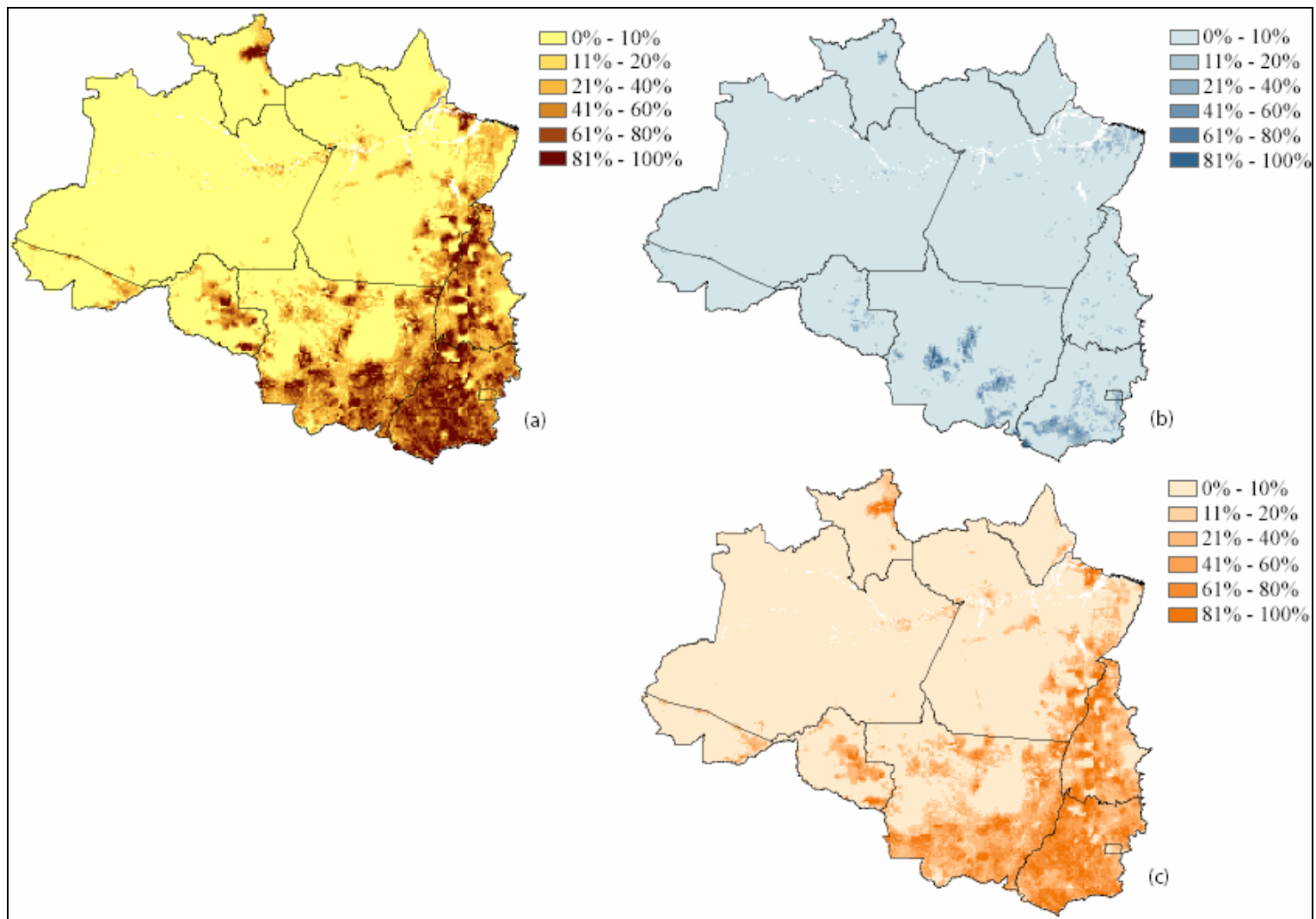


Figura 21 - Uso da terra agrícola na Amazônia em 1995 desenvolvido por Ramankutty et al. [2008]. (a) uso da terra total, (b) culturas agrícolas, (c) pastagem total.

4.2.3. Tendência de longo prazo

As Figuras 22 e 23 apresentam a evolução do uso da terra, no período 1940-1995, para cada estado da região de estudo: (a) Acre, (b) Amazonas, (c) Amapá, (d) Goiás, (e) Mato Grosso, (f) Pará, (g) Rondônia, (h) Roraima, (i) Tocantins e (j) Distrito Federal para os mapas construídos com base em Cardille et al. [2002] e Ramankutty et al. [2008]. Os retângulos brancos representam os percentuais de pastagem natural (PN), os retângulos pretos representam os percentuais de pastagem natural mais pastagem plantada (PN + PP) e os triângulos pretos representam os percentuais de atividades agrícolas totais, ou seja, pastagem natural mais pastagem plantada mais culturas agrícolas (PN + PP + CA).

Os mapas AMZ-C mostram que houve um crescimento exponencial das atividades agrícolas totais em quase todos os estados (Figura 22) especialmente a partir de 1950. Porém, em alguns estados, como Acre (Figura 22a), Goiás (Figura 22d), Mato Grosso (Figura 22e) e o Distrito Federal (Figura 22j), esse crescimento só é observado a partir de 1960. No caso do Distrito Federal, as atividades agrícolas se mantiveram constante até 1950, decrescendo consideravelmente até 1960, quando voltam a crescer. O estado do Acre também apresenta uma diminuição do uso da terra entre 1950 e 1960, diminuindo as atividades agrícolas de 0,55% em 1950 para 0,17% em 1960. Esse decréscimo ocorreu devido à diminuição no uso da terra por pastagem natural. Em todos os estados podemos observar um decréscimo da pastagem natural e um aumento da pastagem plantada, simultaneamente. Contudo, em alguns estados, tais como Acre (Figura 22a), Amazonas (Figura 22b), Pará (Figura 22f) e Rondônia (Figura 22g), o aumento da pastagem plantada foi acompanhado por uma estabilidade da pastagem natural. Nos estados do Amazonas e do Amapá (Figura 22c) houve uma diminuição das atividades agrícolas totais entre 1940 e 1950, porém, a pastagem continuou crescendo nesse período, o que indica que a

diminuição ocorreu no uso da terra por culturas agrícolas. Os estados de Roraima (Figura 22h) e Amapá (Figura 22c) apresentam uma diminuição no uso da terra total entre 1980 e 1985, que ocorreu devido à diminuição no uso da terra por pastagem natural. Esse tipo de uso da terra começa a diminuir no estado de Goiás a partir de 1970, passando de 27,9% em 1970 para 15,4% em 1995, enquanto isso a pastagem plantada aumenta de 6,65% em 1970 para 33,58% em 1995. No estado de Tocantins (Figura 22i) a pastagem natural começa a decrescer a partir de 1980, sofrendo uma ligeira diminuição até 1995, já no estado de Mato Grosso, ela decresce a partir de 1985, passando de 6,39% nesse ano para 3,99% em 1995. No Distrito Federal, a pastagem natural começa a diminuir em 1975, quando cobria 29,5% de seu território, passando para 10,05% em 1995.

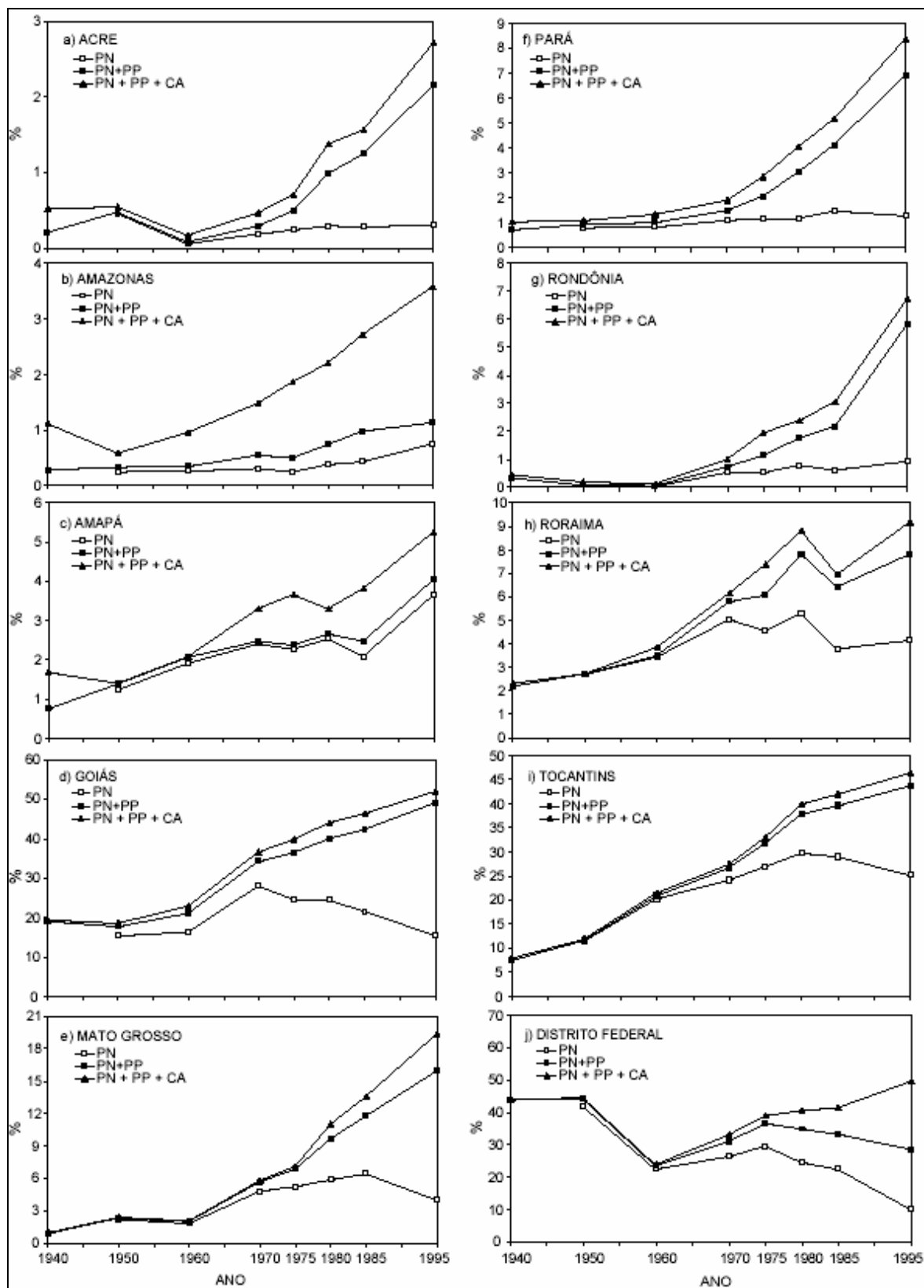


Figura 22. Evolução do uso da terra no período 1940-1995 de acordo com os mapas AMZ-C para cada estado da região de estudo. PN indica pastagem natural, PP indica pastagem plantada e CA indica culturas agrícolas.

A evolução do uso da terra de acordo com os mapas AMZ-R, mostrada na Figura 23, é bastante similar à dos mapas AMZ-C (Figura 22) na maioria dos estados, porém, em alguns casos, com maiores intensidades. Assim como nos mapas AMZ-C, as atividades agrícolas apresentam um crescimento exponencial a partir de 1960 em alguns estados, tais como Acre (Figura 23a), Goiás (Figura 23d), Mato Grosso (Figura 23e), Pará (Figura 23f), Rondônia (Figura 23g) e no Distrito Federal (Figura 23j). Nos estados do Amapá (Figura 23c) e de Tocantins (Figura 23i) as atividades agrícolas começam a crescer exponencialmente a partir de 1950, enquanto que no estado do Amazonas (Figura 23b) elas iniciam seu crescimento apenas em 1970. Já no estado de Roraima as atividades agrícolas cresceram exponencialmente desde 1940 até 1980, quando começaram a diminuir, voltando a crescer em 1985. Outra característica concordante entre os mapas AMZ-R e AMZ-C é que nos estados do Acre, Amazonas, Pará e Rondônia, a pastagem natural permanece praticamente constante a partir de 1960 enquanto que a pastagem plantada aumenta. As maiores expansões das atividades agrícolas ocorreram nos estados de Goiás, Mato Grosso, Tocantins e no Distrito Federal onde atingiram 63,94%, 27,75%, 41,95% e 29,34%, respectivamente. Os demais estados não ultrapassaram os 10%, com exceção de Rondônia que chegou a 13,82% de sua área ocupada por atividades agrícolas. A evolução do uso da terra no Distrito Federal apresenta uma particularidade com relação ao mapa AMZ-C; neste as atividades agrícolas permanecem constantes de 1940 até 1950, enquanto que nos mapas AMZ-R elas sofrem um ligeiro aumento até 1950 quando começam a decrescer, voltando a aumentar em 1960.

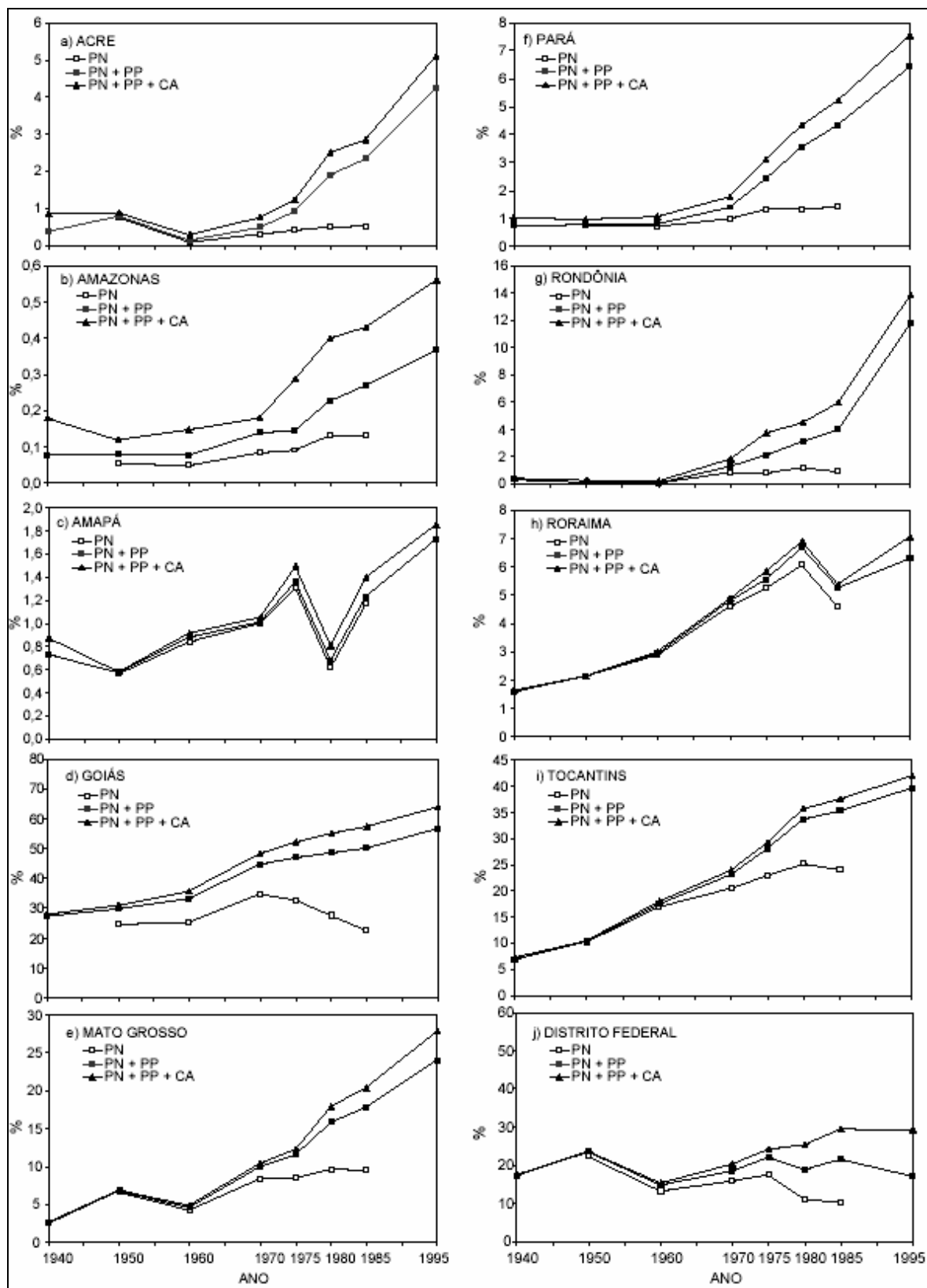


Figura 23. Evolução do uso da terra no período 1940-1995 de acordo com os mapas AMZ-R para cada estado da região de estudo. PN indica pastagem natural, PP indica pastagem plantada e CA indica culturas agrícolas.

5. VALIDAÇÃO DOS BANCOS DE DADOS DE USO DA TERRA PARA AMAZÔNIA

5.1. Comparação entre os mapas de uso da terra AMZ-C, AMZ-R e os mapas de cobertura da terra TRFIC

Uma vez que o banco de dados desenvolvido nesse trabalho compreende épocas em que não existiam dados de sensoriamento remoto, apenas uma parte do banco de dados poderá ser validada. Portanto, a seguir serão comparados os mapas de uso da terra AMZ-C e AMZ-R e os mapas produzidos pelo TRFIC (*Tropical Rain Forest Information Center*) para os anos 1975, 1985, 1992 e 1995 para os estados de Rondônia e Pará.

Os mapas TRFIC produzidos para a região da Amazônia Legal são o resultado científico de pesquisas sobre mudanças no uso e na cobertura da terra. A base de dados TRFIC contém mapas digitais para os anos 1975, 1986, 1992 e 1996, organizados numa grade de 4° x 6° (lat/long), feitos a partir da interpretação de imagens Landsat MSS e TM em diferentes resoluções espaciais (pixels de 28,5 – 57 m ou polígonos quadrados de 1, 8 e

16 km) que são usados em diversos estudos sobre a região [Skole e Tucker, 1993]. As classes das imagens são: floresta, desmatamento, floresta secundária, cerrado, água, nuvem e sombra de nuvem.

5.1.1. Rondônia

As Figuras 24a-24c mostram a comparação visual para Rondônia entre o mapa de uso da terra total AMZ-C-1975, AMZ-R-1975 e o mapa de cobertura da terra TRFIC para 1975, bem como a localização da capital do estado, das principais cidades, da Rodovia BR 364, e dos rios (Figura 22d).

O mapa de cobertura da terra TRFIC (Figura 24c) mostra que, neste ano, praticamente todo o estado de Rondônia era coberto por floresta, contudo apresenta alguns pontos de desmatamento a oeste, no município de Guajará-Mirim, a leste no município de Ouro Preto e a noroeste do estado, próximo ao município de Porto Velho. Quando comparado ao mapa de uso da terra AMZ-C-1975 (Figura 24a), observa-se uma distribuição de pixels com atividades agrícolas similar aos de desmatamento do TRFIC, contudo o mapa AMZ-C-1975 apresenta uma área de uso da terra maior. Já o mapa de uso da terra AMZ-R-1975 (Figura 24c) mostra algumas áreas de similaridade, como por exemplo, a oeste do estado, porém com um pouco mais de intensidade, enquanto que na região leste (ao longo da BR 364) a área de atividades agrícolas é muito maior que a de desmatamento apresentada no mapa TRFIC. Tanto o mapa AMZ-R-1975, como o mapa AMZ-C-1975, apresentam pixels com atividades agrícolas na região sudeste do estado, porém o mapa TRFIC não mostra desmatamento nessa área. Entretanto, o mapa de cobertura da terra TRFIC, para 1975, apresenta uma legenda limitada, com apenas duas categorias (floresta e desmatamento) e mostra muito pouco desmatamento nesse estado, porém já se sabe que nesse período havia bem mais áreas desmatadas em Rondônia.

