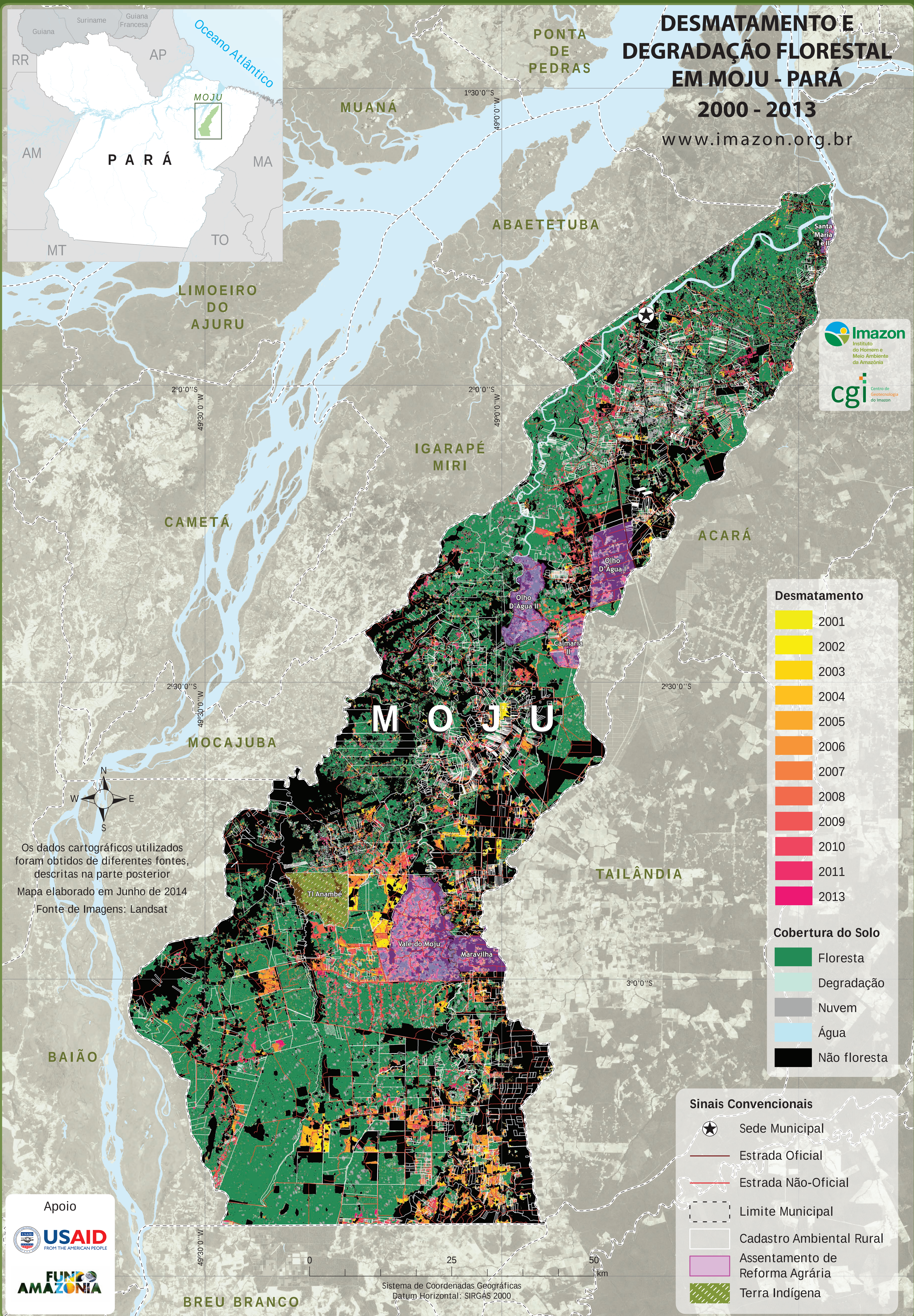




Apresentação

O mapa de **Desmatamento e Degradação Florestal de Moju** foi produzido pelo Imazon para subsidiar a análise do cadastro ambiental rural (CAR) de propriedades rurais do município, o licenciamento de atividades rurais e o monitoramento e controle do desmatamento e da degradação florestal, servindo de insumo para gestão ambiental municipal. Os mapas e as estatísticas foram obtidas com o processamento de imagens Landsat para o período de 2000 a 2013, e serão atualizadas anualmente. Esses dados anuais complementam os dados de alerta de desmatamento do SAD (Sistema de Alerta de Desmatamento) do Imazon, enviados para os parceiros do projeto, e dos sistemas oficiais de monitoramento¹.

O município de Moju foi fundado em 1856 e está localizado no nordeste do estado do Pará, na região de integração Tocantins. É limítrofe a 8 municípios, em maior extensão com os municípios de Baião, Tailândia e Acará. Sua área abrange 9.094 quilômetros quadrados, e abriga 70.018 habitantes, dos quais 36% estão na área urbana e 64%, na área rural (Idesp, 2012; IBGE, 2010). O PIB nominal do município em 2011 foi de R\$ 305 milhões, ocupando o 39º lugar com 0,35% do PIB do estado. O setor de serviços foi o que mais contribuiu para o PIB nominal municipal. Em 2011, o PIB *per capita* foi de R\$ 4,3 mil, ficando abaixo da média estadual de R\$ 11,5 mil. O principal setor de geração de emprego em 2011 foi o de serviços. Essas e outras estatísticas encontram-se disponíveis no Portal Status Municipal² do Imazon.

O município abriga, total ou parcialmente, 1 Terra Indígena (TI) e 7 Projetos de Assentamentos (PAs). A área restante é coberta por imóveis rurais (propriedades rurais e posses), onde já se encontram cadastradas no sistema de CAR estadual 2.401 propriedades, cobrindo uma área de 5.605 quilômetros quadrados, que equivale a 63% da área cadastrável (8.951 quilômetros quadrados).

