

Memorias



Sociedad Latinoamericana en
Percepción Remota y Sistemas
de Información Espacial
Capítulo Colombia

30
AÑOS

Medellín, Colombia
29 de Septiembre al 3 de Octubre de 2014



A Amazônia aos olhos dos satélites Spot 5 e RapidEye. Integração de sensoriamento remoto e SIG em larga escala para cadastramento e adequação ambiental de imóveis rurais no estado do Pará, Brasil

The Amazon in the eyes of Spot and RapidEye satellites. Integration of remote sensing and GIS for large scale environmental registry and compliance of rural properties in the state of Pará, Brazil

Cíntia P.P. Balieiro^{*}, Giovanni Malmann, Lucyana P. Barros, Raphael S. Vale, Beatrice Pinho, Edkeyse Gonçalves, Lucélia Barros, Edenise Garcia

The Nature Conservancy
Av. Nazaré, 280 – Belém – PA, Brasil – CEP 66035-170

*Autor para correspondência: cbaleiro@tnc.org

Resumo. Este artigo propõe um método para a otimização e padronização da elaboração de bases digitais georreferenciadas e mapas de cobertura e uso do solo a partir de imagens de satélite de alta resolução em subsídio ao cadastro e ao licenciamento ambiental de propriedades rurais no estado do Pará, na Amazônia brasileira. O estudo abrangeu 19 municípios, cobrindo uma área de 36,4 milhões de hectares, e resultou em mapas em escala 1:25.000. Nenhum outro mapeamento com alta precisão geométrica e espacial havia sido realizado em larga escala na Amazônia. Numa primeira etapa, após avaliação e validação de imagens SPOT 5 com resolução espacial de 2,5 metros e mediante interpretação visual, o estudo focou na elaboração de bases digitais georreferenciadas identificando terras indígenas, unidades de conservação, limites municipais, centros urbanos e povoados, rede de estradas, rios e massas d'água editados em escala 1:10.000 e apresentados em escala 1:25.000. Os resultados obtidos para as

diferentes feições foram quantificados e comparados com aqueles das bases oficiais utilizadas no estado do Pará, em escala de 1:100.000 ou 1:250.000. Como esperado, a base mais refinada resultou num ganho significativo em termos de número de localidades (+33%) e extensão da malha viária (+333%) e da hidrografia unifilar (+94%). Em seguida foi apresentada a metodologia para a elaboração de mapas de cobertura e uso do solo a partir de imagens RapidEye de 2011 e 2012 com resolução espacial de 5 metros, com o uso de classificação supervisionada e correção de ruídos com filtros espaciais e edição matricial. Foram identificadas e quantificadas diferentes categorias de áreas com remanescente florestal (floresta nativa, floresta degradada, regeneração superior a cinco anos, etc., abrangendo cerca de 70% da área mapeada) ou sem remanescente (desmatamento, áreas urbanas ou de mineração, etc., abrangendo cerca de 28% da área mapeada). Em geral, o estudo indica a importância do uso de dados de alta precisão para o efetivo cumprimento do Código Florestal Brasileiro, incluindo controle do desmatamento e adequação ambiental dos imóveis rurais, bem como em subsídio à gestão territorial municipal.

Palavras chaves: Amazônia, bases digitais georreferenciadas, cadastro ambiental rural, sensoriamento remoto, uso do solo

Abstract. This paper presents a method to optimize and to standardize georeferenced digital bases and landcover maps from high resolution images to support the environmental registry and licensing of rural properties in Pará state, in Brazil's Amazon. The study comprised 19 municipalities, having covered an area of 36.4 million

hectares and resulted in maps in scales of 1:25.000. No other large scale mapping with such geometric accuracy had been done for the Amazon before. In a first phase, after the assessment and validation of SPOT 5 images with spatial resolution of 2.5 m, and based on visual interpretation, the study aimed to build digital georeferenced bases, identifying indigenous lands and other protected areas, municipalities boundaries, urban areas and villages, roads, rivers and water bodies edited in 1:10.000 and presented in 1:25.000. The results for the several features analyzed were quantified and compared with the official spatial database used in Pará State, in scales 1:100.000 or 1:250.000. As expected, the enhancement of the scale resulted in a remarkable increase in the number of urban areas (+33%), roads length (+333%) and linear hydrography (+94%). In a second step, it was presented a methodology for the elaboration of landcover maps from 2011's and 2012's RapidEye images (5 m of resolution), using supervised classification associated to noise correction processes, spatial filters and class edition. Different categories of forest remnants (native forest, degraded forest, regeneration older than 5 years, etc., comprising about 70% of the mapped area) and non-forested areas (deforestation, urban or prospection areas, etc., comprising about 28% of the mapped area) were identified and quantified. In general, the study shows the importance of the use of high precision data for an effective compliance of Brazil's Forest Code, including the control of deforestation and the environmental regularization of farms as well as the support to municipalities land management.