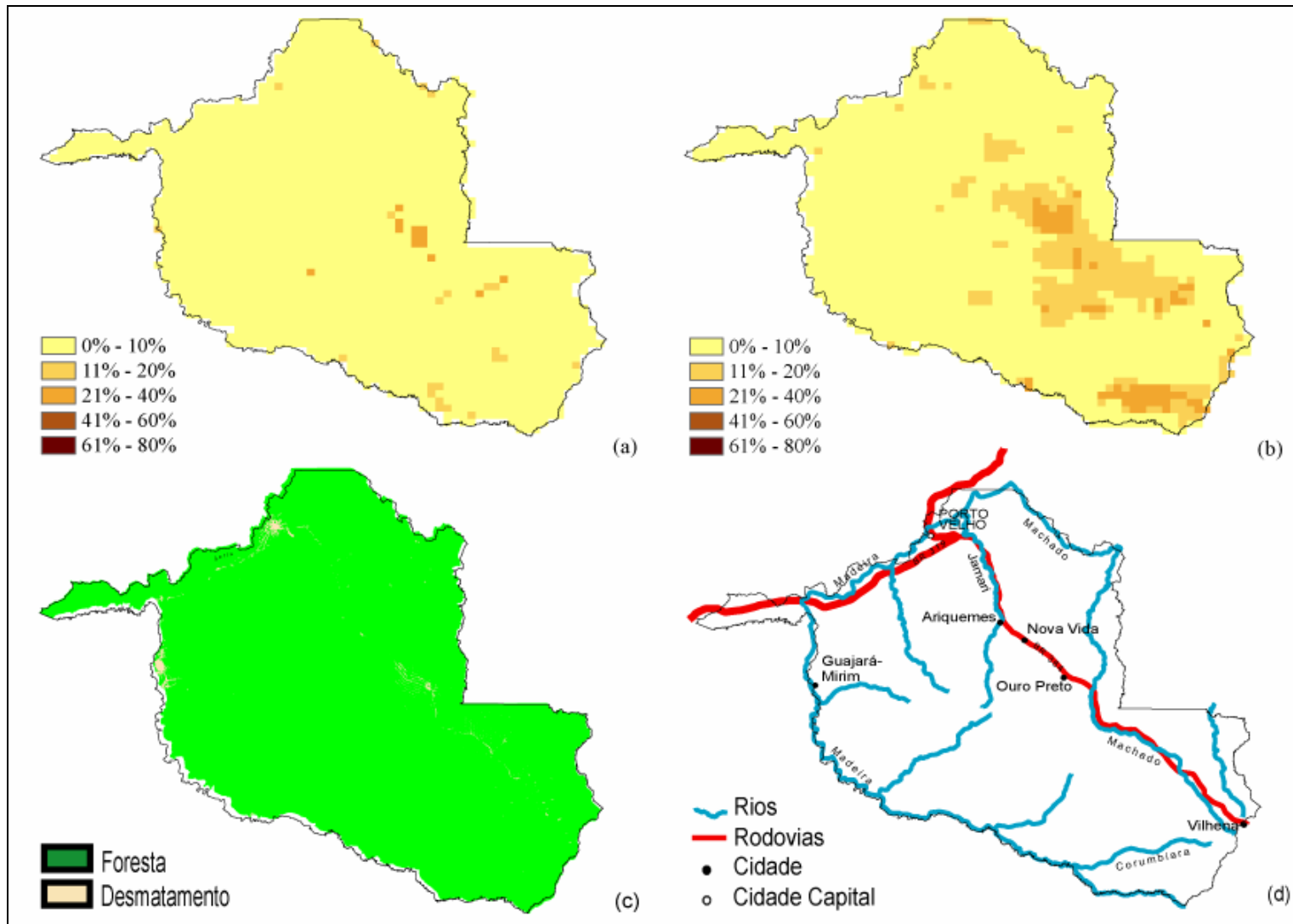


Figura 24. Comparação para Rondônia no ano de 1975 entre (a) o mapa de uso da terra total AMZ-C-1975, (b) o mapa de uso da terra total AMZ-R-1975 e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, principais rodovias e rios.

Em 1985, o mapa de cobertura da terra TRFIC (Figura 25c) mostra que a área desmatada no estado de Rondônia aumentou consideravelmente, sobretudo ao longo da BR 364 e nas regiões sudeste (próximo a Vilhena) e no oeste do estado, no município de Guajará-Mirim. O mapa de uso da terra total AMZ-C-1985 (Figura 25a) mostra pixels com atividades agrícolas comparáveis às áreas de desmatamento do mapa TRFIC, principalmente na região oeste, em Guajará-Mirim e leste, ao longo da BR 364, porém, o mapa AMZ-R-1985 (Figura 25b) representou melhor essa área desmatada, especialmente entre os municípios de Ariquemes e Nova Vida. Já as regiões sul e sudeste, onde o desmatamento foi classificado como Cerrado no mapa TRFIC, foram melhor representadas no mapa AMZ-C-1985 (Figura 25a), tanto em intensidade quanto na distribuição espacial.

O mapa de cobertura da terra TRFIC para 1992 (Figura 26c) mostra uma intensificação do desmatamento ao longo da Rodovia Cuiabá-Porto Velho (BR 364) e na região sudeste do estado, próximo a Vilhena. Tanto o mapa de uso da terra R2008 (Figura 26b) quanto o mapa C2002 (Figura 26a) mostram que nessas mesmas regiões houve uma intensificação das atividades agrícolas; contudo, o mapa R2008 representou melhor essa intensificação, bem como a distribuição espacial, assim como o desmatamento no noroeste do estado, ao longo das margens do Rio Madeira e próximo a capital Porto Velho. Porém, a região classificada como Cerrado no mapa TRFIC continua sendo melhor representada no mapa C2002.

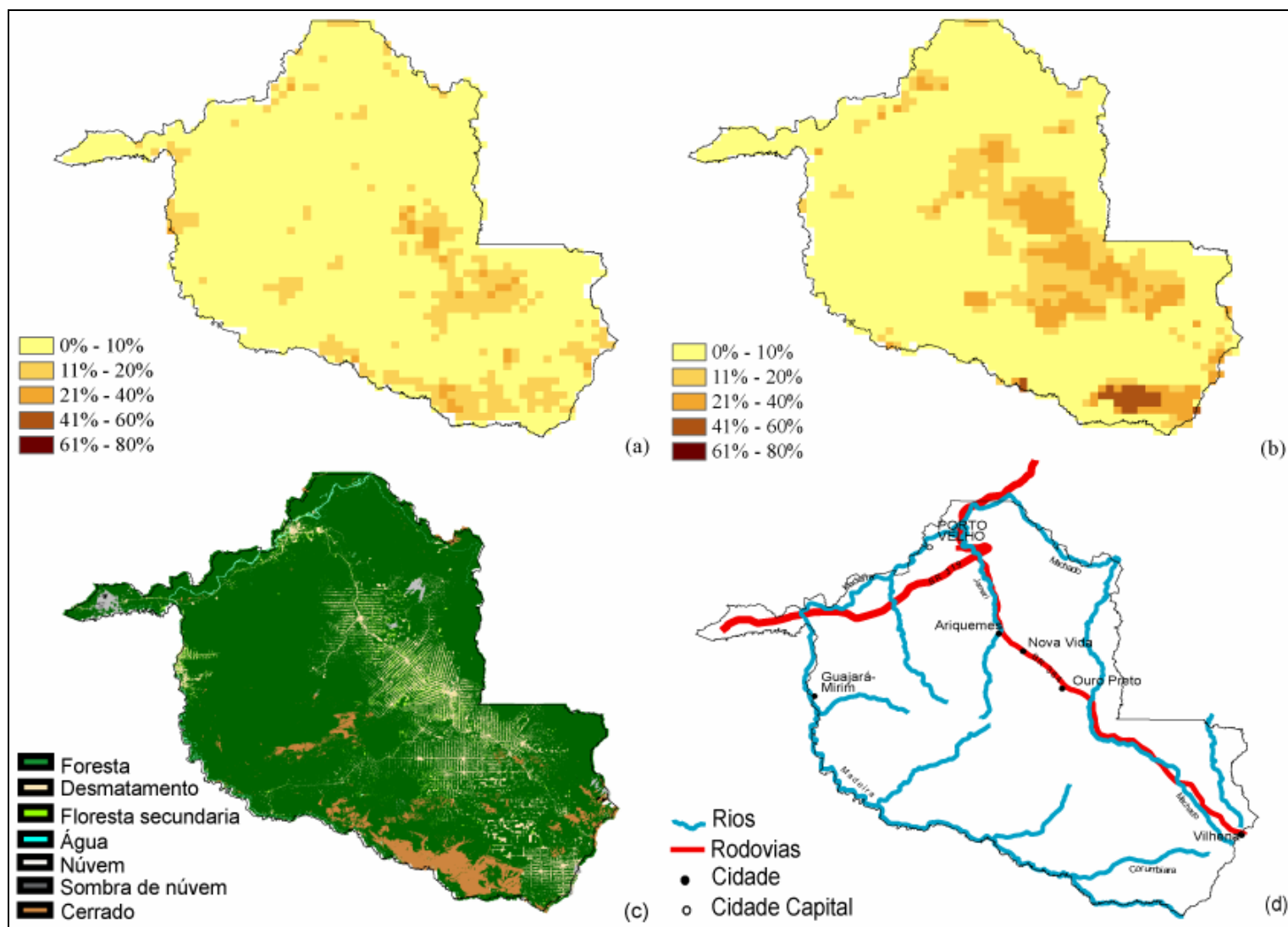


Figura 25. Comparação para Rondônia no ano de 1985 entre (a) o mapa de uso da terra total AMZ-C-1985, (b) o mapa de uso da terra total AMZ-R-1985 e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, principais rodovias e rios.

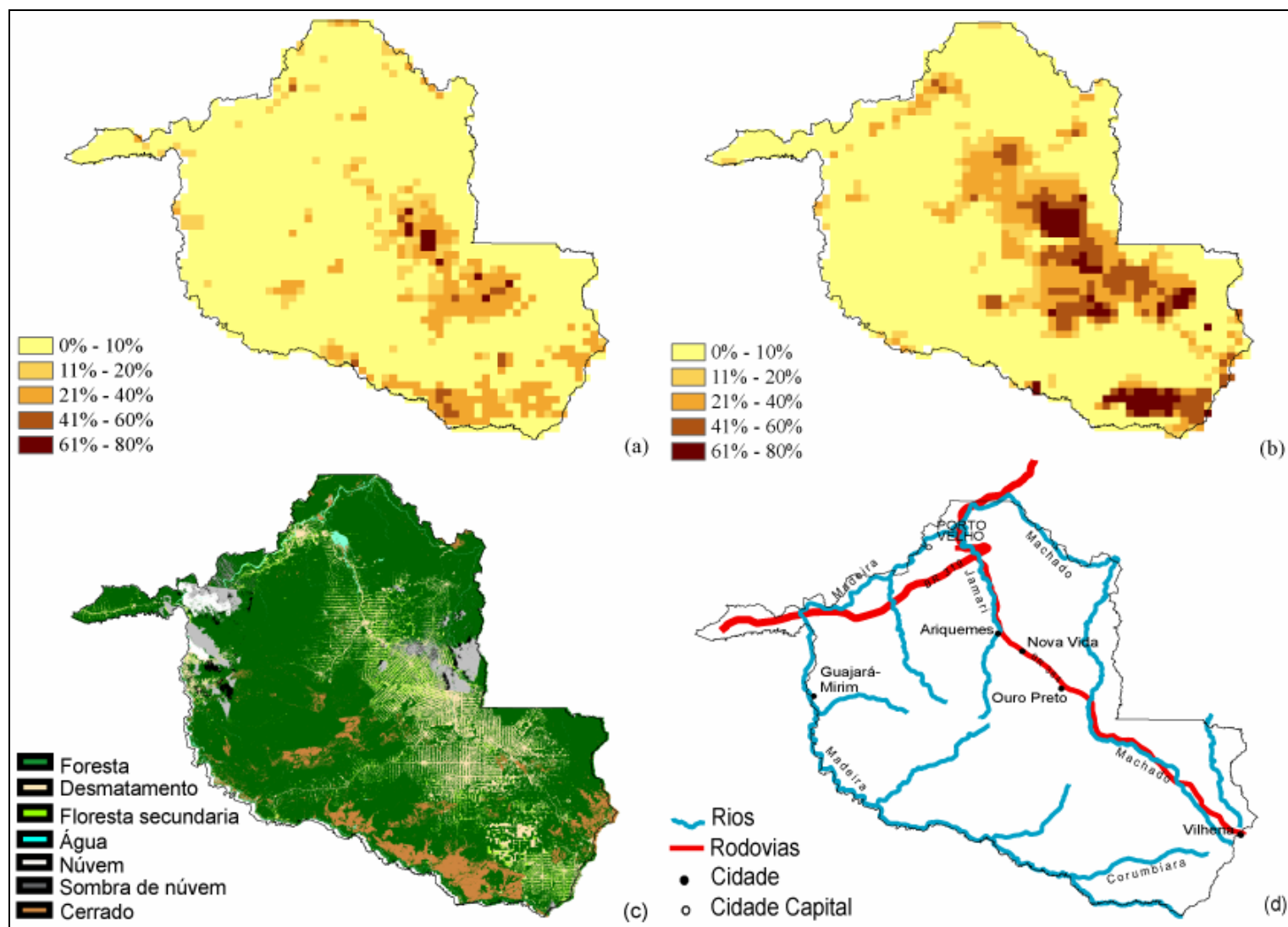


Figura 26. Comparação para Rondônia no ano de 1992 entre (a) o mapa de uso da terra total AMZ-C-1992, (b) o mapa de uso da terra total AMZ-R-1992 e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, principais rodovias e rios.

Em 1995, os mapas de uso da terra total de Cardille et al. [2002] (Figura 27a) e de Ramankutty et al. [2008] (Figura 27b), comparados ao mapa de cobertura da terra TRFIC (Figura 27c), mostram que, nesse ano, tanto na distribuição como na intensidade, o mapa de uso da terra de Ramankutty et al. [2008] representou melhor o desmatamento ao longo da BR 364. O mapa de Ramankutty et al. [2008] também apresenta pixels de atividades agrícolas com distribuição espacial e densidade similar às áreas de desmatamento na região sudeste do estado (entre o município de Vilhena e o Rio Corumbiara). Houve uma expansão do desmatamento ao longo do Rio Madeira no noroeste do estado, que também pode ser visto no mapa de Ramankutty et al. [2008], porém, as regiões classificadas como Cerrado no mapa TRFIC estão melhor representadas no mapa de Cardille et al. [2002], principalmente com relação a distribuição espacial.

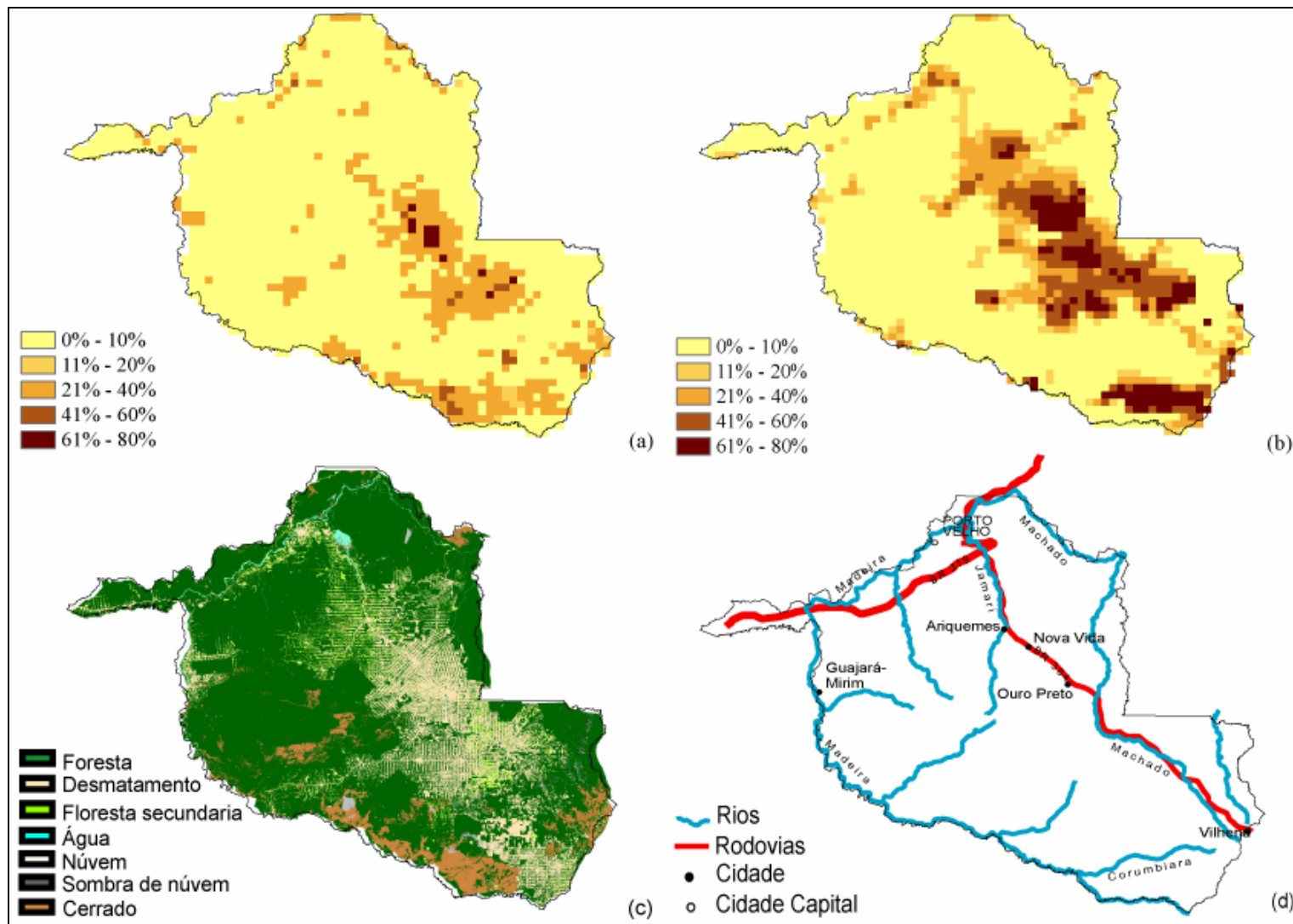


Figura 27. Comparação para Rondônia no ano de 1995 entre (a) o mapa de uso da terra total de Cardille et al. [2002], (b) o mapa de uso da terra total de Ramankutty et al. [2008] e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, principais rodovias e rios.