As seções seguintes apresentam os detalhes da metodologia (Quadro 1), os resultados do mapeamento e as recomendações para gestão ambiental municipal.

^[1] Os sistemas oficiais de monitoramento do desmatamento em referência são o Prodes (<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>) e o Deter (<http://www.obt.inpe.br/deter/>).

^[2] O Portal Status Municipal do Imazon pode ser acessado através do link <http://www.status-municipal.org.br/>.

Quadro 1: Metodologia

Imagens do satélite Landsat TM/ETM+ foram adquiridos de várias fontes (INPE, GLOVIS) (Tabela 1). Esses dados e seus metadados foram estruturados em um servidor de imagens para facilitar o acesso e seu processamento digital. O processamento das imagens de satélite ocorre em cinco etapas através de um software desenvolvido pelo Imazon, denominado ImgTools, utilizando a linguagem de programação IDL (Figura 1) (Souza Jr. e Siqueira, 2013). Esse software processa um conjunto de cenas automaticamente produzindo mapas e estatísticas.

Tabela 1. Datas das imagens Landsat utilizadas no processamento dos dados.

Ano	Órbita/Ponto			
	223/61	223/62	224/61	224/62
2000	-	31/07/2000	08/09/2000	22/07/2000
2001	03/08/2001	03/08/2001	-	09/07/2001
2002	-	07/09/2002	-	28/07/2002
2003	21/05/2003	16/07/2003	-	24/08/2003
2004	23/11/2004	15/05/2004	26/08/2004	23/06/2004
2005	-	03/06/2005	-	12/07/2005
2006	-	09/08/2006	-	06/12/2006
2007	-	13/09/2007	-	16/06/2007
2008	13/07/2008	14/08/2008	-	20/07/2008
2009	-	17/08/2009	09/09/2009	09/09/2009
2010	-	03/07/2010	26/07/2010	26/07/2010
2011	08/09/2011	08/09/2011	29/07/2011	29/07/2011
2012 ³	-	-	-	-
2013	27/07/2013	27/07/2013	18/07/2013	18/07/2013

• **Etapla 1 – Pré-Processamento.** O primeiro passo da metodologia consistiu no registro das imagens Landsat para uma base de referência – Geocover (GLCF, 2000). Foram coletados pontos de controle (20-30) entre as imagens Landsat e a base de referência e aplicado um algoritmo de interpolação baseado em triangulação e reamostragem pelo método de vizinhança mais próxima. Isso garantiu um registro entre as imagens com erro de posicionamento menor que 1 pixel. Aplicamos técnicas de calibração radiométrica, remoção de ruídos de fumaças e remoção do sinal espectral da atmosfera. Dessa forma os dados das imagens de satélites são convertidos de número digital (DN – digital number) para reflectância de superfície.

Etapla 2 – Construção de Biblioteca Espectral. Consiste na identificação de componentes espectrais puros (*endmembers*) para estimativa de suas abundâncias em cada pixel. Os *endmembers* de interesse para o monitoramento florestal são: vegetação verde, vegetação fotossinteticamente não ativa (NPV – *Non-photosynthetic vegetation*), solo, nuvem e sombra. O processo para identificação e criação da biblioteca espectral passa pela identificação de curvas espectrais com potencial para serem *endmembers*. Em seguida, é feita a inspeção visual dessas curvas para seleção final do conjunto desses componentes puros.

Etapla 3 – Modelagem Espectral de Mistura (MME). As imagens em reflectância processadas na Etapa 1, são combinadas com os *endmembers* obtidos na Etapa 2 para estimar a abundância desses componentes puros em cada pixel da imagem. Para isso, aplicamos a técnica de modelagem espectral de mistura (MEE), utilizando a biblioteca espectral desses componentes puros. As imagens de fração resultantes do MME foram utilizadas para o cálculo do índice NDFI (*Normalized Differencing Fraction Image*), sendo combinadas em um classificador por árvore de decisão genérica, na etapa seguinte.

Etapla 4 – Classificação Automática. Construímos uma árvore de decisão empiricamente para classificar as áreas desmatadas, as florestas degradadas, corpos d’água, sombra e nuvem. A classe de “não floresta” representa todo o desmatamento ocorrido até o ano 2000 e as áreas de formação não florestal (afloramentos rochosos, campos, etc.). Utilizamos como entrada para a classificação as imagens de fração, obtidas com o MME, e o índice espectral NDFI.