Key words: Amazon, georeferenced digital databases, rural environmental registry, remote sensing, land use

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Código Florestal Brasileiro, em geral 80% de cada propriedade rural da Amazônia devem ser mantidos como vegetação nativa, uma área conhecida como reserva legal; além disso, topos de morro, encostas íngremes e matas ciliares são consideradas áreas de preservação permanente (APP) e também devem ter sua vegetação original preservada. Um dos mecanismos que está sendo utilizado atualmente para garantir o cumprimento do Código Florestal, e ao mesmo tempo inibir o desmatamento ilegal e identificar potenciais infratores da lei, é o Cadastro Ambiental Rural (CAR). Esse registro funciona como um documento de identidade de cada propriedade rural, contendo informações georreferenciadas sobre sua localização e perímetro, hidrografia, uso do solo e cobertura florestal. Para que essas informações sejam sólidas e possam servir como instrumento efetivo de suporte à gestão territorial municipal, torna-se necessário o uso de uma base digital georreferenciada de alta precisão geométrica que, atrelada a análises de sensoriamento remoto, evita deslocamentos e permite o detalhamento das feições mapeadas em nível de propriedade.

Atualmente a base cartográfica disponível no Sistema Integrado de Monitoramento e Licenciamento Ambiental (SIMLAM) da Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará (SEMA-PA), que centraliza o CAR neste estado, contempla um banco de dados em diferentes escalas de mapeamento, tais como hidrografia (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército - DSG e Comissão Nacional de Cartografia - CONCAR, escala de 1:100.000), sistema viário do IBGE (escala de 1:250.000), limite municipal do IBGE (1:250.000), desmatamento do PRODES (1:250.000). No entanto, as escalas das bases adotadas não refletem a realidade de campo, principalmente para elaboração de projetos

de recuperação de áreas de reserva legal e áreas de preservação permanente (APP), que requerem informações espaciais de alta precisão geográfica. Além disso, para se alcançar um monitoramento ambiental eficaz das propriedades cadastradas, é extremamente necessária a adequação, unificação e padronização das bases cartográficas utilizadas.

Desde 2010 a The Nature Conservancy (TNC), uma organização não governamental com foco em questões ambientais que atua em mais de 35 países, tem apoiado alguns estados da Amazônia, e em particular o Pará, na realização do CAR, na inserção dos cadastros na base de dados espaciais utilizada pelo órgão licenciador das propriedades rurais (SIMLAM), bem como no aperfeiçoamento da base de dados por meio da melhoria da escala de trabalho dos mapas utilizados. Este estudo visa apresentar metodologias desenvolvidas para a elaboração de bases digitais georreferenciadas a partir de imagens de alta resolução espacial e qualidade geométrica precisa. Essas bases têm por objetivo subsidiar a SEMA-PA, bem como secretarias municipais de meio ambiente, no processo de regularização ambiental dos imóveis rurais, principalmente nos procedimentos de análises técnicas do CAR, dos Planos de Restauração de áreas Degradadas e Alteradas (PRADA) e no Licenciamento Ambiental Rural (LAR). Mais especificamente, o objetivo deste trabalho é a apresentação de metodologia para a elaboração de base digital georreferenciada e mapa de cobertura e uso do solo na escala 1:25.000, a partir de imagens de satélite SPOT 2,5 m e RapidEye 5 m.

2. ÁREA DE ABRANGÊNCIA

Este estudo abrange 19 municípios do estado do Pará que ocupam uma área de 36,4 milhões de hectares (Figura 1). A cobertura vegetal nesta área compõe-se, principalmente, por floresta densa equatorial, mas são observadas zonas com uma tipologia de transição floresta/cerrado, onde predomina a floresta aberta mista. O cerrado apresenta a gama completa do tipo savana, incluindo o cerradão, o campo cerrado e os parques, que são campos com arbustos isolados (Veloso *et al.* 1992).