5.1.2. Pará

As Figuras 28a – 28c mostram a comparação entre os mapas de uso da terra total AMZ-C e AMZ-R e o mapa de cobertura da terra TRFIC para o estado do Pará em 1975. O mapa TRFIC (Figura 28c) indica que, neste ano, praticamente todo o estado é coberto por floresta, com exceção de alguns pontos de desmatamento no noroeste, no município de Santarém, no sudeste, no município de Conceição do Araguaia e no nordeste do estado, entre os municípios de Belém e Cametá. Contudo, tanto o mapa de uso da terra AMZ-C-1975 (Figura 28a) como o mapa AMZ-R-1975 (Figura 28b) mostram uma maior distribuição espacial de atividades agrícolas no estado, como por exemplo, na região noroeste, a qual pode ser observada no mapa AMZ-C-1975, e na região nordeste, que pode ser visto no mapa AMZ-R-1975; já a região sudeste do estado apresenta uma distribuição de atividades agrícolas semelhante nos dois mapas, porém isso não é observado no mapa TRFIC, onde a área de desmatamento é muito menor. Entretanto, o pouco desmatamento observado no mapa TRFIC para este ano pode ser considerado duvidoso, pois sabe-se que na década de 70 houve uma intensa ocupação da região amazônica, devido, principalmente à construção das Rodovias Transamazônica (BR 230) e Cuibá-Santarém (BR 163), ao longo das quais foram criados vários núcleos de colonização oficiais, privados e pelo INCRA e os primeiros núcleos foram instalados nos estados de Mato Grosso, Pará e Rondônia.

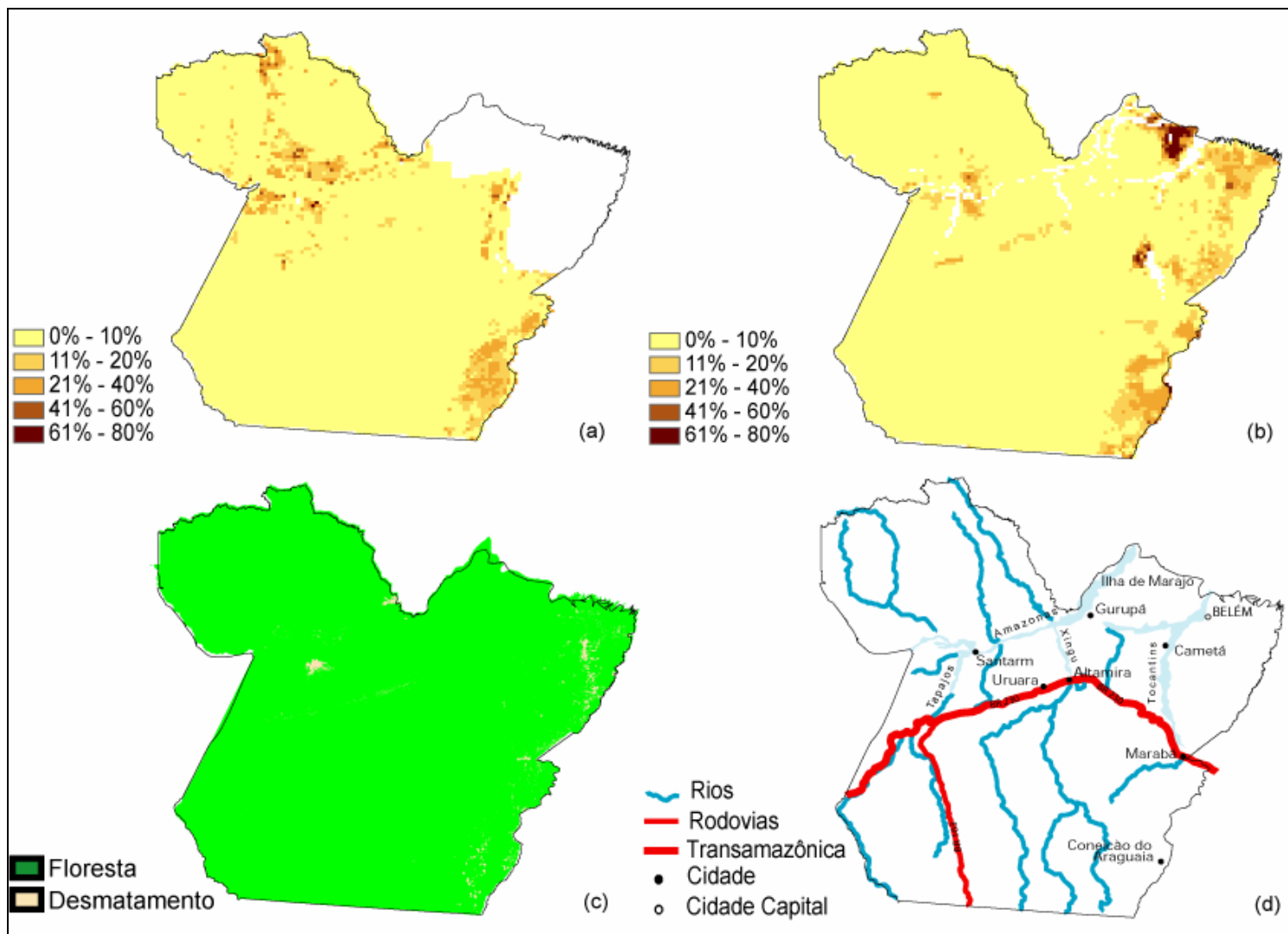


Figura 28. Comparação para o Pará no ano de 1975 entre (a) o mapa de uso da terra total AMZ-C-1975, (b) o mapa de uso da terra total AMZ-R-1975 e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, rodovias e rios.

Em 1985, o mapa de cobertura da terra TRFIC (Figura 29c) apresenta áreas desmatadas nas regiões sudeste, noroeste e nordeste do Pará, bem como ao longo da Rodovia Transamazônica (BR 230) na região central do estado. O mapa de uso da terra AMZ-C-1985 (Figura 29a) mostra uma alta densidade de atividades agrícolas nas regiões sudeste e ao longo da BR230 que correspondem às áreas desmatadas no mapa TRFIC, tanto em distribuição quanto em intensidade, porém este mapa de uso da terra também mostra que há atividades agrícolas na porção sudoeste do estado, ao longo do Rio Tapajós, sendo que nessa mesma região, no mapa TRFIC, não há desmatamento e está classificada como floresta. Assim, tal região fica melhor representada no mapa de uso da terra total AMZ-R-1985 (Figura 29b), o qual não apresenta pixels com atividades agrícolas nesta parte do estado. Outra região melhor representada pelo mapa AMZ-R-1985 é a noroeste, onde a densidade é menor que no mapa AMZ-C-1985 e está mais concentrada, correspondendo melhor a área desmatada no mapa TRFIC. O desmatamento no nordeste do Pará pode ser visto somente no mapa AMZ-R-1985, que representa bem o desmatamento nessa região, principalmente as áreas classificadas como floresta secundária, próximo de Belém, e cerrado na Ilha de Marajó. No sul do estado, podemos observar o início das atividades agrícolas ao longo da BR 163 num pequeno trecho próximo a divisa com o estado de Mato Grosso, tal região pode ser vista no mapa TRFIC classificada como cerrado e está melhor representada no mapa de uso da terra AMZ-R-1985, pois o mapa AMZ-C-1985, mostra uma maior dispersão das atividades nessa região.

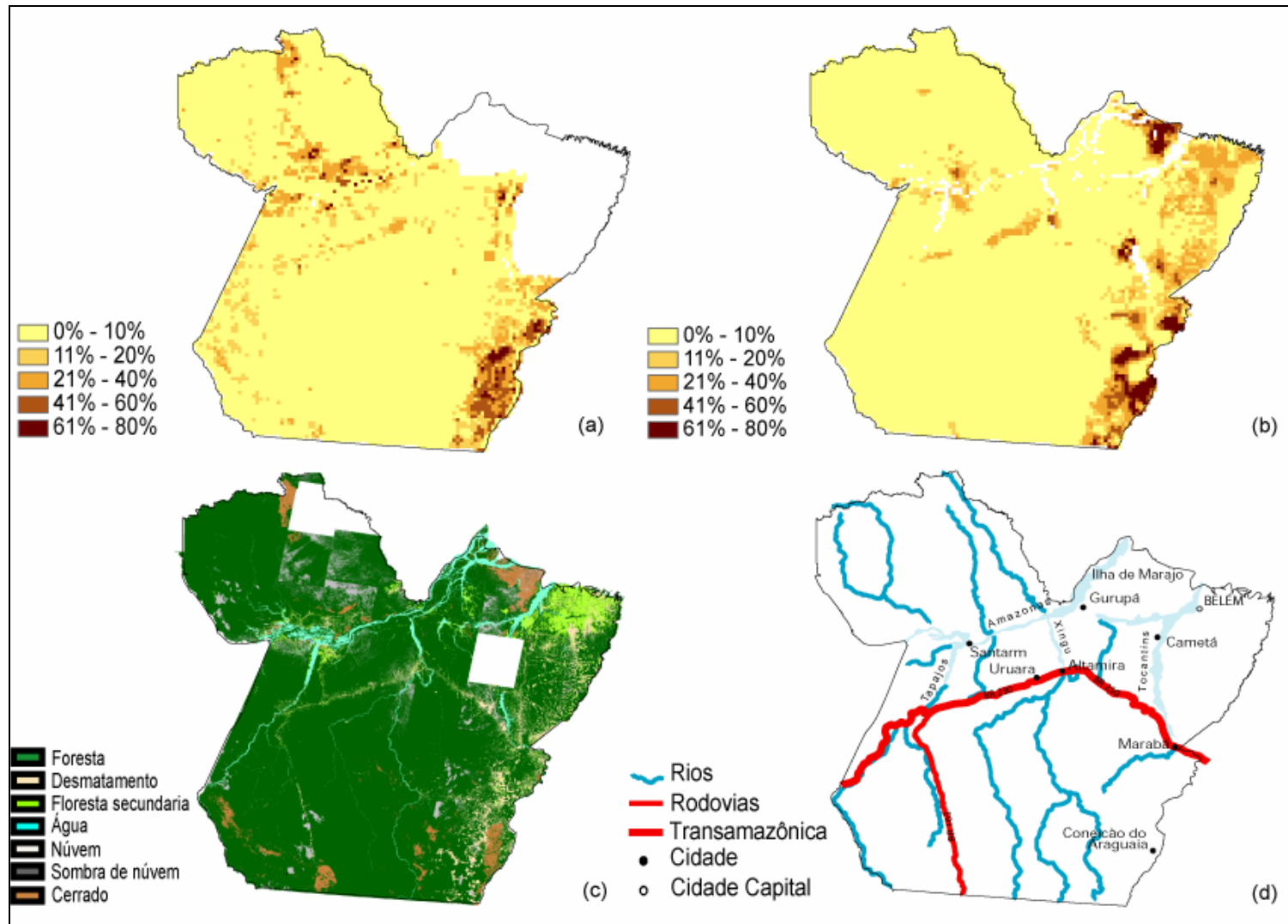


Figura 29. Comparação para o Pará no ano de 1985 entre (a) o mapa de uso da terra total AMZ-C-1985, (b) o mapa de uso da terra total AMZ-R-1985 e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, rodovias e rios.

A Figura 30 mostra a comparação, para o ano de 1992, dos mapas de uso da terra total AMZ-C-1992 (Figura 30a) e AMZ-R-1992 (Figura 30b) com o mapa de cobertura da terra TRFIC (Figura 30c). É possível observar que o desmatamento no Pará, neste ano, concentra-se basicamente nas porções leste, sudeste e nordeste do estado, bem como ao longo da Rodovia Transamazônica (BR 230), principalmente em Altamira, na região central e no noroeste, no município de Santarém. O desmatamento ao longo da Transamazônica pode ser visto nitidamente, tanto no mapa AMZ-C-1992, como no mapa AMZ-R-1992, porém está bem mais definido no mapa AMZ-C-1992. Já o desmatamento no noroeste do estado está melhor representado no mapa AMZ-R-1992, principalmente com relação à distribuição espacial. O mapa AMZ-R-1992 também representou melhor as porções oeste e sudoeste do estado, onde não há quase nenhum desmatamento, assim como mostrado no mapa TRFIC, exceto ao longo da BR 163 (Rodovia Cuiabá-Santarém). Contudo, o mapa AMZ-C-1992 representa melhor o desmatamento na região sudeste, dentro e no entorno do município de Conceição do Araguaia, assim como no leste do estado, próximo a Marabá. O desmatamento na região nordeste pode ser visto no mapa AMZ-R-1992, que apresenta o uso da terra por pastagem plantada na área classificada como floresta secundária no mapa TRFIC, bem como na área classificada como cerrado na região da Ilha de Marajó. O fato de ocorrer o uso da terra por pastagem na Ilha de Marajó é justificado pela intensa criação de búfalos na região, sendo a ilha o local de maior rebanho no Brasil.

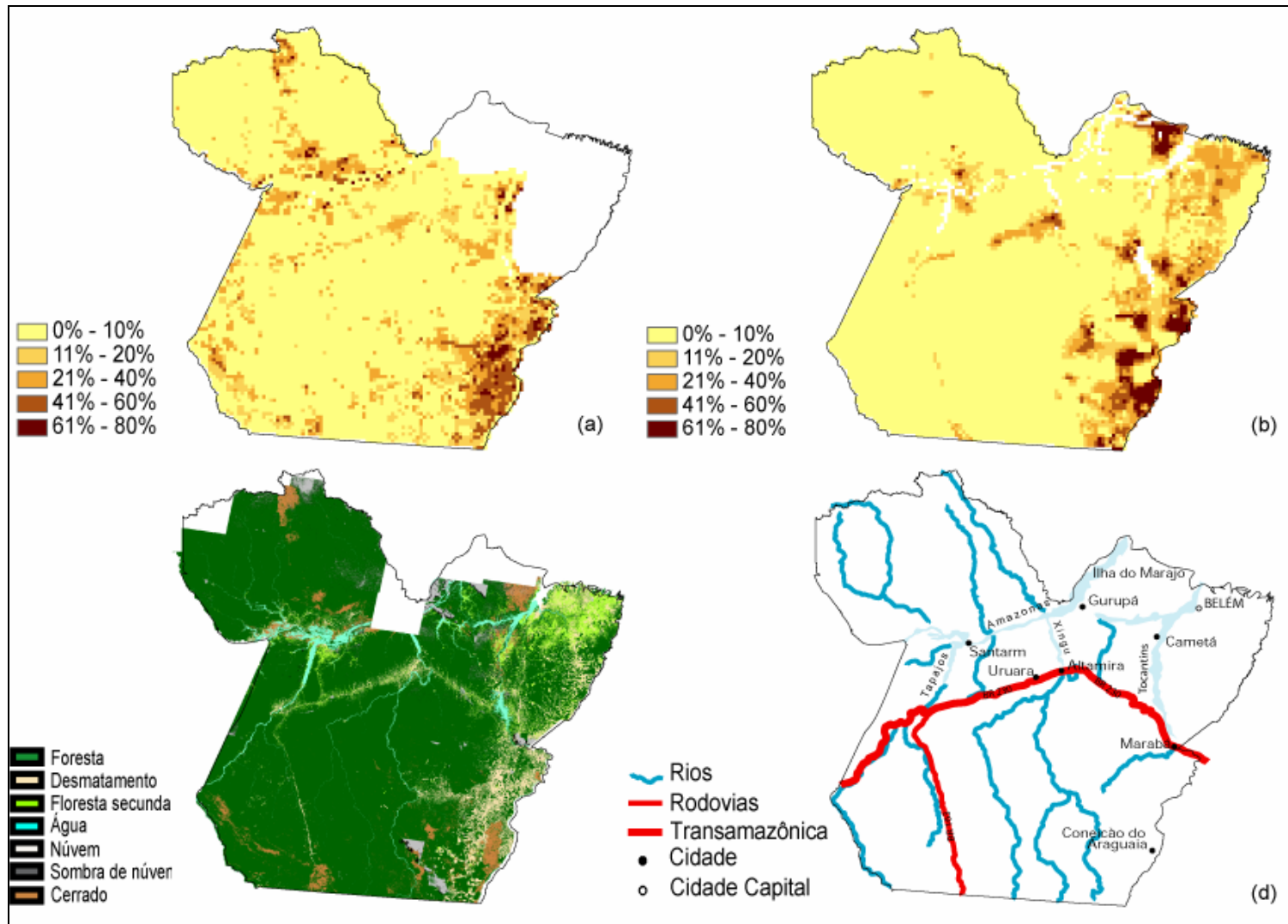


Figura 30. Comparação para o Pará no ano de 1992 entre (a) o mapa de uso da terra total AMZ-C-1992, (b) o mapa de uso da terra total AMZ-R-1992 e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, rodovias e rios.

Em 1995, a comparação dos mapas de uso da terra total de Cardille et al. [2002] (Figura 31a) e de Ramankutty et al. [2008] (Figura 31b) com o mapa de cobertura da terra TRFIC (Figura 31c), somente poderá ser feita para as regiões leste e sudeste do estado, ao longo de alguns trechos da Rodovia Transamazônica (BR 230) e ao longo da Cuiabá-Santarém (BR 163), devido a falhas no mosaico de imagens, que ocorreram provavelmente pela presença de nuvens, em praticamente todo o norte do estado. É possível observar que houve uma intensificação do desmatamento no leste e sudeste do Pará, entre os municípios de Marabá e Conceição do Araguaia (Figura 31d), que começa a se estender para a região central do estado. Essa intensificação pode ser vista tanto no mapa de Cardille et al. [2002], quanto no mapa de Ramankutty et al. [2008], porém está melhor representada no mapa de Cardille et al [2002], que mostra também uma distribuição espacial do uso da terra ao longo da Transamazônica similar ao desmatamento nessa mesma área no mapa de cobertura da terra TRFIC, especialmente no trecho que vai de Uruará em direção ao oeste do estado. Contudo, as atividades agrícolas ao longo da BR 163 estão melhor representadas no mapa de Ramankutty et al. [2008], que mostra também uma distribuição do uso da terra parecido com a área desmatada acima do município de Marabá. O mapa de Ramankutty et al. [2008] mostra que não há presença de atividades agrícolas na região sudoeste do estado. Isto está condizente com o mapa TRFIC que não mostra desmatamento nessa área, enquanto que no mapa de Cardille et al. [2002] podemos observar uma vasta distribuição de uso da terra nessa região.