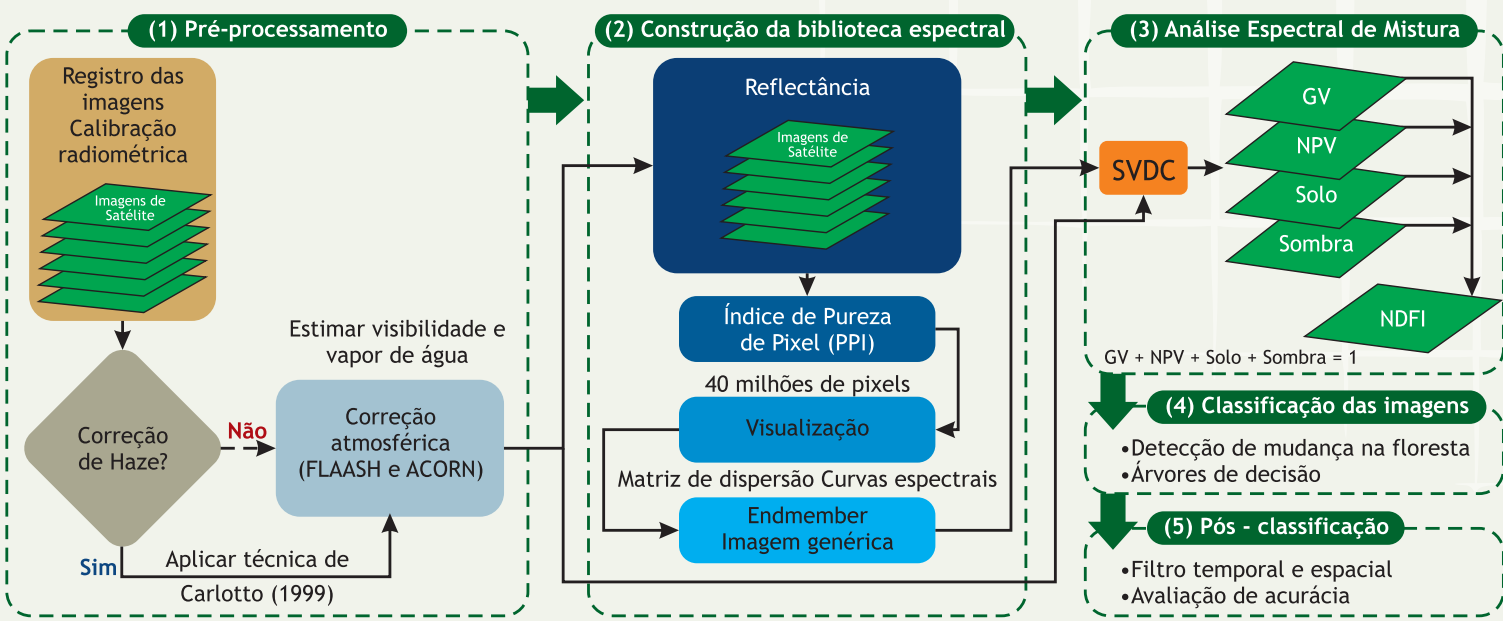


Figura 1. Metodologia aplicada no processamento de imagens Landsat e implementada no software ImgTools.

Etapla 5 – Pós-Classificação. Filtros espacial e temporal foram construídos para remover classificações espúrias e transições temporais entre classes de mapeamento não permitidas, respectivamente. O filtro espacial permite que determinadas classes sejam definidas juntamente com a sua menor área mapeável. Dessa forma, pixels isolados classificados em uma dada imagem podem ser eliminados e substituídos pela classe dominante em sua vizinhança. O filtro temporal é um conjunto de regras de transições não permitidas que são aplicadas a cada imagem classificada em um dado ano. Dessa forma, é possível remover nuvens e corrigir as transições não permitidas.

As estatísticas foram anualizadas para estimar as taxas anuais de desmatamento e da degradação florestal com base no método proposto pela *Food Administration Organization* (FAO). A taxa anual é uma estimativa da área de floresta afetada pelo desmatamento ou pela degradação florestal, num dado ano, geralmente expressa em termos absolutos (quilômetros quadrados por ano). O Brasil utiliza a data de 1 de agosto como referência para a estimativa da taxa anual de desmatamento. Isso significa que a taxa anual de desmatamento é estimada para o período de 1 de agosto a 31 de julho, denominando período de referência, adotado também neste estudo. As imagens de satélite Landsat, geralmente utilizadas para monitorar a Amazônia, são adquiridas em datas que não coincidem com o período de referência utilizado para a estimativa da taxa anual. Portanto, é necessário projetar as medições feitas com dados de satélite para esse período de referência com métodos matemáticos.

^[3] Neste ano somente foram disponibilizadas pela NASA imagens Landsat 7, que não foram utilizadas nesse estudo.

Os mapas de desmatamento foram combinados com mapas de PAs do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) para avaliar a situação da cobertura florestal. Também verificamos a área desmatada em propriedades inseridas no CAR disponibilizadas pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA).

Resultados

Os resultados do mapeamento do desmatamento e degradação florestal são apresentados na Tabela 2 e na Figura 2. No período de 2000 a 2013, 1.226 quilômetros quadrados de áreas desmatadas foram mapeadas em Moju. A área de floresta afetada pela degradação atingiu 436 quilômetros quadrados, ou seja, uma área de floresta alterada por exploração madeireira e/ou queimadas equivalente a 35% da área convertida pelo desmatamento. O maior pico de desmatamento ocorreu em 2007 (142 quilômetros quadrados), e a menor área desmatada detectada em 2001 (58 quilômetros quadrados). Em relação à degradação florestal, o ano de 2010 registrou o maior pico com 113 quilômetros quadrados de florestas degradadas, enquanto que no ano de 2011 foram detectados somente 8 quilômetros quadrados de degradação florestal em Moju.

Tabela 2: Estimativa de taxa anual de desmatamento e degradação florestal obtidas de imagens Landsat para o período de 2000 a 2013 no município de Moju.

Taxas anuais de desmatamento e degradação florestal (km²/ano)		
Ano	Desmatamento	Degradação
2001	58	29
2002	79	36
2003	83	33
2004	118	20
2005	114	44
2006	108	13
2007	142	25
2008	79	16
2009	124	46
2010	100	113
2011	59	8
2012	81	27
2013	79	26
Total	1.226	436

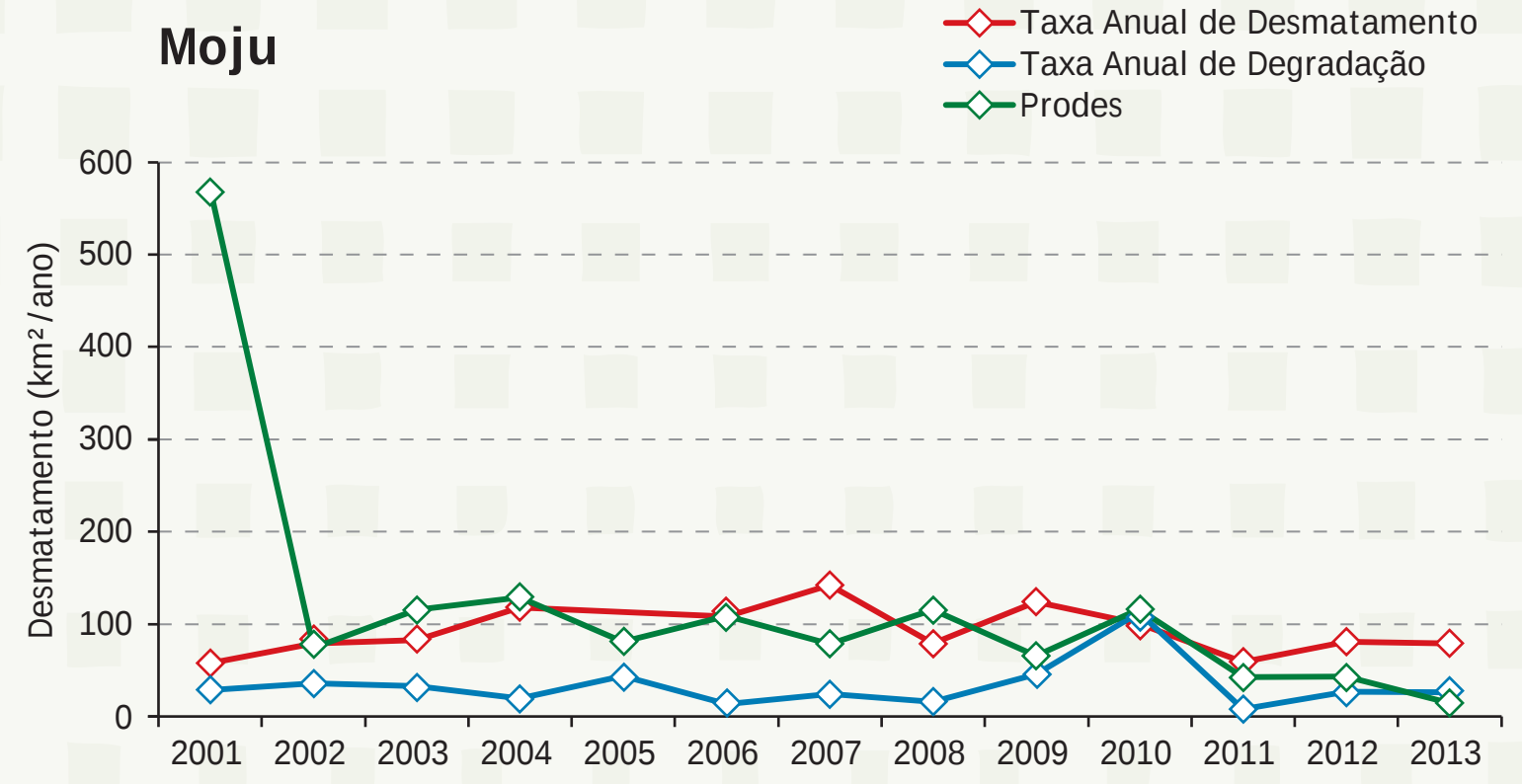


Figura 2: Taxa de desmatamento e degradação florestal anual no município de Moju.

A série histórica de desmatamento apresentou estabilidade nas taxas anuais de derrubada de florestas, estando as taxas entre os anos de 2004 e 2007 acima dos 100 quilômetros quadrados anuais (média de 120 quilômetros quadrados por ano). Em 2008 se registrou uma queda da taxa (79 quilômetros quadrados), voltando a ficar acima dos 100 quilômetros quadrados nos anos de 2009 e 2010, e retomando uma tendência de queda a partir de 2012.

A taxa anual de degradação florestal permaneceu estável ao longo da série histórica (Tabela 4), apresentando pequenas oscilações entre os anos, com taxa média anual de 29 quilômetros quadrados de 2001 a 2009. Em 2010 apresentou um repique de 113 quilômetros quadrados. A partir de 2011, quando foi registrada a menor área de degradação da série histórica, de 8 quilômetros quadrados, passou-se a delinear uma tendência de queda nas taxas anuais de degradação florestal em Moju (Tabela 2; Figura 2). O sistema Prodes detectou uma área desmatada de 1.558 quilômetros quadrados no mesmo período analisado (2000 a 2013), ou seja, uma área 27% maior do que a área desmatada (1.226 quilômetros quadrados) detectada pelo sistema do Imazon. Os dois sistemas geraram estatísticas com correlação de 33%, sendo a maior diferença entre os dados no ano de 2001. A baixa correlação entre os dados pode estar relacionada a grande diferença ocorrida nos primeiros anos de mapeamento devido a ausência de algumas imagens Landsat que não foram utilizadas por causa do elevado percentual de nuvem.

A diferença do desmatamento total detectado pelos dois sistemas de monitoramento pode ser explicada pelas seguintes hipóteses: escala de mapeamento que é mais detalhada no sistema do Imazon; inclusão ou não da degradação florestal no monitoramento; e pelas diferentes datas de imagens, entre os métodos de atualização (i.e., taxa anual) das medições feitas pelas imagens de satélites. Os dois sistemas não detectaram áreas desmatadas abaixo dos 40 quilômetros quadrados até 2012 no município de Moju.