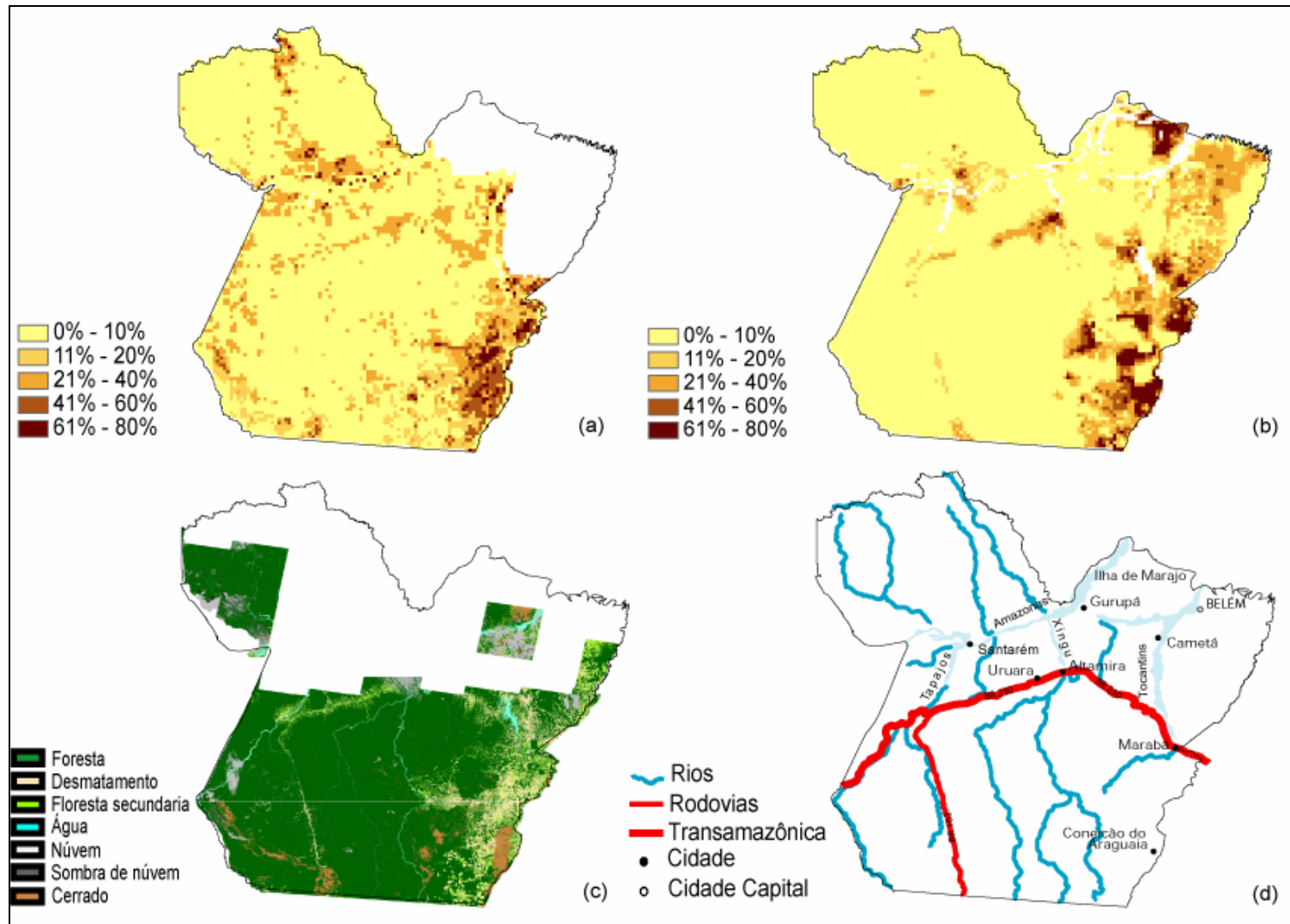


Figura 31. Comparação para o Pará no ano de 1995 entre (a) o mapa de uso da terra total de Cardille et al. [2002], (b) o mapa de uso da terra total de Ramankutty et al. [2008] e (c) o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat). A Figura (d) mostra a localização da capital, principais cidades, rodovias e rios.

5.2. Comparação entre os bancos de dados AMZ-C-1980 e AMZ-R-1980 e os mapas de Cardille e Foley [2003]

Para caracterizar o uso da terra agrícola na Amazônia Brasileira em 1980, Cardille e Foley [2003] utilizaram dados de censo agrícola e o banco de dados para 1995 desenvolvido em Cardille et al. [2002]. Eles desenvolveram mapas representando a densidade de pastagem natural, pastagem plantada e cultivos agrícolas na Amazônia em 1980 usando a combinação do mapa de atividades agrícolas totais para 1995 e os dados estaduais de censo agrícola para 1980 e 1995. Para cada estado, foi determinada a proporção de área agrícola total dada pelo censo entre 1995 e 1980. O valor da densidade agrícola em cada célula da grade de 5' na Amazônia Brasileira em 1995 foi multiplicado pela proporção de atividades agrícolas entre 1995 e 1980 para criar um mapa de densidade agrícola em 1980. O mapa de densidade agrícola total para 1980 foi desagregado em pastagem natural, pastagem plantada e culturas agrícolas utilizando os dados de censo neste ano.

Essa mesma metodologia foi usada para criar os bancos de dados históricos de uso da terra deste trabalho, porém os bancos de dados desenvolvidos utilizaram dados de censo agrícola em nível municipal, enquanto que os mapas de uso da terra para 1980 criados por Cardille e Foley [2003] utilizaram dados de censo em nível estadual.

As Figuras 32a – 32h mostram a comparação entre os mapas de uso da terra AMZ-C-1980 e os mapas desenvolvidos por Cardille e Foley [2003] para o ano de 1980. A distribuição do uso da terra total nos dois mapas (Figuras 32a e 32e) é bastante semelhante, principalmente nas regiões leste, oeste e central do estado de Mato Grosso, nos estados de Goiás e Tocantins, nas porções norte e sul de Roraima e no noroeste do Pará. Porém, no estado do Amazonas e nas regiões leste, sudoeste e ao longo da BR 230 (Transamazônica) no estado do Pará, elas estão mais bem distribuídas no mapa produzido por Cardille e

Foley [2003]. As culturas agrícolas no estado do Amazonas, apresentadas no mapa AMZ-C-1980 (Figura 32b), estão menos distribuídas que no mapa de Cardille e Foley [2003] (Figura 32f), o qual mostra também uma distribuição de pixels com culturas agrícolas no sudeste do Pará, que não é vista no mapa AMZ-C-1980. A pastagem natural possui uma distribuição e intensidade similar nos dois mapas, principalmente nos estados de Tocantins e Goiás e o sudeste de Mato Grosso. Contudo, observa-se diferenças na distribuição da mesma em algumas áreas, tais como a região sul do estado de Roraima, onde, no mapa AMZ-C-1980 (Figura 32c), esse tipo de uso da terra não aparece, enquanto no mapa de Cardille e Foley [2003] (Figura 32g), nessa mesma área, ela é bastante distribuída e intensa. Outra diferença notada entre os dois mapas está nas regiões norte, nordeste e oeste do estado de Mato Grosso, onde a pastagem natural está bem distribuída no mapa de Cardille e Foley [2003], o que não acontece no mapa AMZ-C-1980. A pastagem plantada apresenta distribuições bastantes distintas nos dois mapas, principalmente nos estados de Tocantins, Goiás e Roraima. A principal diferença entre os mapas pode ser observada no mapa AMZ-C-1980 (Figura 32d) que mostra uma menor distribuição desse tipo de uso da terra no estado de Tocantins, ocorrendo apenas na região norte do estado e ao longo da BR 153, enquanto que no mapa de Cardille e Foley [2003] (Figura 32h) a pastagem plantada aparece distribuída por todo o estado e com bastante intensidade. O estado de Roraima também apresenta uma diferença significativa entre os dois mapas, pois, na região sul do estado, onde no mapa AMZ-C-1980 observa-se uma distribuição de pixels com pastagem plantada, no mapa de Cardille e Foley [2003] esse tipo de uso da terra é praticamente nulo nessa mesma região.

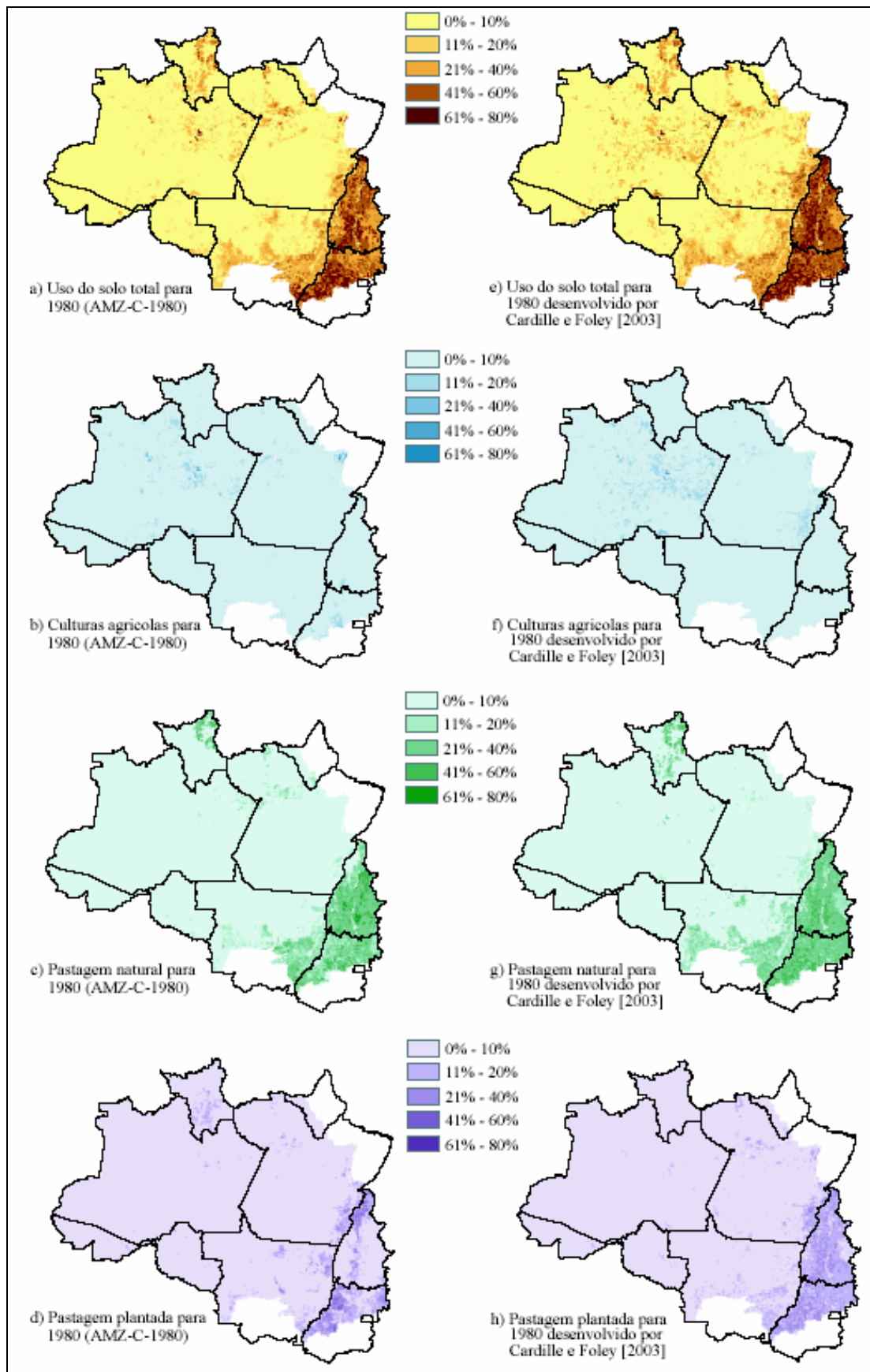


Figura 32. Comparação para 1980 entre os mapas AMZ-C-1980 e os mapas desenvolvidos por Cardille e Foley [2008].

A comparação entre os mapas AMZ-R-1980 e os mapas desenvolvidos por Cardille e Foley [2003] para 1980, mostra uma distribuição das atividades agrícolas bastante distinta em algumas áreas, tais como nos estados de Roraima, Amazonas e nas regiões noroeste e sudoeste do Pará (Figuras 33a e 33e). No mapa de Cardille e Foley [2003], as atividades agrícolas nos estados de Goiás e Tocantins apresentam uma maior distribuição e uma maior intensidade de pixels que no mapa AMZ-R-1980. A distribuição das culturas agrícolas também é bastante distinta nos dois mapas, onde no mapa AMZ-R-1980 (Figura 33b) ela aparece bem concentrada nas regiões sul e central do estado de Goiás e nas regiões sul e norte de Mato Grosso. Nessas mesmas áreas, no mapa de Cardille e Foley [2003] (Figura 33f), esse tipo de uso da terra é praticamente nulo, aparecendo bem distribuído no estado do Amazonas e nas regiões sudeste e noroeste do Pará. A pastagem natural aparece mais intensa e mais difundida, principalmente nos estados de Goiás e Tocantins, no mapa de Cardille e Foley [2003] (Figura 33g), que mostra também uma distribuição, desse tipo de uso da terra, bem maior no estado de Roraima, enquanto que no mapa AMZ-R-1980 (Figura 33c) a pastagem natural aparece bem concentrada na região norte do estado. As regiões sudeste, leste e oeste do estado de Mato Grosso apresentam pequenas diferenças na intensidade e na distribuição dos pixels entre os dois mapas. A pastagem plantada é o tipo de uso da terra que mais apresentou diferenças entre os dois mapas, principalmente na distribuição dos pixels e o estado de Tocantins é o que apresenta a maior diferença, especialmente na distribuição da pastagem. No mapa AMZ-R-1980 (Figura 33d) a pastagem plantada aparece difundida apenas no norte do estado e ao longo da BR 153, enquanto que no mapa de Cardille e Foley [2003] ela está distribuída em todo o estado. O estado de Mato Grosso também apresenta distribuições bastante distintas, assim como o estado do Pará.

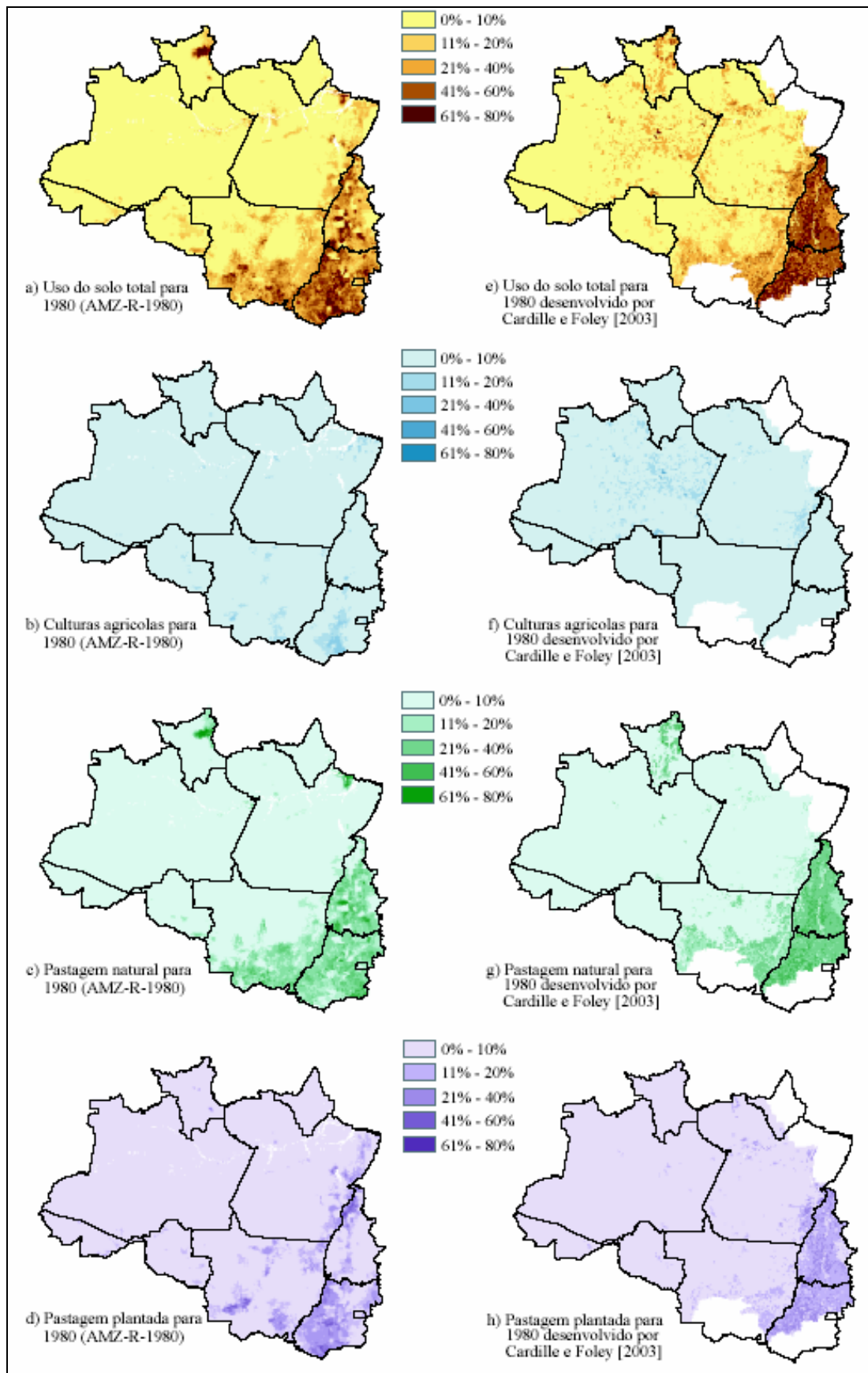


Figura 33. Comparação para 1980 entre os mapas AMZ-R-1980 e os mapas desenvolvidos por Cardille e Foley [2008].

5.3. Diferença entre o produto de Ramankutty et al. [2008] e o de Cardille et al. [2002]

Os produtos de uso da terra de Cardille et al. [2002] e de Ramankutty et al. [2008] foram construídos através da fusão de dados de censo agrícola e dados de sensoriamento remoto, porém os bancos de dados de cobertura da terra baseados em satélite e a metodologia utilizada para fundir esses dados com os de censo agrícola são diferentes. Cardille et al. [2002] fundiram os dados do censo agrícola de 1995 com um produto de classificação de cobertura da terra, para o ano de 1992, baseado no sensor AVHRR, enquanto Ramankutty et al. [2008] utilizaram uma classificação de cobertura da terra, para o ano 2000, baseada no sensor MODIS. Os métodos estatísticos utilizados nos dois trabalhos para fundir as classificações de cobertura da terra e os dados de censo foram diferentes. Cardille et al. [2002] utilizaram a análise da árvore de regressão para fundir a classificação UMD baseada no AVHRR com os dados de censo (mais detalhes ver Cardille et al. [2007]). Já Ramankutty et al. [2008] desenvolveram uma nova classificação de cobertura da terra através das possíveis combinações entre os dois bancos de dados baseados no MODIS e depois calibraram essa nova classificação com os dados de censo (mais detalhes ver Ramankutty et al. [2008]).

As diferenças temporais entre os bancos de dados de cobertura da terra e de censo agrícola, bem como dos sensores remotos e nos métodos estáticos utilizados para fundir os dados de censo aos dados de satélite, acarretaram numa distribuição de uso da terra bastante distintas em algumas áreas da região de estudo entre os dois mapas de uso da terra total. Quando subtraímos o mapa de Cardille et al. [2002] (Figura 34b) do de Ramankutty et al. [2008] (Figura 34a) é possível observar que os maiores erros (acima de 30%) ocorrem ao longo da BR 364 no estado de Rondônia, no norte de Roraima, em vários pontos dos estados de Mato Grosso, Tocantins e Goiás, e sudeste do Pará (Figura 34c) e os menores (abaixo de -30%) em alguns pontos na região central de Tocantins, norte de Goiás

e leste do Pará. No estado do Amazonas o produto de Ramankutty et al. [2008] subestimou o uso da terra (entre -30% e -10%) em toda a região central e superestimou (entre 10% e 30%) na região leste, ao longo do Rio Amazonas. No estado do Pará, o produto de Ramankutty et al. [2008] também subestimou o uso da terra nas regiões noroeste e sudoeste do estado. No Acre e na região central do Mato Grosso os erros ocorreram entre 10% e 30%, assim como ao longo da Rodovia Transamazônica na região central do Pará.