Avaliamos também onde o desmatamento e a degradação florestal ocorreram no município. Dos 1.226 quilômetros quadrados detectados entre 2000 e 2013, 125 quilômetros quadrados (10%) estavam em áreas de PAs, enquanto que 646 quilômetros quadrados (53%) estavam inseridos em propriedades com CAR. Em relação às Áreas Protegidas, 2 quilômetros quadrados (0,2%) de desmatamento ocorreram em TI. O restante do desmatamento (453 quilômetros quadrados) estavam em áreas privadas ou em algum estágio de posse que não se encontram no CAR. Em relação a degradação florestal, dos 436 quilômetros quadrados detectados no mesmo período, 53 quilômetros quadrados (12%) estavam nas áreas de PAs, 232 quilômetros quadrados (53%) se localizavam em propriedades com CAR, 1 quilômetro quadrado (0,3%) em TI, restando 148 quilômetros quadrados (34%) distribuídos em áreas privadas ou em algum estágio de posse.

As áreas de Terras Indígenas, que no município de Moju somam 87 quilômetros quadrados, apresentaram as menores áreas desmatadas entre os anos de 2000 e 2013 (2 quilômetros quadrados), com média de 0,2 quilômetros quadrados ao ano (Tabela 3), enquanto que áreas de degradação florestal detectadas no mesmo período somaram 1 quilômetro quadrado, com média de 0,1 quilômetro quadrado por ano (Tabela 4).

Tabela 3. Taxas anuais de desmatamento por categoria fundiária (em km²) em Moju.

Ano	Categoria				
	Assentamentos	CAR	TI	Sem CAR	Total
2001	5	36	0,1	17	58
2002	6	43	0,1	30	79
2003	8	42	0,2	33	83
2004	14	64	0,5	40	118
2005	11	66	0,0	37	114
2006	13	63	0,1	33	108
2007	17	78	0,2	47	142
2008	9	46	0,1	24	79
2009	16	60	0,1	48	124
2010	8	51	0,2	41	100
2011	5	26	0,4	28	59
2012	6	36	0,2	39	81
2013	6	35	0,2	38	79
Total	125	646	2,4	453	1.226

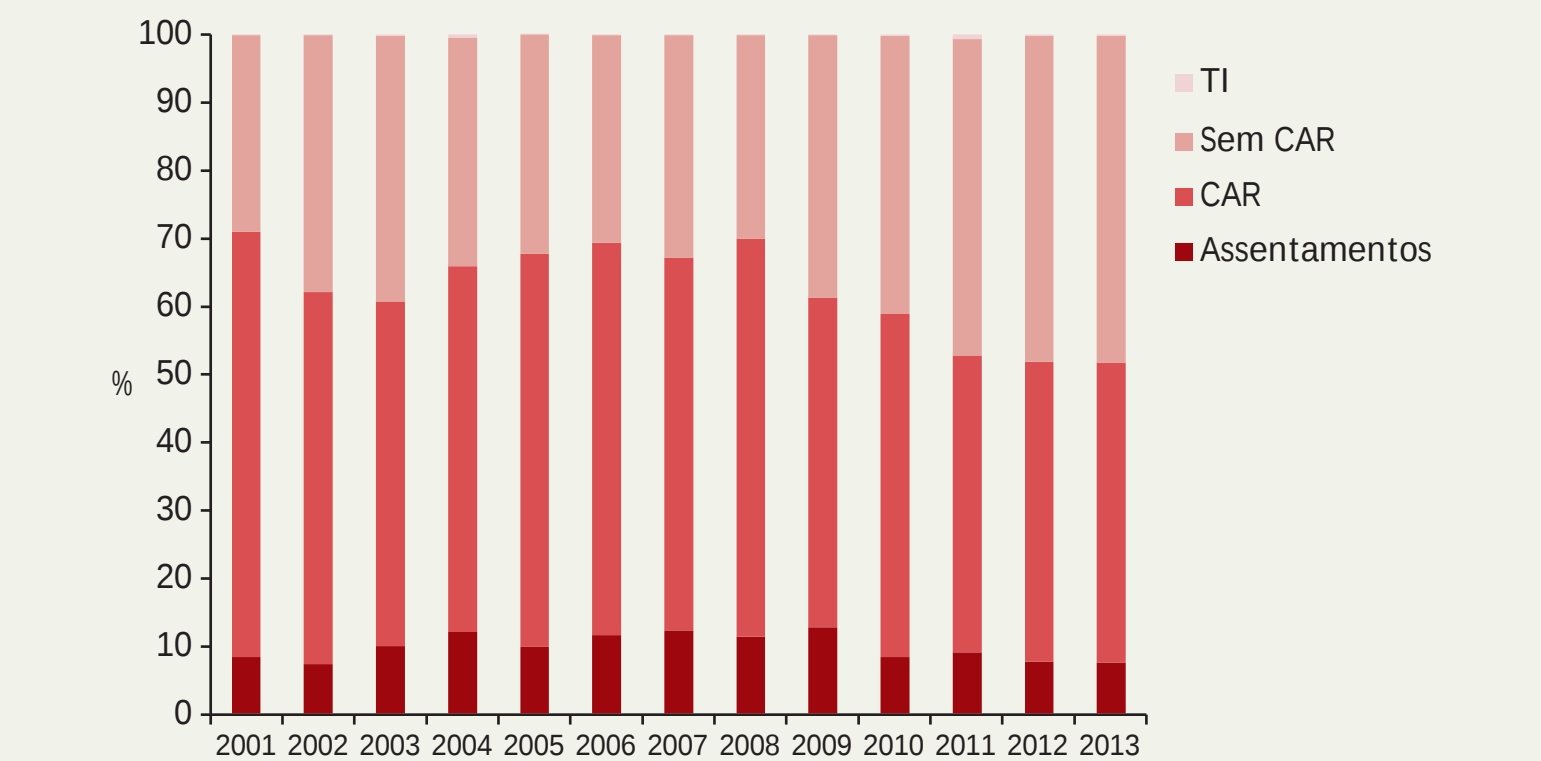


Figura 3: Taxa percentual de desmatamento anual por categoria fundiária em Moju.

Tabela 4. Taxas anuais de degradação por categoria fundiária (em km²) em Moju.

Ano	Categoria				
	Assentamentos	CAR	TI	Sem CAR	Total
2001	2	15	0,2	11	29
2002	3	22	0,1	11	36
2003	3	18	0,1	11	33
2004	6	10	-	4	20
2005	6	23	-	15	44
2006	1	8	0,3	4	13
2007	2	15	-	8	25
2008	2	9	-	6	16
2009	5	24	0,1	16	46
2010	12	62	0,2	38	113
2011	1	4	-	3	8
2012	5	11	0,1	10	27
2013	5	11	0,1	10	26
Total	53	232	1,5	148	436

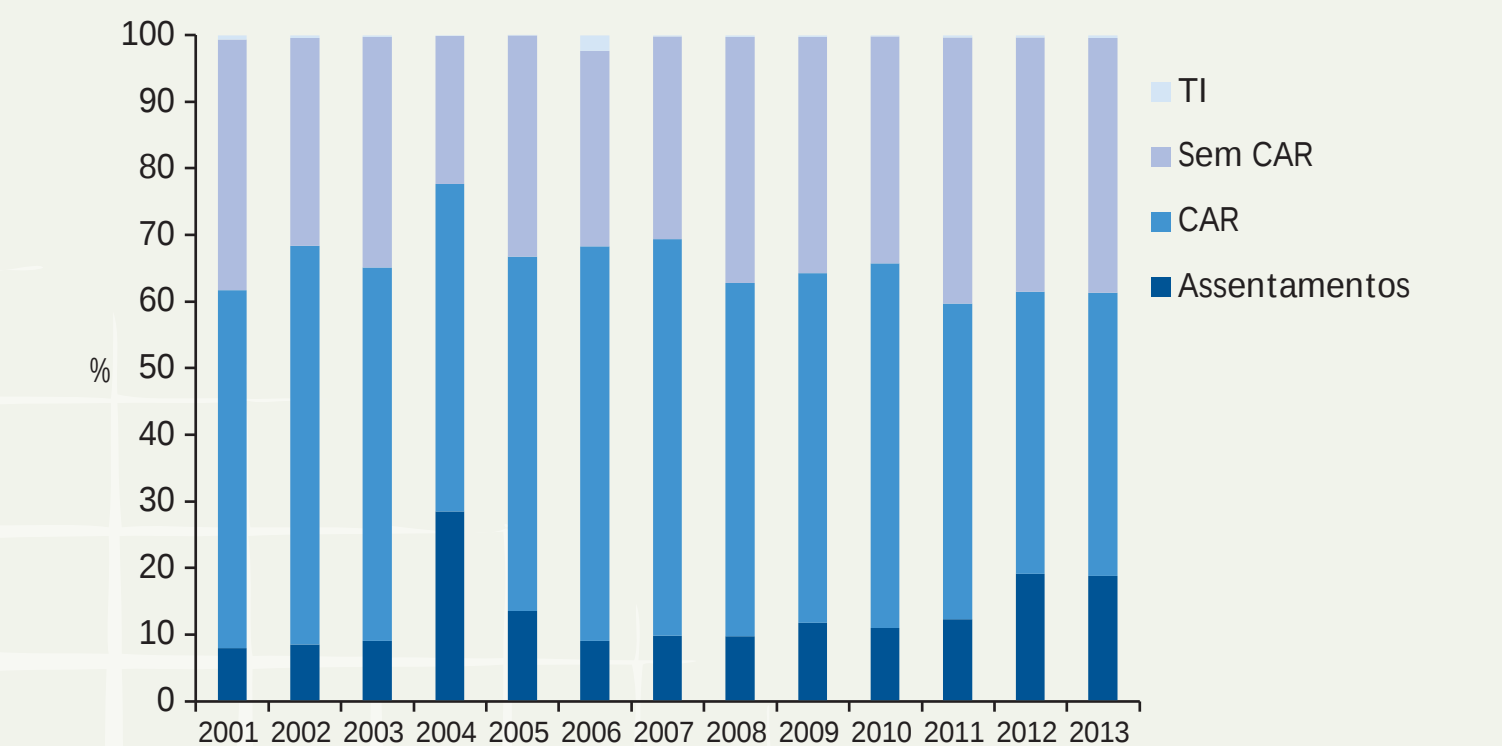


Figura 4: Taxa percentual de degradação florestal anual por categoria fundiária em Moju.

No ano de 2012 foram detectados no município de Moju 44 quilômetros quadrados de desmatamento (Prodes) e 60% de imóveis rurais com o CAR (Figura 5), não habilitando o município a sua saída da Lista de Municípios Prioritários (Portaria MMA nº 28/2008) no controle e combate ao desmatamento no bioma amazônico, do Ministério de Meio Ambiente. Segundo a Portaria MMA nº 411 de 2013, os principais requisitos para sair da lista são que os municípios precisam possuir 80% de seu território com imóveis rurais inseridos no CAR e desmatamento ocorrido no ano de 2012 igual ou inferior a 40 quilômetros quadrados.