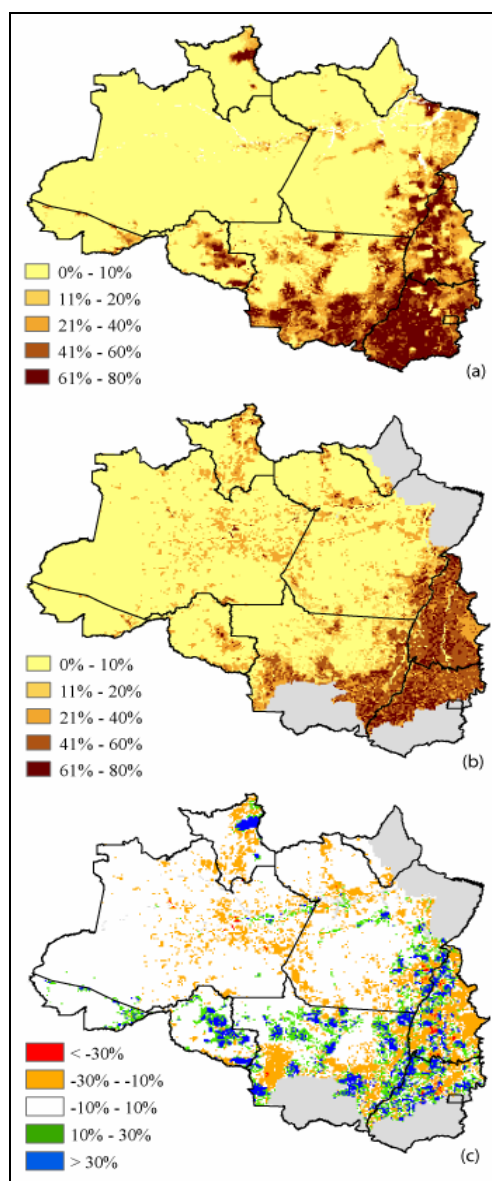


Figura 34. Diferença entre os mapas de uso da terra total para 1995. (a) Ramankutty et al. [2008], (b) Cardille et al. [2002] e (c) a-b. A área cinza indica “nodata”.

A Figura 35 mostra o intervalo de confiança da média, usando o teste t a 95%, do uso da terra total em 1995 para cada estado da região de estudo extraídos dos mapas de Cardille et al. [2002] e de Ramankutty et al. [2008]. Observa-se um comportamento semelhante entre os dois mapas, porém o produto de Ramankutty et al. [2008] apresenta valores ligeiramente maiores, especialmente no estado de Goiás que possui uma média de 63,87% de uso da terra contra 52,06% do mapa de Cardille et al. [2002]. Os intervalos de confiança da média no mapa de Ramankutty et al. [2008] foram ligeiramente maiores que no mapa de Cardille et al. [2002] para os estados do Acre, Goiás, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e o Distrito Federal, isso quer dizer que a estimativa de uso da terra, para esses estados, do banco de dados de Cardille et al. [2002] é mais confiável que do banco de dados de Ramankutty et al. [2008].

Entretanto, para os estados do Amapá e Amazonas o uso da terra foi melhor estimado no banco de dados de Ramankutty et al. [2008], pois os mesmos apresentaram intervalos menores. Isso pode ser explicado pelo fato de que o banco de dados de Ramankutty et al. [2008] foi construído com dados de censo de 1995 e duas classificações de cobertura da terra para 2000, enquanto que o de Cardille et al. [2002] usou dados de censo de 1995 com imagens de satélite de 1992. O menor intervalo entre os anos dos dados de censo e de satélite do trabalho de Cardille et al. [2002] pode ter favorecido a estimativa do uso da terra. No caso do estado do Amapá, o que pode ter feito com que o intervalo de confiança fosse menor no banco de dados de Ramankutty et al. [2008] é que ele está totalmente representado nesse banco de dados enquanto que no de Cardille et al. [2002] somente parte das regiões sul e oeste do estado foram representadas.

Apesar do sensor MODIS, que gerou as imagens utilizadas por Ramankutty et al. [2008], possuir melhor desempenho que o AVHRR para dados de cobertura da terra, por possuir resolução espacial mais alta e maior resolução espectral, o maior intervalo entre o

ano do censo e o ano da imagem pode ter diminuído a confiabilidade da estimativa. Contudo, de maneira geral podemos afirmar que os dois bancos de dados representam bem a densidade e a distribuição do uso da terra na Amazônia.

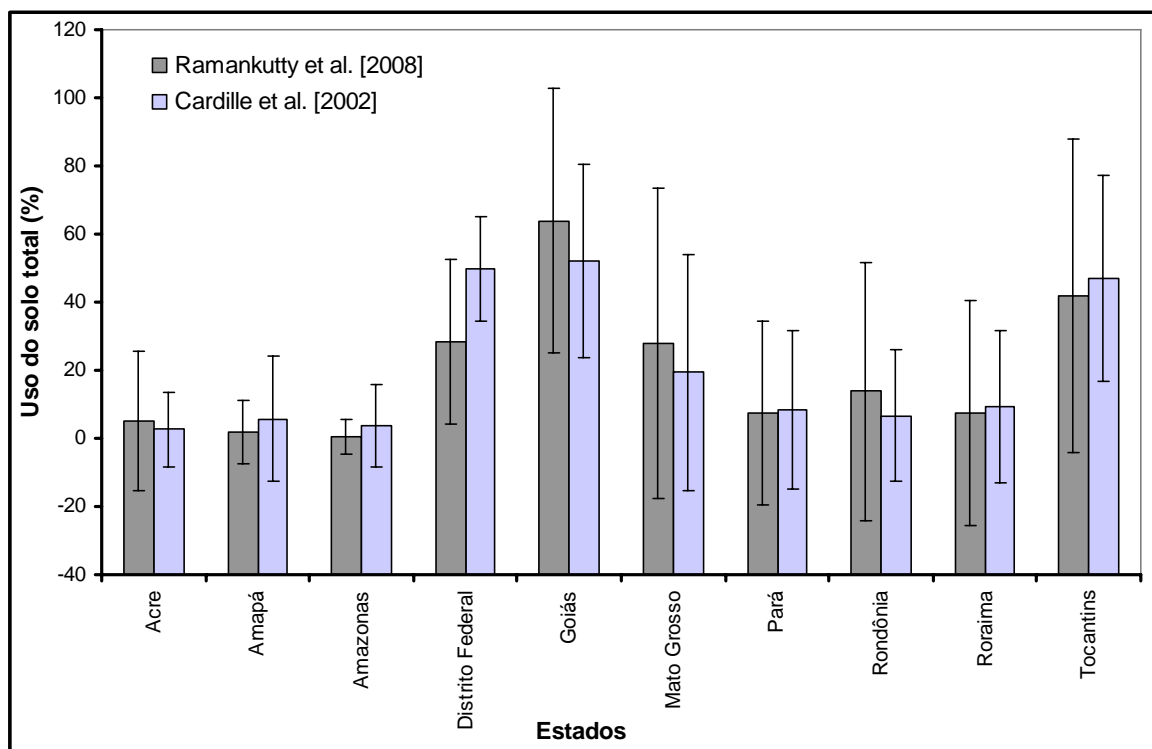


Figura 35. Intervalos de confiança da média do uso da terra total, utilizando o teste t a 95%, para cada estado da região de estudo, calculados a partir dos mapas de Cardille et al. [2002] e de Ramankutty et al. [2008].

As Figuras 36a – 36j mostram a distribuição das freqüências de porcentagem de pixels para cada estado da região de estudo de acordo com o mapa de Cardille et al. [2002]. De maneira geral podemos observar distribuições totalmente distintas entre os estados e que em todos eles as maiores freqüências foram de pixels com menores porcentagens de uso da terra. No estado do Acre (Figura 36a) 95% dos pixels apresentam 9,2% de sua área coberta por atividades agrícolas, enquanto que apenas 4,3% possuem 25,2% e menos de 1% com 57,2% da área ocupada por alguma tipo de uso da terra. O estado do Amazonas (Figura 36b) possui 91,3% de seus pixels com 9,2% de sua área dedicada a cultivos agrícolas.

No estado do Amapá (Figura 36c) as atividades agrícolas ocupam, em 85,3% dos pixels, apenas 9,2% de suas áreas e em 13,2% dos pixels, o uso da terra apresenta uma porcentagem de 25,2%, enquanto que as maiores porcentagens ocorrem em menos de 1% dos pixels. No mapa de Cardille et al. [2002] o Distrito Federal (Figura 36d) está quase que totalmente fora da área de estudo, porém possui cinco pixels dentro de seus limites e cada um possui porcentagens bastante significativas de atividades agrícolas com a mesma frequência (36,1%, 42,1%, 48,1%, 54,1% e 60,1%).

O estado de Goiás (Figura 36e) apresenta uma maior distribuição de porcentagens de pixels com atividades agrícolas. Podemos observar que 26,9% dos pixels possuem 69,2% de suas áreas ocupadas por práticas agrícolas, enquanto 28% e 33% dos pixels têm 39,2% e 54,2% (respectivamente) de suas áreas com algum tipo de uso da terra. As demais porcentagens de uso da terra estão distribuídas nos 28,7% dos pixels restantes. Em Mato Grosso (Figura 36f) 52,2% dos pixels apresentam apenas 9,2% de uso da terra e apenas 3,3% dos pixels possuem alta densidade de uso da terra (73,2%), o restante dos pixels apresenta porcentagens de uso da terra total variando entre 9,1% e 24,5%.

No estado do Pará (Figura 36g) 78% dos pixels têm 9,2% de uso da terra e menos de 1% possuem 73,2% de sua área dedicada as atividades agrícolas. O mesmo ocorre em Rondônia (Figura 36h) onde a maior frequência (81,6%) é de pixels com menor porcentagem de uso da terra (9,2%), enquanto que a maior porcentagem (73,2%) ocupa a área de menos de 1% dos pixels. Em Roraima (Figura 36i) aproximadamente 74% dos pixels possuem baixa densidade de uso da terra (9,2%), enquanto que 0,6% apresenta uma densidade de 73,2% de uso da terra. A segunda maior frequência nesse estado é de 22,4% dos pixels com 25,2% de suas áreas cobertas por atividades agrícolas.

O estado de Tocantins apresenta 33,3% de seus pixels com até 41,2% de sua área dedicada as atividades agrícolas. As menores densidades de uso da terra (9,2% e 25,2%) possuem frequências de 7,2% e 16% dos pixels, contudo as maiores densidades (57,2% e 73,2%) de uso da terra aparecem em 29,2% e 14,2% dos pixels, respectivamente.

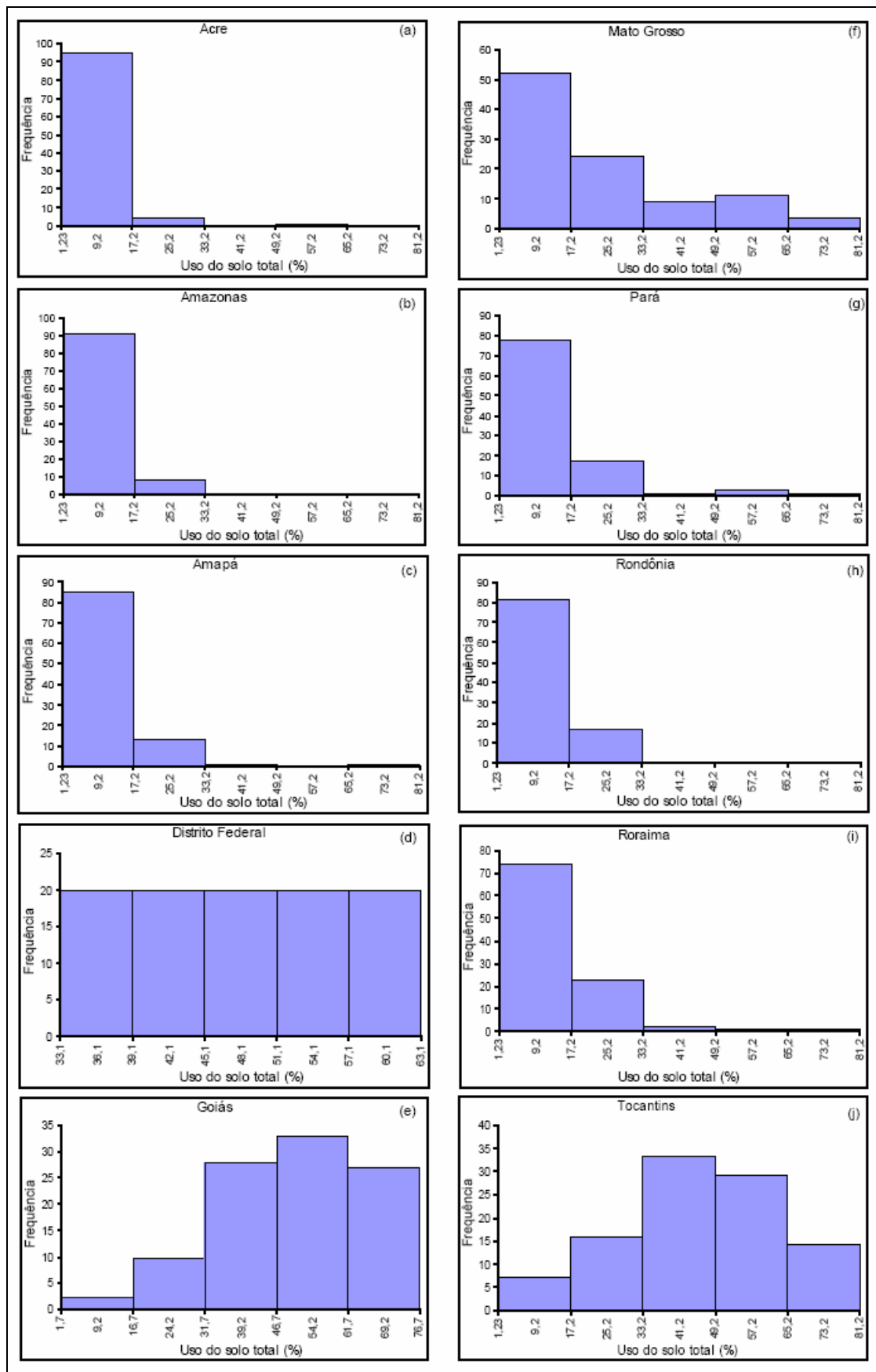


Figura 36. Histograma de frequência do uso da terra total para os estados da região de estudo do mapa de Cardille et al. [2002]

A Figura 37 mostra a distribuição de frequência de porcentagem de uso da terra total para cada estado da região de estudo, de acordo com o mapa de Ramankutty et al. [2008]. Observa-se, de maneira geral, que a distribuição de frequência de uso da terra é bem distinta da do mapa de Cardille et al. [2002] e que em alguns estados, tais como Goiás, Tocantins e Mato Grosso, bem como o Distrito Federal, a frequência de porcentagem de uso da terra está bem distribuída para todos os intervalos de classe. No estado do Acre (Figura 37a) a menor densidade de uso da terra (10%) ocorreu com maior frequência (em 52,6% dos pixels), enquanto que no estado do Amazonas (Figura 37b) a maior frequência (99,2%) foi de pixels com apenas 9% de sua área coberta por atividades agrícolas.

No Amapá (Figura 37c) a maior frequência (96,5%) foram de pixels com 7% de sua área dedicada a práticas agrícolas. O Distrito Federal (Figura 37d) apresenta maior frequência (25,9%) de pixels com aproximadamente 22% de uso da terra e menor frequência (5,5%) de pixels com 58% de sua área coberta por atividades agrícolas e as demais porcentagens de uso da terra aparecem com frequências variando entre 16,6% e 3,7% dos pixels. Em Goiás (Figura 37e) a maior frequência (36,2% dos pixels) ocorreu para uma densidade de uso da terra de 70% e a menor (5% dos pixels) ocorreu para 10% de uso da terra. A maior densidade de uso da terra em Goiás (90%) ocorreu para 25,6% dos pixels e as demais densidades variaram entre 10,5% e 22,7% dos pixels.

Em Mato Grosso (Figura 37f) a maior frequência (52,6%) foi de pixels com 10% de uso da terra e a menor (5,4%) com densidade de 90% de atividades agrícolas dentro do pixel. As demais densidades apresentaram frequências de no máximo 20%. No Pará (Figura 37g) a menor densidade de uso da terra (10%) apresentou a maior frequência (86,7% dos pixels), enquanto que a maior (entorno de 90%) apresentou uma frequência menor que 1,2%. As demais densidades não ultrapassaram os 8%. Em Rondônia (Figura

37h) a maior frequência (74,7%) foi de pixels com apenas 10% de sua área dedicada a atividades agrícolas e a menor (2,6%) foi de pixels com densidade agrícola de aproximadamente 90%. As demais porcentagens de uso da terra não ultrapassaram os 11% dos pixels.

O estado de Roraima (Figura 37i) apresenta uma frequência de 88,8% para pixels com apenas 10% de sua área dedicada a atividades agrícolas e 1,3% para pixels com 70% de uso da terra. Em Tocantins (Figura 37j), a maior frequência foi de 28,6% dos pixels com densidade de 30% de uso da terra, seguida de uma frequência de 24,5% de pixels com apenas 10% de uso da terra. A menor frequência (12%) foi de pixels com aproximadamente 90% de sua área ocupada por atividades agrícolas. As demais densidades apresentaram frequência de no máximo 21%. Assim como no mapa de Cardille et al. [2002], na maioria dos estados a menor densidade de uso da terra ocorreu com maior frequência, com exceção dos estados de Goiás e Tocantins e do Distrito Federal.