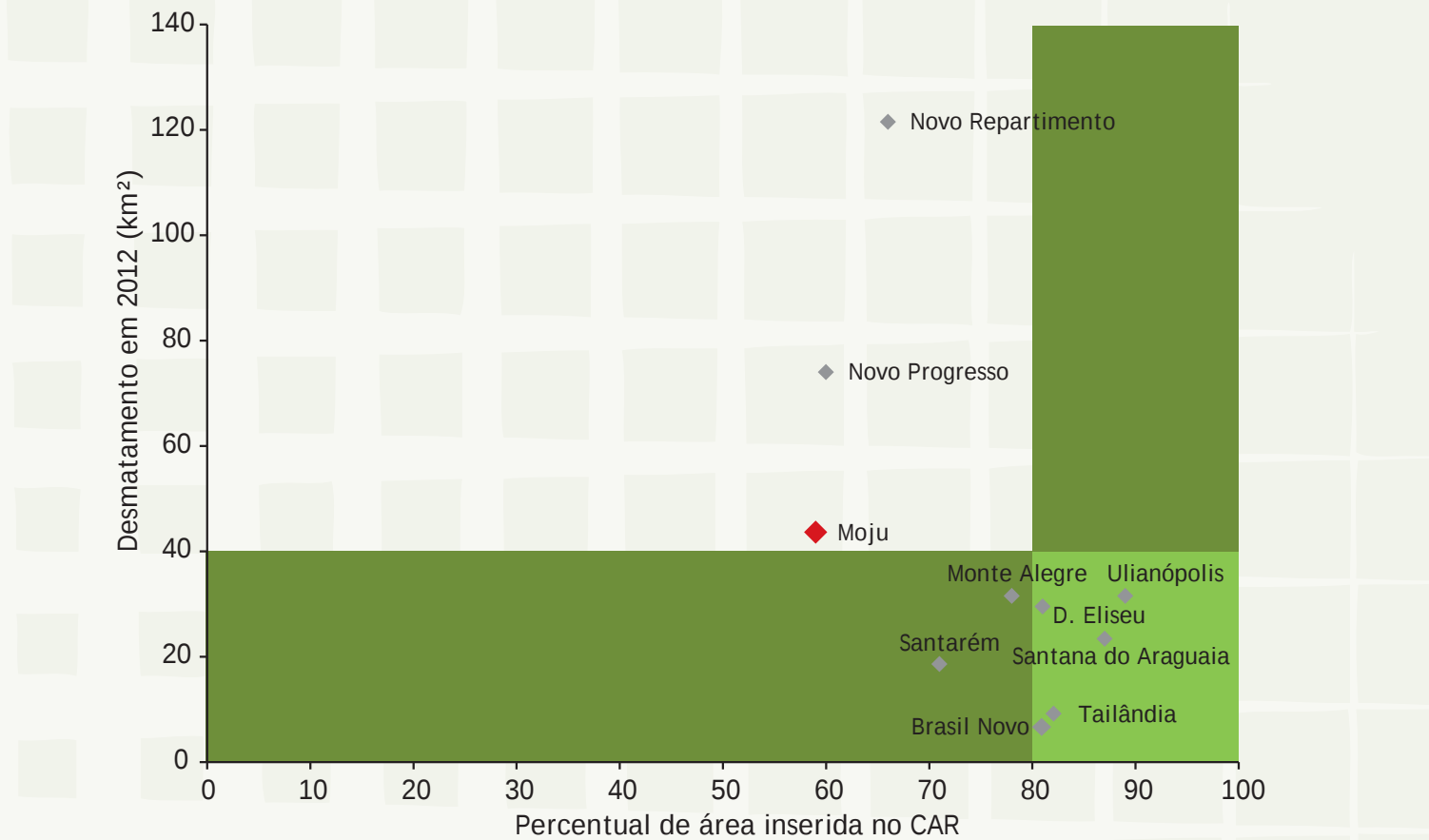


Figura 5. Distribuição do desmatamento em 2012 e % de área inserida no CAR dos municípios. A zona verde escuro representa o alcance das metas de redução do desmatamento (40km²/ano) e 80% do CAR. A zona verde clara indica que o município pode se qualificar para sair da lista crítica do desmatamento.

Recomendações

- As taxas anuais de desmatamento estimadas pelo Imazon indicaram uma tendência na redução do desmatamento e degradação florestal no município a partir do ano de 2012, porém ainda acima dos 40 quilômetros quadrados exigidos pelo MMA como um dos requisitos para saída da Lista de Municípios Prioritários no controle e combate ao desmatamento. É importante que se continue o esforço na aplicação das políticas e ações de redução e controle do desmatamento e da degradação florestal em Moju.
- As áreas cadastradas no CAR estadual foram as que apresentaram maior incidência de desmatamento ao longo da série histórica estudada. O controle do desmatamento pode ser facilitado identificando-se as propriedades que estão contribuindo com o desmatamento seguido da aplicação da lei, para retomada do controle do desmatamento.
- Sendo o CAR um relevante instrumento para o controle do desmatamento, é de grande importância a inserção de propriedades rurais que ainda não foram inseridas no sistema estadual do CAR, visto que as propriedades que não estão cadastradas também contribuíram significativamente (37%) para elevar as estatísticas de desmatamento em Moju.
- Mesmo apresentando tendência de redução nos últimos anos e taxas menores de desmatamento e degradação florestal em relação às áreas de CAR e sem CAR, os Assentamentos de Reforma Agrária contribuíram para estatísticas de perda e degradação florestal, devendo-se manter a fiscalização nessas áreas e identificar quais atividades econômicas estão impulsionando a perda de cobertura vegetal.
- Os dados de desmatamento e degradação florestal devem ser utilizados para emissão da licença para atividades rurais (LAR), para separar desmatamentos legalmente autorizados dos ilegais. Até o momento, as informações sobre o registro de LAR não estão disponíveis para esse tipo de análise.
- As áreas de degradação florestal em Moju, que após 2011 apresentaram uma tendência de redução, com taxas inferiores a 40 quilômetros quadrados, merecem ainda assim atenção dos órgãos de fiscalização, sobretudo em áreas de extração ilegal de madeira, visto que são regiões em potencial para conversão de novos desmatamentos.

NOTA TÉCNICA
Para chegar ao número de propriedades cadastradas no CAR, com base na área total cadastrável, o Imazon adotou alguns critérios (Nunes et al, 2014) para redução do percentual de sobreposição entre as áreas de CAR, que são:

- Excluir imóveis de mesmo código do CAR, exceto o imóvel mais antigo;
- Sobreposição entre CAR aprovado e CAR provisório mais antigo a ele, excitar a sobreposição deste último;
- Não eliminar sobreposições menores de 5%;
- Sobreposição maior que 80%, excitar o menor imóvel;
- Imóveis de áreas iguais sobrepostos, excitar o imóvel de menor código de CAR;
- Excluir imóveis com sobreposição maior que 80% aos assentamentos do INCRA.

Imóveis com sobreposições maiores de 50% a massa d’água e aqueles com sobreposições inferiores a 50% a área cadastrável também foram excluídos da análise.

FICHA TÉCNICA: MAPA DE DESMATAMENTO E DEGRADAÇÃO FLORESTAL EM MOJU: 2000-2013
Mapa elaborado pelo Centro de Geotecnologia do Imazon (CGI), 2014.
Equipe Técnica: Antônio Fonseca, Marcelo Justino, João Siqueira e Jéllia Ribeiro.
Colaboração Técnica: Dalton Cardoso, Denis Conrado da Cruz, Luis Oliveira Jr., Roberto Wagner Batista, Sâmia Nunes e Rodney Salomão.
Coordenação: Carlos Souza Jr.
Desing Gráfico: Luciano Silva (www.r12design.com.br)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS
BRASIL. Portaria nº 28, de 24 de janeiro de 2008. Dispõe sobre os Municípios situados no Bioma Amazônia onde incidirão ações prioritárias de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento ilegal. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 18, p. 70, 25 jan. 2008. Seção 1.
BRASIL. Portaria nº 411, de 7 de outubro de 2013. Dispõe sobre os requisitos de 2013 para que os municípios prioritários no combate ao desmatamento do Ministério do Meio Ambiente passem a integrar a lista de municípios com desmatamento monitorado e sob controle. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 198, p. 87, 11 out. 2013. Seção 1.
BRASIL. Instrução normativa nº 2, de 5 de maio de 2014. Dispõe sobre os procedimentos para a integração, execução e compatibilização do Sistema de Cadastro Ambiental Rural – SICAR e define os procedimentos gerais do Cadastro Ambiental Rural – CAR. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, n. 84, p. 59, 6 mai. 2014. Seção 1.
FAO. 2000. On Definitions of forest and forest change. Forest Resources Assessment. Working Paper 33. Rome. 13p.
Nunes, S.; Martins, H.; Reis, R.; Góes, G.; Monteiro, D.; Souza Jr., C. Oportunidades para restauração florestal no Pará. Belém, Pa: Imazon. Relatório técnico. 18p. 2014.
Souza Jr., C. and Siqueira, J.V. 2013. ImgTools: a software for optical remotely sensed data analysis. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR). Foz do Iguaçu-PR. 8p.
The Global Land Cover Facility (GLCF). 2000. Landsat GeoCover Degree, 1.0. University of Maryland Institute for Advanced Computer Studies, College Park, Maryland. 10/23/2001.

FONTE DE DADOS
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; Idesp – Instituto de Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental do Pará; Imazon – Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia; INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; ISA – Instituto Socioambiental; MMA – Ministério do Meio Ambiente; SEMA-PA – Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará;

FONTES CARTOGRÁFICAS
LIMITE ESTADUAL: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2010; LIMITE DO BIOMA AMAZÔNIA: World Wildlife Fund (WWF), 2000; CAPITAL ESTADUAL E DO PAÍS: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2010; HIDROLETRICAS E USINA PLATAFORMA: Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), 2011; OBRAS DO PROGRAMA DE ACELERAÇÃO DO CRESCIMENTO: Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), 2011; ESTRADAS OFICIAIS: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2006. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), 2011. ASSENTAMENTOS DE REFORMA AGRÁRIA: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), 2012. PLANOS DE MANEJO: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2011; TERRAS INDÍGENAS E UNIDADES DE CONSERVAÇÃO: Instituto Sécio Ambiental (ISA), 2005; DESMATAMENTO E COBERTURA DO SOLO: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2011.

AGRADECIMENTOS
Agradecemos a *United States Agency International Development* (USAID) pelo suporte na Descentralização Ambiental para Municípios Verdes (*Environmental Decentralization for Green Municipalities*), e a Fundação Skoll pelo suporte na implementação desse projeto. Ao Fundo Vale pelo apoio no desenvolvimento da metodologia de monitoramento com imagens Landsat, as atividades de processamento de imagens e a publicação desse mapa. O software ImgTools contou com o apoio, para seu desenvolvimento, da Fundação Moore, *Climate Land Use Alliance* (CLUA) e Fundo Vale. A Fundação Gordon & Betty Moore apoiou a equipe de processamento de imagens de satélite para o monitoramento de degradação florestal e desmatamento em áreas protegidas da Amazônia. Esse projeto também recebeu apoio da NASA através do Programa *Biological Diversity* liderado pelo Dr. Mark Cochran da *South Dakota State University* (Contrato: NNX07AF16G) para atividades operacionais de pré-processamento e de classificação de imagens. Os doutores Taya Nunata e Christopher Barber, da *South Dakota State University*, forneceram valiosas sugestões e revisões das imagens processadas. Ao Programa Municípios Verdes (PMV), Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA), Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SEMMA), Ministério Público Federal (MPF) e Ministério Público Estadual (MPE) e Inera pelo apoio nas ações de monitoramento e controle do desmatamento, sobretudo nas áreas de CAR. Gostaríamos de agradecer-las por essas contribuições.