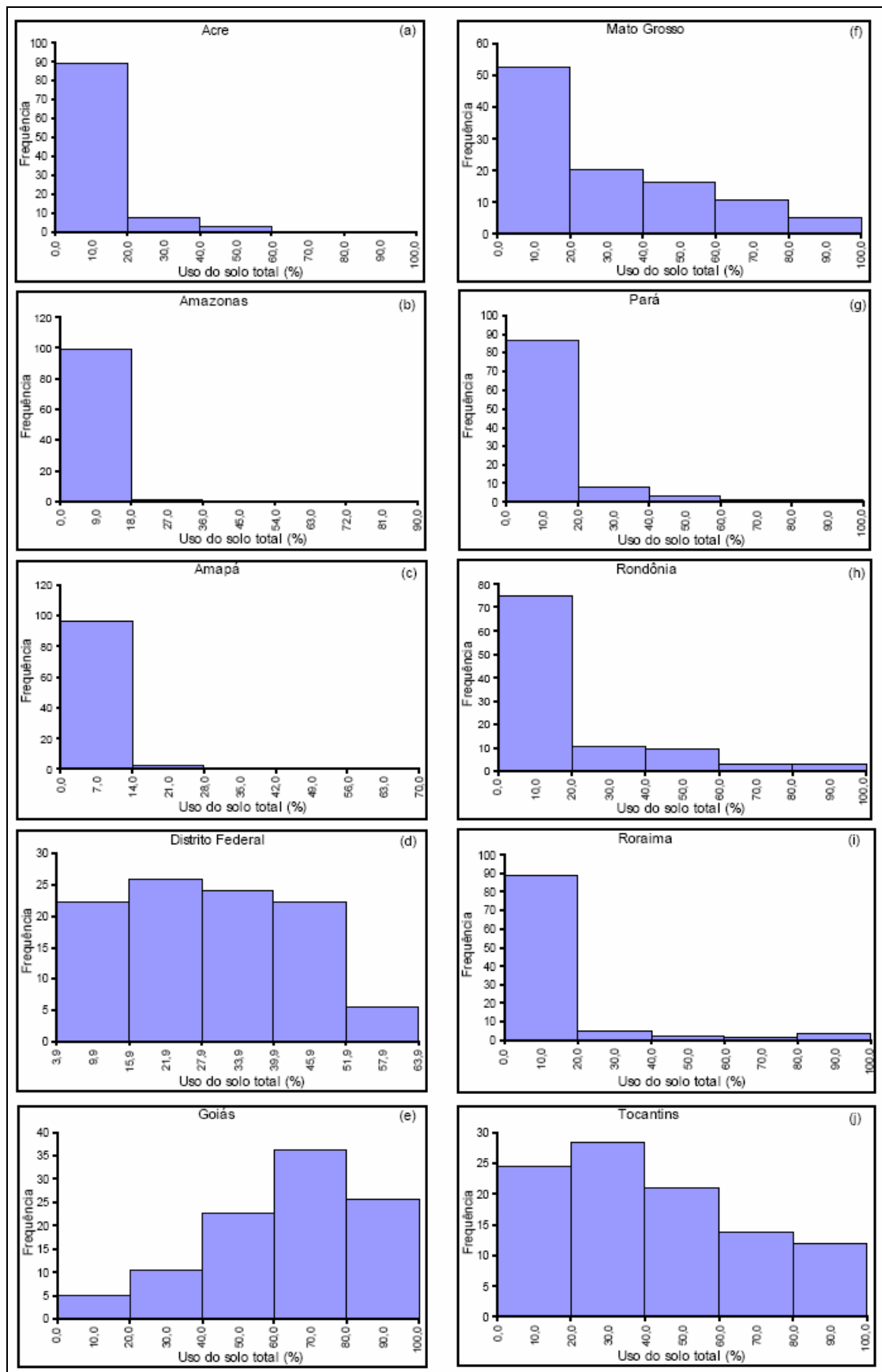


Figura 37. Distribuição de frequência do uso da terra total do mapa de Ramankutty et al. [2008]

5.4. Uso da terra dentro das reservas indígenas e unidades de conservação

Com o avanço da fronteira agrícola na Amazônia, uma boa parte da cobertura vegetal natural foi praticamente substituída por atividades agropecuárias. As reservas indígenas não ficaram à margem deste processo e, embora a agricultura moderna não tenha ultrapassado os limites dessas áreas, o aumento da população indígena fez com que houvesse uma maior exploração sobre o potencial ambiental das reservas, fazendo com que se instalasse um quadro de degradação ambiental [Salles et al., 1998].

A fim de conhecer a intensidade e a distribuição do uso da terra dentro das Reservas Indígenas e no intuito de verificar se há atividades agrícolas dentro das Unidades de Conservação, localizadas dentro da região de estudo, bem como comparar essas informações entre os mapas de uso da terra de Cardille et al. [2002] e Ramankutty et al. [2008] no ano de 1995, foram calculados os totais médios de área cultivada, pastagem total e uso da terra total dentro de cada reserva e unidade, com o auxílio do SIG-ArcGis 9.1, utilizando-se como base o contorno de cada reserva, tendo-se elaborados mapas com a distribuição do uso da terra dentro das unidades. A localização das principais Reservas Indígenas e Unidades de Conservação pode ser vista nas Figuras 38a-38b.

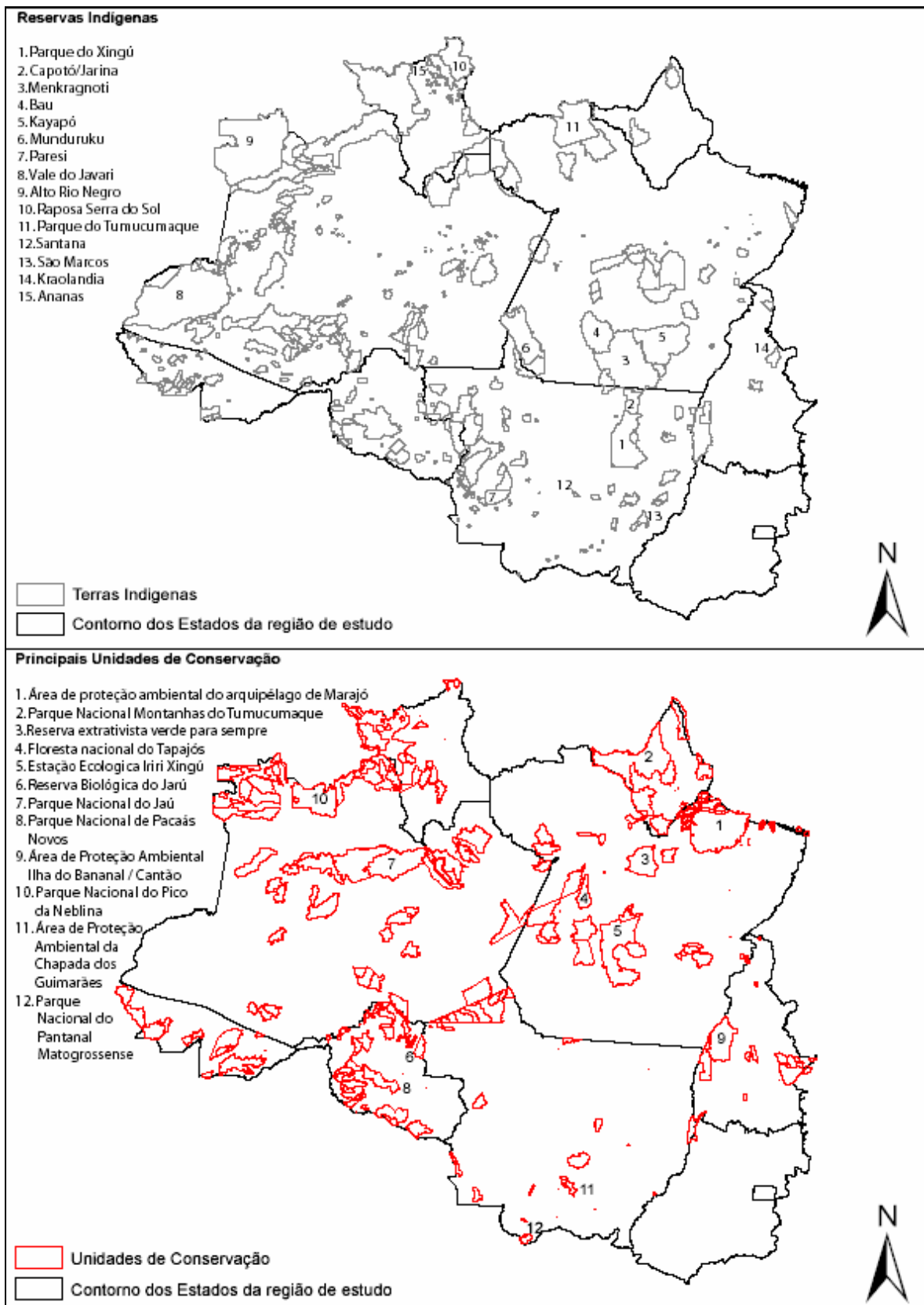


Figura 38. Localização das reservas indígenas (contornos em cinza) e das unidades de conservação (contorno em vermelho) dentro da área de estudo. As principais reservas e unidades estão numeradas e seus respectivos nomes relacionados ao lado dos mapas.

A Figura 39 mostra a comparação da distribuição do uso da terra nas reservas indígenas localizadas dentro da área de abrangência dos produtos de uso da terra de Cardille et al. [2002] e Ramankutty et al. [2008]. Podemos observar que, no mapa de uso da terra de Cardille et al. [2002] (Figura 39a), há uma maior distribuição de atividades agrícolas dentro das reservas quando comparado ao mapa de uso da terra de Ramankutty et al. [2008] (Figura 39b), especialmente nas reservas indígenas dentro do estado do Amazonas, que apresentam uma densidade maior de uso da terra que no mapa de Ramankutty et al. [2008], principalmente nas reservas localizadas na região central do estado onde há maior concentração de atividades agrícolas. O mesmo ocorre no estado do Pará, onde, no mapa de Ramankutty et al [2008]. A densidade de práticas agrícolas dentro das reservas é muito baixa ou nula, enquanto que no mapa de Cardille et al. [2002] essas mesmas áreas apresentam pixels com frações significantes de uso da terra, particularmente nas reservas localizadas nas regiões sudoeste e sul do estado.

Em Roraima, as áreas indígenas situadas ao norte do estado, apresentam uma alta intensidade de atividades agrícolas, tanto no mapa de Cardille et al. [2002], quanto no mapa de Ramankutty et al. [2008], contudo são similares com relação a reserva localizada na região oeste, onde o uso da terra é praticamente nulo nos dois mapas. As reservas existentes em Rondônia estão localizadas, principalmente nas partes oeste e sul do estado e tanto no mapa de Cardille et al.[2002] quanto no mapa de Ramankutty et al. [2008] existe uma baixa densidade de uso da terra dentro dessas áreas, sendo possível observar que toda a atividade agrícola em Rondônia ocorreu, fortemente, fora dessas reservas. Em Tocantins, existem poucas reservas indígenas, as quais estão localizadas nas regiões central, norte, oeste e nordeste do estado e todas elas apresentam intenso uso da terra, enquanto que no estado de Goiás não há nenhuma reserva indígena. As maiores reservas localizadas dentro do estado de Mato Grosso concentram-se a oeste e no norte do estado e as menores na

região sudeste. Em todas elas, as atividades agrícolas são mais intensas no mapa de Cardille et al. [2002], enquanto que no mapa de Ramankutty et al. [2008] o uso da terra dentro dessas reservas é muito baixo em umas e praticamente nulo em outras, com exceção das áreas indígenas situadas no sudeste, onde a densidade das atividades agrícolas é bastante alta.

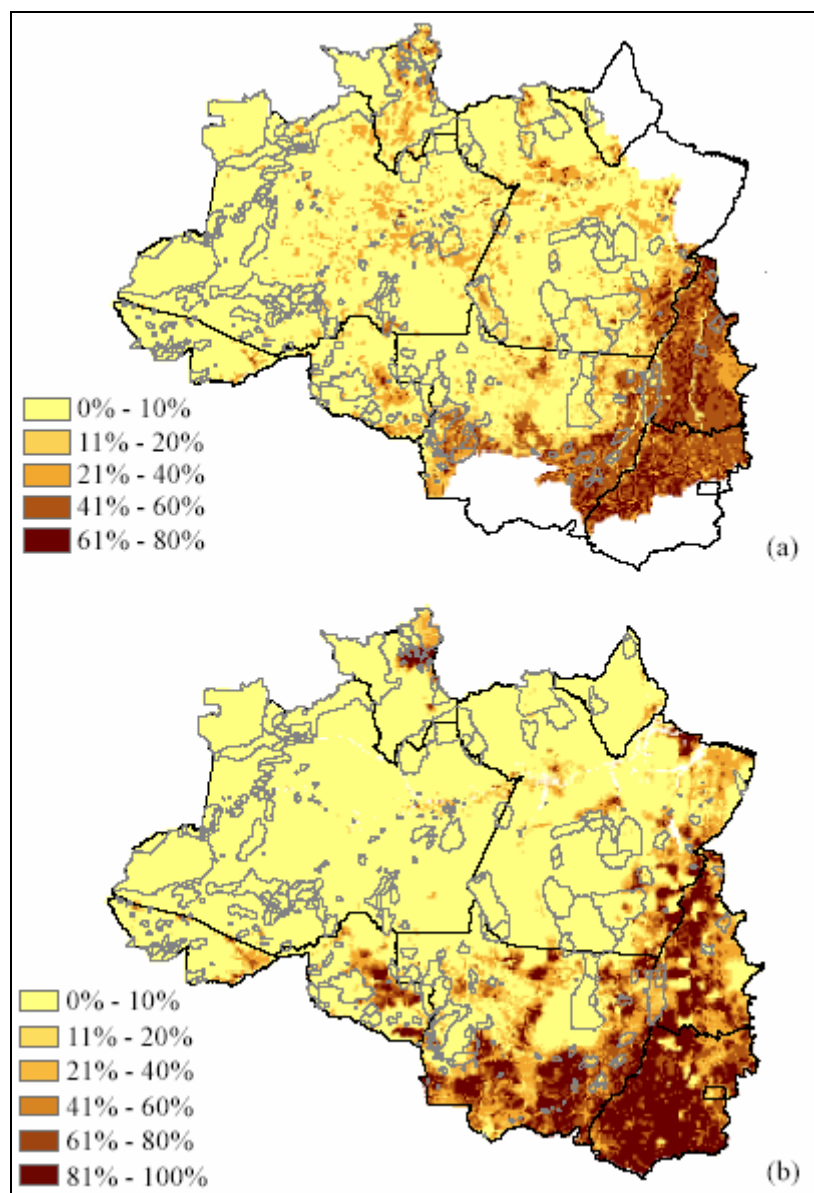


Figura 39. Distribuição das reservas indígenas dentro de cada área de abrangência dos mapas de uso da terra total de (a) Cardille et al. [2002] e (b) Ramankutty et al. [2008] em 1995.

Na Tabela 1 é possível observar que o mapa de uso da terra total de Cardille et al. [2002] apresenta algumas reservas com valores médios acima de 20% de sua área coberta por atividades agrícolas. A reserva indígena São Marcos (Figura 38a), localizada no sudeste do Mato Grosso, apresenta 49,05% de sua área coberta por pastagem, restando apenas 1,83% para cultivos agrícolas, que representa um total de 50,87% da área da reserva, enquanto que para o produto de Ramankutty et al. [2008], nessa mesma reserva, esse valor reduz para 20,11%, sendo 17,56% para pastagem e 2,55% para cultivos agrícolas. A reserva indígena Paresi (Figura 38a), na qual as atividades agrícolas cobrem 33,26% de seu território, localiza-se na região oeste de Mato Grosso e o uso da terra dominante nessa área também é a pastagem, com 26,34% e o uso da terra por culturas agrícolas ocupa apenas 6,94% da área da reserva, já de acordo com o uso da terra feito por Ramankutty et al. [2008] esses valores caem para 7,06% e 3,38%, respectivamente, somando um total de 10,44% de uso da terra total.

Na região central do estado fica a Reserva de Santana (Figura 38a) que apresenta 30,18% de sua área coberta por pastagem e 1,64% de culturas agrícolas, somando um total de 31,81% de atividades agrícolas. No mapa de Ramankutty et al. [2008] a porcentagem média de uso da terra total dentro dessa mesma reserva reduz consideravelmente para 9,88%, sendo 6,93% para a pastagem e 2,95% para as culturas. Em Tocantins, a Reserva Kraolandia (Figura 38a), situada no nordeste do estado, possui uma média de 29,48% de sua área coberta por atividades agrícolas, sendo o uso da terra dominante o da pastagem com 26,52%, enquanto que o uso da terra por culturas cobre somente 2,96% de toda área da reserva. De acordo com o mapa de Ramankutty et al. [2008], essa reserva possui apenas 12,96% de sua área ocupada por atividades agrícolas, sendo essa área praticamente toda de pastagem (12,07%) restando apenas 0,90% de culturas.

Outra reserva com alta porcentagem de uso da terra é a Reserva de Ananás (Figura 38a) no norte de Roraima, que apresenta 23,09% de pastagem e 3,41% de culturas, somando 26,50% de atividades agrícolas cobrindo seu território. Essas porcentagens mudam para 15,63%, 1,73% e 17,36%, respectivamente no mapa de uso da terra de Ramankutty et al. [2008]. Nesse mesmo estado, a Reserva Indígena Raposa Serra do Sol (Figura 38a), apresenta valores médios percentuais de atividades agrícolas bastante similares nos dois mapas, sendo que no mapa de Ramankutty et al. [2008] esses valores são um pouco maiores que no mapa de Cardille et al. [2002], o qual apresenta 20,11% de atividades agrícolas contra 21,70% do outro mapa. As culturas agrícolas dentro da reserva, para os dois mapas, não ultrapassaram os 3% e a pastagem total foi de 14,23% no mapa de Cardille et al. [2002] e um pouco maior (15,28%) no de Ramankutty et al. [2008].

As demais reservas apresentam porcentagem de uso da terra abaixo de 20%, tanto no mapa de Cardille et al. [2002] quanto no de Ramankutty et al. [2008], chegando, em alguns casos, a valores nulos, ou seja, não apresenta uso da terra dentro da reserva. A média geral de uso da terra total no mapa de Cardille et al. [2002] foi de 16,49%, enquanto que no de Ramankutty et al. [2008] foi de apenas 7,03%. Os cultivos agrícolas e a pastagem tiveram uma média geral de 1,85% e 14,65%, respectivamente no mapa de Cardille et al. [2002] e 0,95% e 6,08% no de Ramankutty et al. [2008].

Tabela 1. Médias do uso da terra total, culturas agrícolas e pastagem total dentro das principais reservas indígenas para os mapas de Cardille et al. [2002] e Ramankutty et al. [2008] no ano de 1995.

RESERVAS INDÍGENAS	Cardille et al. [2002]			Ramankutty et al. [2008]		
	<i>Uso do solo</i>	<i>Cultivo</i>	<i>Pastagem</i>	<i>Uso do solo</i>	<i>Cultivo</i>	<i>Pastagem</i>
	<i>Total</i>	<i>Agrícolas</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>	<i>Agrícola</i>	<i>Total</i>
	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>
Alto Rio Negro	4,72	1,66	3,06	4,47	0,29	4,18
Ananas	26,50	3,41	23,09	17,36	1,73	15,63
Bau	1,96	0,32	1,65	0,48	0,10	0,38
Capotó/Jarinã	5,76	0,38	5,39	1,55	0,11	1,44
Kayapó	9,48	0,58	8,91	4,04	0,10	3,95
Kraolandia	29,48	2,96	26,52	12,96	0,90	12,07
Menkragnoti	5,33	0,55	4,79	0,02	0,00	0,02
Munduruku	11,65	0,58	11,08	0,35	0,11	0,24
Paresi	33,26	6,94	26,34	10,44	3,38	7,06
Parque do Tumucumaque	9,16	2,13	7,02	1,84	0,46	1,38
Parque do Xingu	6,06	0,58	5,48	0,22	0,03	0,19
Santana	31,81	1,64	30,18	9,88	2,95	6,93
Sao Marcos	50,87	1,83	49,05	20,11	2,55	17,56
Raposa Serra do Sol	20,11	2,92	17,20	21,70	1,47	20,22
Vale do Javari	1,23	1,19	0,04	0,011	0,009	0,002
Média	16,49	1,85	14,65	7,03	0,95	6,08

A Figura 40 mostra a distribuição das unidades de conservação sobrepostas aos mapas de uso da terra em 1995 de Cardille et al. [2002] e Ramankutty et al. [2008]. Observa-se no mapa de Cardille et al. [2002] (Figura 40a) que há pixels com atividades agrícolas dentro de algumas unidades de conservação, principalmente nas unidades localizadas dentro dos estados do Amazonas, Pará, Mato Grosso e Tocantins, enquanto que no mapa de uso da terra de Ramankutty et al. [2008] (Figura 40b), apenas algumas unidades situadas ao sul de Mato Grosso, nordeste do Pará e a maioria das unidades do estado de Tocantins, apresentam atividades agrícolas dentro de suas áreas.

No estado de Rondônia, as mudanças no uso da terra mais significativas aconteceram nas áreas ao redor das unidades de conservação, isso pode ser visto tanto no mapa de Cardille et al. [2002], quanto no de Ramankutty et al. [2008]. Isso também ocorre nos estados do Acre e de Roraima. Em Tocantins, a densidade de atividades agrícolas dentro das unidades é maior no mapa de Cardille et al. [2002] que no mapa de Ramankutty

et al. [2008]. As unidades localizadas no sul de Mato Grosso e no nordeste do Pará podem ser observadas no mapa de Ramankutty et al. [2008], as quais mostram intenso uso da terra dentro de suas áreas. A área de proteção ambiental do arquipélago de Marajó, situada no nordeste do Pará (Figura 38b) apresenta intenso uso da terra dentro de sua área, sendo a pastagem o tipo de uso da terra dominante.

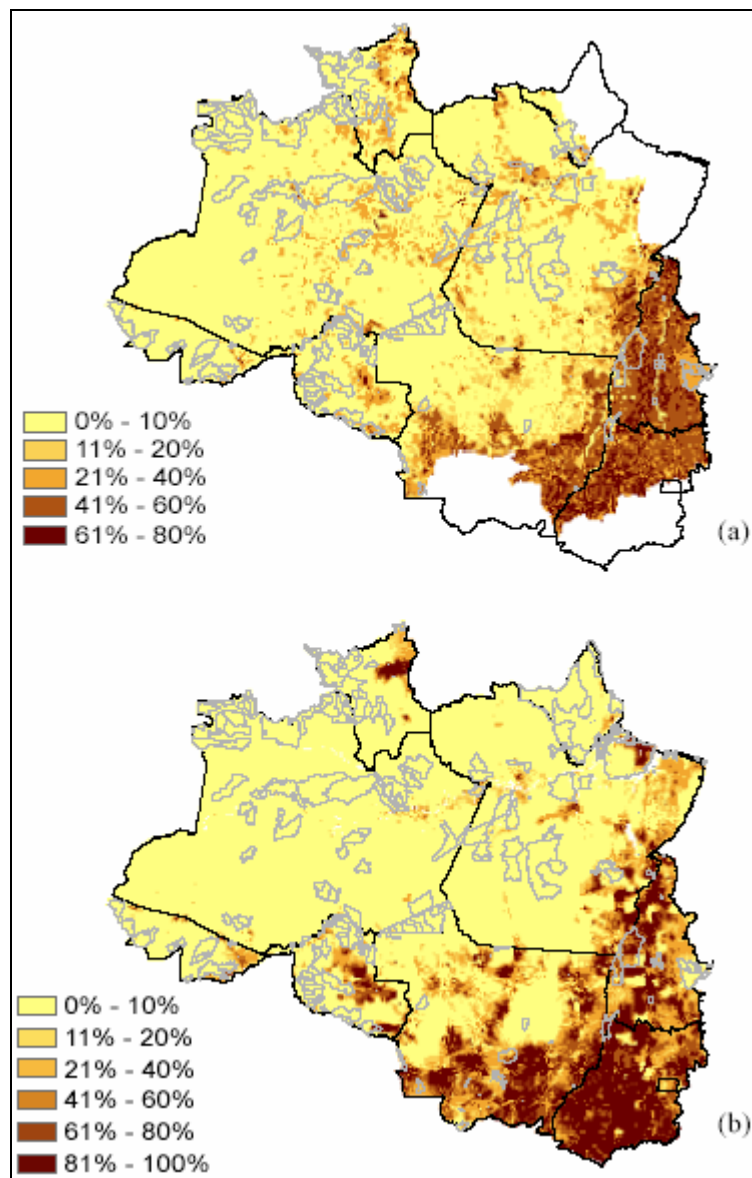


Figura 40. Distribuição das unidades de conservação dentro de cada área de abrangência dos mapas de uso da terra total de (a) Cardille et al. [2002] e (b) Ramankutty et al. [2008] em 1995.

De acordo com a Tabela 2, o mapa de uso da terra de Cardille et al. [2002] apresenta maiores frações de atividades agrícolas dentro das principais unidades de conservação quando comparado ao mapa de Ramankutty et al. [2008]. Isso pode ser visto na maioria das unidades de conservação que são comuns aos dois mapas, com exceção da Área de Proteção Ambiental da Ilha do Bananal (Figura 38b), localizada na região oeste de Tocantins e na Reserva Biológica do Jarú (Figura 38b) no leste de Rondônia que apresentam maior uso da terra no mapa de Ramankutty et al. [2008], sendo 53,51% e 14,06%, respectivamente, contra 47,25% e 1,23% do mapa de Cardille et al. [2002]. As unidades de conservação localizadas na área não comum aos dois mapas e que estão presentes apenas no mapa de Ramankutty et al. [2008] apresentaram atividades agrícolas bastante significativas dentro de suas áreas, especialmente a Área de Proteção Ambiental do Arquipélago da Ilha de Marajó (Figura 38b) com 36,59% de sua área ocupada por atividades agrícolas, sendo 34,73% de pastagem e 1,86% de culturas agrícolas.

Como foi visto no item 5.1.2, quando foi feita a comparação dos bancos de dados com o mapa TRFIC para o estado do Pará, existe uma predominância de pastagem natural dentro dessa unidade que é usada para a criação de búfalos. Outra unidade de conservação que apresentou uma fração significativa dentro de seus limites foi a Área de Proteção Ambiental da Chapada dos Guimarães (Figura 38b), no centro-sul de Mato Grosso com 23,30%, sendo 21,72% de pastagem e 1,57% de cultivos agrícolas. O Parque Nacional do Pantanal Matogrossense (Figura 38b), também ao sul de Mato Grosso, apresenta 13,78% de sua área coberta por pastagem e apenas 0,28% por culturas agrícolas, fazendo um total de 14,06%. As demais unidades de conservação apresentam baixa atividade agrícola dentro de suas áreas, não ultrapassando os 8%, tanto no mapa de Cardille et al. [2002], quanto no mapa de Ramankutty et al. [2008]. O mapa de Cardille et al. [2002] apresenta uma média geral de 9,46% da área das unidades de conservação cobertas por atividades

agrícolas, enquanto que o mapa de Ramankutty et al. [2008] apresenta 12,45%. Vale a pena ressaltar que o número de unidades de conservação dentro da área de abrangência dos dois mapas são diferentes, uma vez que existe áreas não comuns aos dois.

Tabela 2. Médias do uso da terra total, culturas agrícolas e pastagem total dentro das principais unidades de conservação para os mapas de Cardille et al., (2002) e Ramankutty et al., (2008) no ano de 1995.

UNIDADES DE CONSERVAÇÃO	Cardille et al. [2002]			Ramankutty et al. [2008]		
	<i>Uso do solo</i>	<i>Cultivo</i>	<i>Pastagem</i>	<i>Uso do solo</i>	<i>Cultivo</i>	<i>Pastagem</i>
	<i>Total</i>	<i>Agrícola</i>	<i>Total</i>	<i>Total</i>	<i>Agrícola</i>	<i>Total</i>
	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>	<i>Média</i>
A.P.A do Arquipélago do Marajó				36,59	1,86	34,73
A.P.A. da Chapada dos Guimarães				23,30	1,57	21,72
A.P.A. Ilha do Bananal/Cantão	47,25	2,15	45,10	53,51	2,22	51,30
E.E. Iriiri Xingu	1,81	0,19	1,63	0,04	0,01	0,04
F.N. Tapajós	4,59	1,92	2,68	2,90	0,19	0,48
P.N. de Pacaás Novos	3,30	0,84	2,46	0,01	0,63	2,27
P.N. do Jaú	5,66	4,15	1,51	0,06	0,00	0,01
P.N. do Pico da Neblina	4,12	4,12	0,00	0,12	0,06	0,00
P.N. do Pantanal Matogrossense				14,06	0,28	13,78
P.N. Montanhas do Tumucumaque				1,71	0,02	0,10
R.B. do Jarú	1,23	0,20	1,04	14,06	0,00	0,00
R.Ex. Verde para Sempre	7,83	1,89	5,95	0,67	0,29	1,43
Média	9,47	1,93	7,54	12,25	0,59	10,49

6. APLICAÇÃO DOS BANCOS DE DADOS HISTÓRICOS DE USO DA TERRA

Este trabalho é uma iniciativa que visa melhorar a representação da variabilidade espacial do uso da terra na Amazônia para ser aplicada em modelos hidrológicos e climáticos. Por isso, foi produzido um banco de dados históricos, geograficamente explícito, que descreve de forma acurada as principais categorias de uso da terra (terras cultivadas, pastagem natural e pastagem plantada) da região em estudo para representar o esquema de superfície dentro dos modelos.

Como exemplo de aplicação dos bancos de dados produzidos neste trabalho foi feita uma análise da distribuição do uso da terra dentro das bacias dos rios Tocantins-Araguais, Xingu e Tapajós no ano de 1980 e a evolução do uso da terra dentro dessas bacias no período 1940-1995. O sistema Tocantins-Araguaia é uma bacia independente que compartilha o delta do Rio Amazonas e possui uma área de drenagem de 767.311 km², os rios Xingu e Tapajós são tributários do Rio

Amazonas e suas áreas de drenagem correspondem a 519.461 km² e 534.353 km², respectivamente. Essas bacias estão localizadas totalmente dentro da área de estudo dos dois bancos de dados (Figura 41), porém a análise foi feita utilizando como base somente o banco de dados baseado em Cardille et al. [2002].

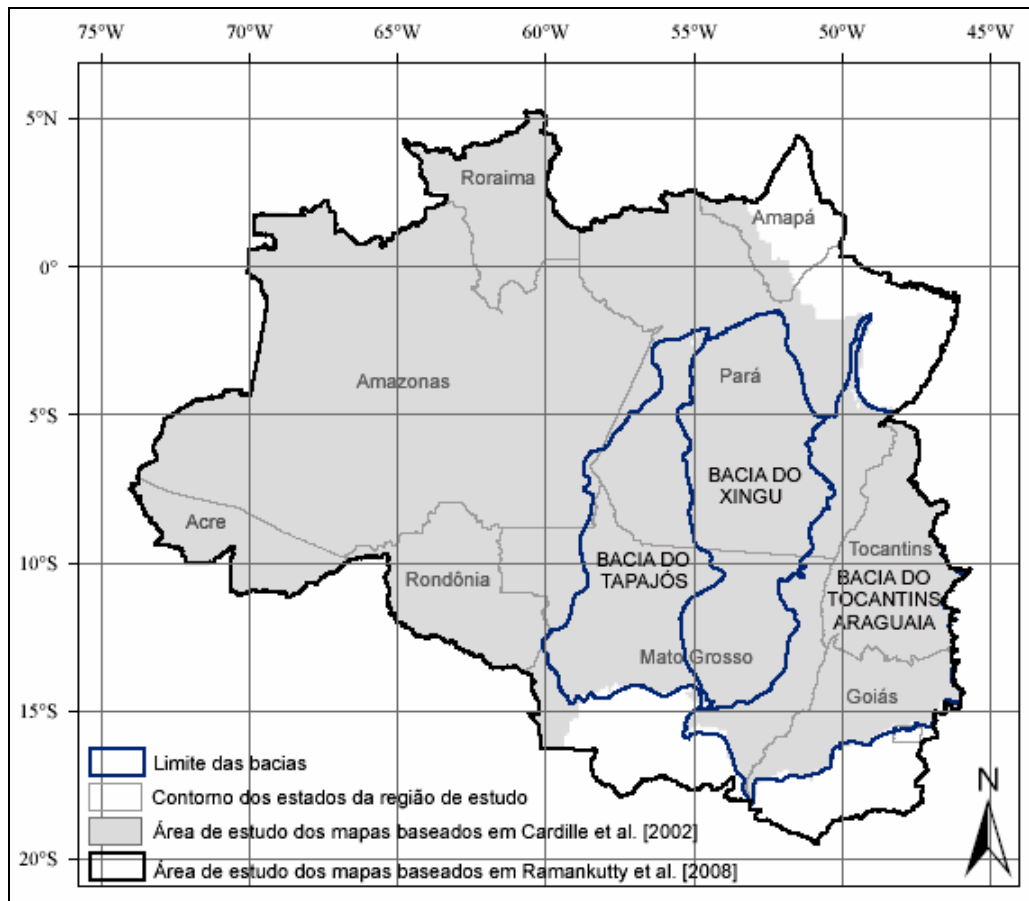


Figura 41. Localização das bacias dos rios Tocantins-Araguaia, Xingu e Tapajós dentro da região de estudo

A Figura 42 mostra a evolução temporal das três categorias de uso da terra nas três bacias, para o período 1940-1995. O quadrado branco representa a proporção de pastagem natural (PN), o quadrado preto a proporção de pastagem total (PN + PP) e o triângulo preto representa a proporção de atividades agrícolas totais (PN + PP + AA).

A Figura 42a indica que, dentro da bacia do Tocantins-Araguaia, existe um crescimento exponencial nas atividades agrícolas de 9% em 1940 para 46% em 1980, permanecendo relativamente estável depois disso. As pastagens naturais dominaram até

1980, quando elas foram crescentemente substituídas pela pastagem plantada que é mais produtiva. Nas bacias dos rios Xingu e Tapajós (Figuras 42b e 42c) o uso da terra também cresceu rapidamente no período, mas não excedeu os 10% da área das bacias. A mesma tendência da Bacia do Tocantins-Araguaia é observada aqui: a pastagem natural é dominante até 1980, quando começa a ser substituída por pastagem plantada. Em ambas as bacias do Xingu e do Tapajós, o uso da terra ainda está na fase de crescimento exponencial, que sugere rápidas taxas de crescimento por muitos anos no futuro.

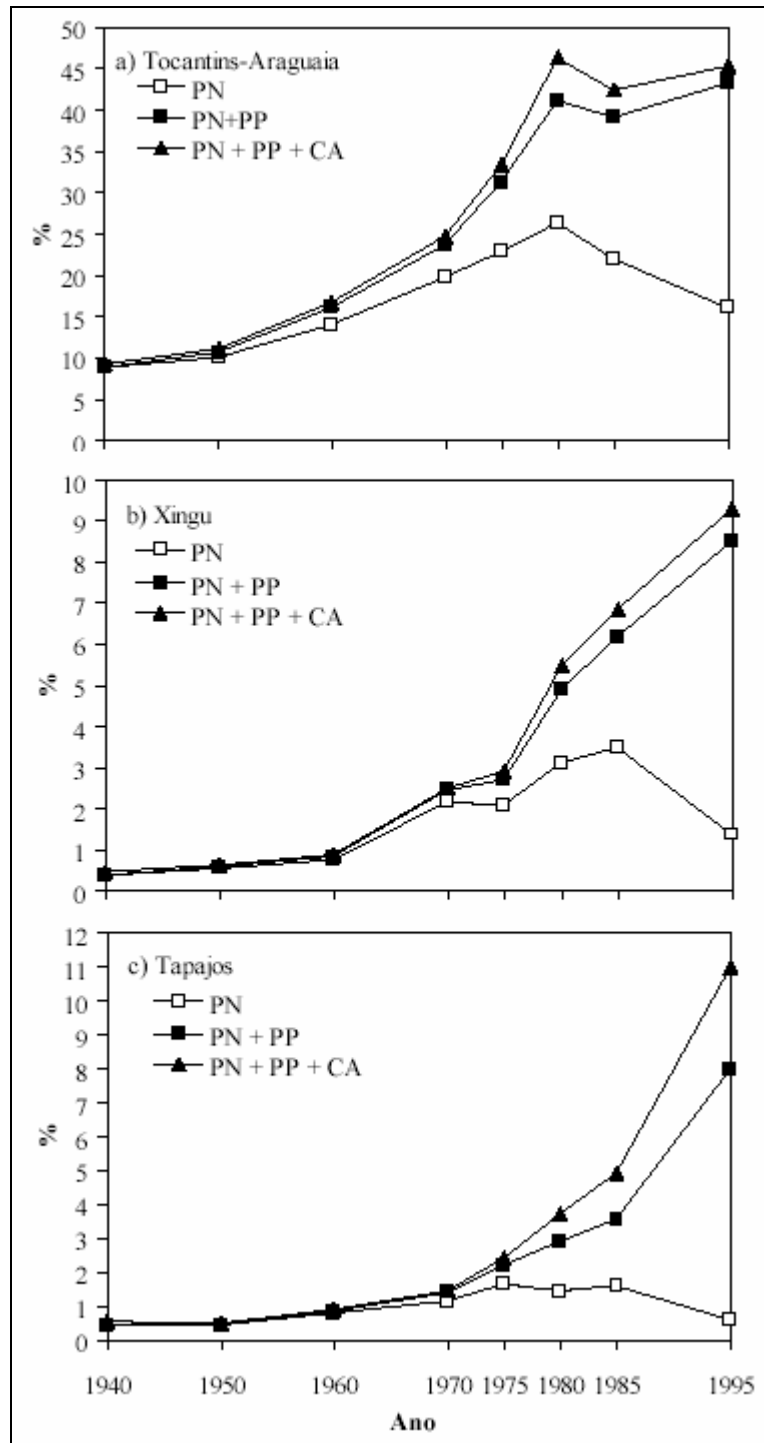


Figura 42. Evolução dos vários tipos de uso da terra dentro das bacias. (a) Tocantins-Araguaia, (b) Xingu e (c) Tapajós. PN indica pastagem natural, PP indica pastagem plantada e CA indica culturas agrícolas.

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. Conclusões

Os bancos de dados de uso da terra na Amazônia para o período 1940-1985 construídos a partir das classificações de uso da terra para 1995 de Cardille et al. (2002) e Ramankutty et al. (2008) mostraram-se bastante similares em algumas regiões da área de estudo, como por exemplo nos estados de Tocantins, Goiás e Mato Grosso, tanto em intensidade de atividades agrícolas quanto na distribuição espacial das mesmas. Porém, em outras regiões os dois bancos de dados foram distintos, principalmente na distribuição espacial dos pixels com atividades agrícolas, tal como nos estados do Amazonas e Rondônia, onde eles diferiram tanto em intensidade quanto em distribuição.

Levando-se em conta que as duas classificações de uso da terra utilizadas como condição inicial no modelo de reconstrução histórica do uso da terra foram construídos

tendo como base produtos de cobertura da terra derivados de sensores remotos diferentes (AVHRR e MODIS) e que há uma diferença temporal entre essas classificações de cobertura da terra e o ano do censo usado para calibração, essas diferenças verificadas entre os dois bancos de dados históricos eram esperadas. De acordo com a análise do intervalo de confiança da média do uso da terra total para as duas classificações, a classificação de uso da terra de Cardille et al. [2002] se mostrou mais confiável para a maioria dos estados da região de estudo por apresentar um desvio padrão menor, com exceção dos estados do Amapá e do Amazonas que apresentam desvio padrão menor na classificação de uso da terra de Ramankutty et al. [2008].

A análise de tendências de longo prazo mostrou que os estados de Tocantins, Goiás e Mato Grosso foram os que mais sofreram intensificação da pastagem plantada no período de estudo, principalmente a partir de 1970, e em muitas áreas ela substituiu a pastagem natural, por ser mais produtiva para a criação de gado, tanto nos mapas AMZ-C, como nos mapas AMZ-R. No Estado de Goiás, ela começou a se expandir a partir dos anos 50, se estendendo do centro-sul do estado para outras regiões, como as regiões oeste e norte do estado. Em Tocantins, a pastagem plantada começou a crescer também nos anos 50 e a partir de 1970 começa a substituir a pastagem natural, por ser mais produtiva para a criação de gado. Em Mato Grosso a pastagem plantada inicia sua expansão em 1960 crescendo exponencialmente até 1995. Esse comportamento da pastagem plantada nos três estados é observado nos dois bancos de dados, porém com algumas diferenças na distribuição e na intensidade.

As culturas agrícolas sofreram uma expansão significativa nos estados do Amazonas, Goiás e Mato Grosso, porém no Estado do Amazonas essa expansão aconteceu somente nos mapas AMZ-C, enquanto que nos mapas AMZ-R elas foram praticamente nulas. A expansão das culturas no Estado de Goiás teve início nos anos 50, e ocorreu,

principalmente na região centro-sul do estado, às margens da BR 153, tanto no banco de dados AMZ-C, como no AMZ-R. Em Mato Grosso as culturas agrícolas surgiram mais significativamente a partir dos anos 80, inicialmente na região sul e central do estado e depois se intensificou na região norte às margens da BR 163.

Com relação à comparação dos dois bancos de dados de uso da terra com o mapa de cobertura da terra TRFIC (Landsat) foi possível observar que na maioria dos anos comparados, para o Estado de Rondônia, o banco de dados AMZ-R apresentou um maior número de áreas de pixels contendo atividades agrícolas similares as áreas de desmatamento nos mapas TRFIC, principalmente o desmatamento ao longo da BR 364 que foi melhor representado, tanto em intensidade quanto em distribuição espacial, especialmente nos anos de 1985, 1992 e 1995. Contudo, na comparação feita para o Estado do Pará, o banco de dados AMZ-R representou melhor o desmatamento nas regiões noroeste, sudoeste e nordeste do estado, enquanto que o AMZ-C representou melhor as regiões leste, sudeste e ao longo da BR 010 (Rodovia Transamazônica). Levando-se em conta que a região nordeste do Pará não está representada nos mapas AMZ-C, os dois bancos de dados representaram o mesmo número de áreas desmatadas nos mapas TRFIC para os anos 1985, 1992 e 1995.

O uso da terra dentro das reservas indígenas em 1995 foi bem maior no mapa de Cardille et al. [2002], apresentando algumas reservas com até 50% de sua área ocupada por atividades agrícolas, sendo a pastagem o tipo de uso da terra dominante, enquanto que no mapa de Ramankutty et al. [2008] as reservas apresentaram no máximo 20% de uso da terra dentro de suas áreas. Isso indica que existe uma intensa exploração dos recursos naturais dentro das reservas, que consiste na destruição da floresta, para que a área seja usada para a agricultura ou para pastagem. A Reserva Indígena Raposa Serra do Sol,

localizada no norte de Roraima, apresentou frações de atividades agrícolas similares nos dois mapas, sendo que no mapa de Ramankutty et al. [2008] foi ligeiramente maior.

Os bancos de dados construídos nesse trabalho possuem incertezas relacionadas ao fato de que foram criados pela fusão de dois sistemas de observações diferentes – dados baseados em sensoriamento remoto e dados de censo agrícola. Os sensores remotos podem observar somente o topo do dossel vegetativo, e informam pouco sobre o uso da terra. Por outro lado, os dados baseados no censo agrícola podem incluir informações incompatíveis com os dados de sensoriamento remoto, por exemplo, enquanto os dados de censo informam culturas arbóreas como culturas permanentes, não está claro se as classificações de cobertura da terra baseadas em satélite consideram culturas de árvores como florestas ou como área desmatada.

Apesar dessas incertezas, esses bancos de dados são a primeira tentativa de estimar as mudanças históricas das culturas agrícolas, pastagem natural e pastagem plantada na Amazônia, utilizando dados de censo agrícola a nível municipal, enquanto que os bancos de dados históricos anteriores a esses, apresentam apenas a distribuição de culturas agrícolas, utilizando dados de censo agrícola a nível estadual. O fato de usar dados de censo a nível municipal faz com que a distribuição das atividades agrícolas dentro da região de estudo seja melhor estimada, pois a desagregação dos dados de censo é maior.

7.2. Perspectivas de aplicações

Apesar do crescente conhecimento dos impactos das mudanças no uso e na cobertura da terra na quantidade e qualidade dos recursos hídricos, ainda há uma falta de estudos que descrevem explicitamente as práticas históricas de uso da terra. Neste estudo, nós informamos as estimativas dos padrões históricos de uso da terra para as bacias dos

rios Tocantins-Araguaia, Xingu e Tapajos, regiões que experimentaram as mais rápidas taxas de mudanças no uso da terra nas últimas décadas.

Há uma grande necessidade em se entender como terras agrícolas estão mudando e em avaliar as implicações delas nos recursos hídricos, clima, ciclos biogeoquímicos, entre outros. Uma aplicação clássica está na atribuição das causas das mudanças climáticas. A mudança climática pode ter causas naturais e causas antropogênicas: causas naturais incluem variabilidade solar e erupções vulcânicas, enquanto as causas antropogênicas incluem mudanças nas concentrações dos gases de efeito estufa, e mudanças no uso da terra devido à urbanização e agricultura. Os bancos de dados históricos desenvolvidos neste trabalho serão úteis para ajudar a entender as causas das mudanças climáticas na região amazônica, bem como na investigação dos impactos das mudanças históricas na cobertura e no uso da terra nos recursos hídricos e no balanço de carbono da Amazônia.

7.3. Trabalhos futuros

O próximo passo será estender este trabalho a todo o Brasil. O novo banco de dados históricos de uso da terra apresentará, além do uso da terra por pastagens, o uso da terra discriminado nas principais culturas agrícolas (por exemplo, soja, milho, feijão, etc.). Para isso contamos com as malhas municipais digitais para o restante do Brasil, durante o período 1940-1995, que foram construídas paralelamente a criação dos bancos de dados para a Amazônia e dois produtos globais de uso da terra gerados pela fusão de dados de satélite e censo agrícola desenvolvidos por Ramankutty et al. [2008], Leff et al. [2004] e Monfreda et al. [2007].

No futuro, poderão ser criados novos bancos de dados de uso da terra, através da fusão de dados de cobertura da terra derivados de satélite e dados de censo agrícola, utilizando dados de satélite correspondente ao mesmo ano do censo, uma vez que o IBGE

estará disponibilizando os dados do último censo realizado em 2006 e que existem dados do sensor MODIS disponíveis desde 2000. Isso permitirá diminuir as incertezas nesses bancos de dados, que serão usados como condição inicial para criar novos bancos de dados históricos para todo o Brasil.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A. P. D., 2006. **Modelagem de Mudança do Uso da Terra na Amazônia: Explorando a Heterogeneidade Intra-Regional**. Tese de doutorado. INPE. São José dos Campos. p.182.
- ALVES, D.S.; PEREIRA, J.L.G.; SOUSA, C.L.; SOARES, J.V.; YAMAGUCHI, F., 1999. **Characterizing landscape changes in central Rondônia using Landsat TM imagery**. International Journal of Remote Sensing, vol. 20, n.14, 2877-2882p.
- ALVES, D. S., 2001. **O processo de desmatamento na Amazônia**. Parcerias Estrangeiras, n. 12.
- ALVES, D. S., 2002. **Space-times dynamics of deforestation in Brazilian Amazon**. International Journal of Remote Sensing, vol. 23, n.14, 2903-2908p.
- BARTHOLOME, E., BELWARD, A. S., 2005. **GLC2000: A new approach to global land cover mapping from Earth Observation data**, International Journal of Remote Sensing, vol. 26, 1959– 1977p.
- BECKER, B., 1991. **Amazônia**. 2ª edição. São Paulo : Editora Ática, 112p.
- BETTS, R. A., P. FALLOON, K. KLEIN GOLDEWIJK, AND N. RAMANKUTTY, 2007. **Biogeophysical effects of land use on climate: Model simulations of radiative forcing and large-scale temperature change**, Agricultural and Forest Meteorology, vol. 142, 216-233p.
- BELWARD, A. S., LOVELAND, T. R., 1996. **The DIS 1 km land cover data set**. Global Change Newsletter, vol. 27, 7-8p. The International Geosphere-Biosphere Programme: A study of global change (IGBP) of the international council of scientific. Toulouse, France.

- BONAN, G.B. 2002. **Ecological Climatology: Concepts and Applications**. Cambridge University Press, Cambridge. 678p.
- BRANDES, J. A., MCCLAIN, M. E. E PIMENTEL, T. P., 1996. **¹⁵N evidence for the origin and cycling of inorganic nitrogen in a small Amazonian catchment**. Biogeochemistry, vol. 34, 45–56p.
- BREIMAN, L.; FRIEDMAN, J. H.; OLSHEN, R.A.; STONE, C. J., 1984. **Classification and Regression Trees**. Wadsworth International: California, USA. ISBN: 0-534-98053-8.
- BRUIJNZEEL, L.A., 1990: **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: A state-of-knowledge review**. Paris: *UNESCO* International Hydrological Programme.
- CARDILLE, J. A., FOLEY, J. A., e COSTA, M. H., 2002. **Characterizing patterns of agricultural land use in Amazonia by merging satellite classifications and census data**. Global Biogeochemical Cycles, vol. 16, 1386, DOI 10.1029/2000GB001386.
- CARDILLE, J. A. e FOLEY, J. A., 2003. **Agricultural land-use change in Brazilian Amazonia between 1980 and 1995: Evidence from integrated satellite and census data**. Remote Sensing of Environment, vol. 87, 551–562p.
- CARDILLE, J. A.; CLAYTON, M., 2007. **A Regression Tree-Based Method for Integrating Land-Cover and Land-Use Data Collected At Multiple Scales**. Environmental and Ecological Statistics, vol. 14, 161-179p. DOI 10.1007/s10651-007-0012-5.
- CASPERSEN, J. P., PACALA, S. W., JENKINS, J. C., HURTT, G. C., MOORCROFT, P. R., BIRDSEY, R. A., 2000. **Contributions of land-use history to carbon accumulation in U. S. forests**. Science, vol. 290, 1148-1151p.
- COSTA, W. M., 1997. **O Estado e as Políticas Territoriais no Brasil**. São Paulo: Contexto.
- COSTA, M. H., FOLEY, J. A., 1999. **Trends in the hydrological cycle of the Amazon basin**. Journal of Geophysical Research Atmosphere, vol. 104 (14), 189-198p.
- COSTA, M. H., FOLEY, J. A., 2000. **Combined effects of deforestation and doubled atmospheric CO₂ concentrations on the climate of Amazonia**. Journal of Climate, vol. 13, 18-34p.
- COSTA, M. H., BOTTA, A. e CARDILLE, J. A., 2003. **Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Tocantins River, Southeastern Amazonia**. Journal of Hydrology, vol. 283, 206-217p.
- COSTA, M. H., 2005. **Large-scale hydrological impacts of tropical forest conversion**. Organizado por Michael Bonell; L. A. Bruijnzeel: Forest, Water and People in the Humid Tropics, Cambridge, Cambridge University Press, 590-597p.

- DE'ATH, G., FABRICIUS, K.E., 2000. **Classification and regression trees: A powerful yet simple technique for ecological data analysis**. *Ecology*. Vol. 81, 3178-3192p.
- DEFRIES, R. S. e TOWNSHEND, J. R. G., 1994. **NDVI-derived land cover classifications at a global scale**. *International Journal of Remote Sensing*, vol.15, 3567-3586p.
- DEFRIES, R. S., HANSEN, M., TOWNSHEND, J. R. G., SOHLBERG, R., 1998. **Global land cover classifications at 8km spatial resolution: The use of training data derived from Landsat imagery in decision tree classifiers**. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 19, 3141-3168p.
- DUNN, S. M. e MACKAY, R., 1995. **Spatial variation in evapotranspiration and the influence of land use on catchment hydrology**. *Journal of Hydrology*, vol. 171(1-2), 49 – 73p.
- FEARNSIDE, P. M., 1986. **Spatial concentration of deforestation in the Brazilian Amazon**. *Ambio*, vol.15 , n. 2, 72-79p.
- FEDDEMA, J. J., OLESON, K. W., BONAN, G. B., MEARNNS, L. O., BUJA, L. E., MEEHL, G. A. AND WASHINGTON, W. M., 2005. **The importance of land-cover change in simulating future climates**, *Science*, vol. 310, 1674–1678p.
- FOHRER, N., HAVERKAMP, S., ECKHARDT, K., FREDE, H. G., 2001. **Hydrologic response to land use changes on the catchment scale**. *Physical Chemical Earth*, vol. 26 (7-8), 577 – 582p.
- FOLEY, J. A.; COSTA, M. H.; DELIRE, C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P., 2003. **Green surprise? How terrestrial ecosystems could affect earth's climate**. *Frontiers Ecological Environmental*, vol. 1, 38-44p.
- FOLEY, J. A.; DEFRIES, R.; ASNER, G. P.; BARFORD, C.; BONAN, G.; CARPENTER, S. R.; CHAPIN, F. S.; COE, M. T.; DAILY, G. C.; GIBBS, H. K.; HELKOWSKI, J. H.; HOLLOWAY, T.; HOWARD, E. A.; KUCHARIK, C. J.; MONFREDA, C.; PATZ, J. A.; PRENTICE, C.; RAMANKUTTY, N.; SNYDER, P. K., 2005. **Global Consequences of Land Use**. *Science* vol. 309, 570-574p.
- FRIEDL, M. A., et al., 2002. **Global land cover mapping from MODIS: Algorithms and early results**, *Remote Sensing Environment*., vol. 83, 287– 302p.
- HANSEN, M. C., R. S. DEFRIES, J. R. G. TOWNSHEND, AND R. SOHLBERG, 2000. **Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach**, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 21, 1331– 1364p.
- HOMMA, A. K. O., 2003. **Histórico da Agricultura na Amazônia: da era pré - colombiana ao terceiro milênio**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 274p.

- IBGE, 1996. **Malha Municipal Digital do Brasil, situação em 1991 e 1994**. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Geociências. Departamento de Cartografia. Disponível em CD-ROM.
- LEFF, B., N. RAMANKUTTY, AND J. FOLEY, 2004. **Geographic distribution of major crops across the world**, *Global Biogeochem. Cycles*, vol. 18, GB1009, doi:10.1029/2003GB002108.
- MACHADO, L., 1998. **A fronteira agrícola na Amazônia**. In: Becker, B. K.; Christofoletti, A.; Davidoch, F. R.; Geiger, R. P. P. (Ed.). *Geografia e meio ambiente no Brasil*, 181-217p.
- MARGULIS, S., 2004. **Causes of deforestation in Brazilian Amazon**. World Bank Working Paper 22. Washington: World Bank.
- MATTHEWS, E., 1983. **Global vegetation and land use data bases for climate studies**. *Bull. American Meteorology Society*, vol. 64, 793–794p.
- MONFREDA, C., RAMANKUTTY, N., FOLEY, J. A., 2007. **Farming the Planet. part 2: Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and NPP in the year 2000**, *Global Biogeochem. Cycles*, doi:10.1029/2007GB002947, in press.
- MORAN, E., 1981. **Developing the Amazon: The Social and Ecological Impact of Settlement Along the Transamazon Highway**. Indiana: Indiana University Press.
- MUTHUKRISHNAN, S.; HARBOR, J.; LIM, K.J.; ANGEL, B. A., 2004. **Calibration of a Simple Rainfall-Runoff Model for Term Hydrological Impact Evaluation**. Disponível em: <http://www.urisa.org/>.
- NEPSTAD, D.; VERISSIMO, A.; ALENCAR, A.; NOBRE, C.; LIMA, E.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P.; POTTER, C.; MOUTINHO, P.; MENDOZA, E., 1999. **Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire**. *Nature*, vol. 6727, 505-507p.
- OLSON, J. S., WATTS, J. A, ALLISON, L. J., 1983. **Carbon in live vegetation of major world ecosystems**. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN
- PIAO, S., FRIEDLINGSTEIN, P., CIAIS, P., NOBLET-DUCOUDRE, N., LABAT, D., ZAEHLE, S., 2007. **Changes in climate and land use have a larger direct impact than rising CO₂ on global river runoff trends**. *PNAS*, vol. 104, n. 39.
- PRITCHETT, W.L., 1979. **Properties and Management of Forest Soils**. John Wiley, New York, 500p.
- QUILBÉ, R., ROUSSEAU, A. N., MOQUET, J. S., SAVARY, S., RICARD, S., GARBOUJ, M. S., 2008. **Hydrological responses of a watershed to historical land use evolution and future land use scenarios under climate change conditions**. *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 12, 101 – 110p.

- RAMANKUTTY, N.; FOLEY, J.A., 1998. **Characterizing patterns of global land use: An analysis of global croplands data.** *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 12, 667–685.
- RAMANKUTTY, N., FOLEY, J. A., 1999. **Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992,** *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 13(4), 997–1027.
- RAMANKUTTY, N.; EVAN, A. T.; MONFREDA, C.; FOLEY, J., 2008. **Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000.** *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 22, 1-19.
- SALATI, E., DALL’OLIO, A., MATSUI, E., GAT, J. R., 1979. **Recycling of water in the Amazon, Brazil: an isotopic study.** *Geophysical Research. Water Resources Research*, vol. 15, n. 5, 1250-1258p.
- SALATI, E., NOBRE, C. A., 1991. **Possible climatic impacts of tropical deforestation.** *Climatic Changes*, vol. 19, 177-196p.
- SAHIN, V.; HALL, M. J., 1996. **The effects of a forestation and deforestation on water yields.** *Journal of Hydrology*, vol. 178, 293-309.
- SCHNEIDER, R. R., ARIMA, E., VERÍSSIMO, A., BARRETO, P., SOUZA, JR., 2000. **Amazônia Sustentável: limitantes e oportunidades para o desenvolvimento rural.** In: IMAZON, World Bank (Ed.), *Série Parcerias*.
- SKOLE, D.L.; TUCKER, C.J., 1993. **Tropical deforestation and habitat fragmentation in the Amazon: satellite data from 1978 to 1988.** *Science*, v.260, n. 5116, 1905-1910p.
- SOUZA, R. J., 2005. **A Fronteira Agrícola no Contexto da Ocupação da Amazônia** In: *A Geografia e os Paradigmas do Século XXI.* Presidente Prudente. UNESP: VI Semana de Geografia.
- TUCCI, C. E. M., 2002. **Impactos da Variabilidade Climática e Uso do Solo sobre os Recursos Hídricos.** Agência Nacional de Águas – ANA, 145 p.
- VERBURG, P. H., DE GROOT, W. T., AND VELDKAMP, A. J., 2003. **Methodology for multi-scale land-use change modelling: Concepts and challenges, in Global Environmental Change and Land Use,** edited by A. J. Dolman, J. A. Verhagen, and C. A. Rovers, 17–51p, Elsevier, New York.
- VITOUSEK, P. M., MOONEY, H. A., LUBCHENCO, J., AND MILILLO, J. M., 1997. **Human domination of Earth’s ecosystems.** *Science*, vol. 227, 494-499p.
- WILSON, M. F., HENDERSON-SELLERS, A., 1985. **A global archive of land cover and soils data for use in general circulation models.** *Journal of Climatology*, vol. 5, 119–143p.