3. METODOLOGIA

3.1 BASE DIGITAL GEORREFERENCIADA

O produto de elaboração da base digital georreferenciada resultou das vetorizações executadas sobre imagens SPOT 5. Inicialmente foi realizado o processamento digital das imagens utilizadas e, a seguir, foram mapeadas as seguintes feições: limites municipais e de áreas protegidas (unidades de conservação e terras indígenas), localidades, sistema viário, hidrografia unifilar e massa d'água. As etapas de elaboração e os dados de referência para cada uma das feições usadas para a construção das bases digitais georreferenciadas são descritas a seguir e encontram-se esquematizadas na Figura 2.

Etapas de Elaboração

3.1.1 Processamento digital de imagens SPOT

Para elaboração da base digital georreferenciada foram utilizadas 230 cenas do satélite SPOT 5 2007-2010. As imagens SPOT – assim como as imagens RapidEye utilizadas na elaboração do mapa de cobertura e uso do solo – foram reprojetaadas para a Projeção

Universal Transversa de Mercator – UTM, Sistema de Referência Geocêntrico da América do Sul – SIRGAS 2000 e também para coordenadas geográficas (conforme de Lambert), além de passarem por equalização, em que foram calibradas para corrigir eventuais problemas de contraste/brilho gerados durante a fase de aquisição ou processamento. Estas cenas passaram também pelo processo de validação da qualidade geométrica por meio de um levantamento de pontos de checagem em campo com o uso de dois (02) aparelhos GPS geodésicos de dupla frequência, L1/L2, com tempo mínimo de ocupação dos pontos entre 20 e 40 minutos. Para validação das cenas compararam-se as coordenadas coletadas na imagem com as coordenadas coletadas em campo com uso do GPS. O procedimento adotado aferiu a precisão da imagem em sua escala conforme o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para atender à escala de 1:25.000 e obter uma exatidão Classe A, com erro planimétrico máximo de 12,5 metros, conforme determinação do CONCAR.

3.1.2 Elaboração da base digital georreferenciada

A partir do procedimento de avaliação e validação geométrica das imagens SPOT 5, foi iniciado o processo de elaboração da base digital georreferenciada para cada um dos 19 municípios, por meio do método de interpretação visual, com edição na escala 1:10.000 para apresentação na escala de 1:25.000. O software utilizado foi ArcGis 10. Realizaram-se todas as operações topológicas para resolução de problemas de descontinuidade, deslocamento de elementos, sobreposição de linhas, pseudo-nós, etc. Todos os procedimentos seguiram os padrões aceitos pelo CONCAR e DSG. Os dados foram definidos na Projeção Conforme de Lambert e na projeção UTM, Sistema de Referência Datum SIRGAS 2000.

3.1.2.1 Limite municipal e de áreas protegidas

A base do limite municipal do IBGE em escala 1:100.000 e 1:250.000 para a extração dos limites “secos” (divisores d’água, principalmente) serviu de referência para edição desta feição. Para o limite de unidades de conservação foi usada a base do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e da SEMA-PA; e para as terras indígenas foram usadas informações da Fundação Nacional do Índio (FUNAI).

3.1.2.2 Localidades

Para identificação das localidades interpretaram-se padrões espaciais que definem os tipos e áreas urbanizadas de ocupação humana. Foram codificadas localidades, núcleos principais, vilas, distritos, povoados, de acordo com a denominação da localidade. Para efeito de visualização dos resultados deste estudo, as localidades foram indicadas por um ponto central dentro das áreas identificadas como urbanas. Os dados obtidos em escala 1:25.000 foram comparados com a base de dados oficiais do IBGE em escala 1:250.000.

3.1.2.3 Sistema de transporte viário

Para a elaboração deste tema foram vetorizadas as vias principais e secundárias. Os limites do CAR serviram como referência de localização dos imóveis. As vias foram atribuídas quanto ao nome da via, a sigla, a jurisdição (federal, estadual, municipal ou vicinal) e o tipo (pavimentada ou não pavimentada). A base oficial do IBGE em escala 1:250.000 serviu de referência para edição desta feição.

3.1.2.4 Hidrografia

Para a elaboração deste tema foram digitalizados rios, córregos, nascentes, lagos, barragens e outros corpos d'água. Foi realizada a vetorização de hidrografia unifilar e de polígonos (ou massa d'água). A categoria unifilar engloba o conjunto de corpos d'água, rios perenes ou intermitentes, igarapés, etc, cujas margens não são identificáveis na imagem de satélite utilizada. A massa d'água compreende o conjunto de corpos d'água, rios de margem dupla, lagos e lagoas visíveis na imagem de satélite utilizada. Todas as tipologias de hidrografia unifilar e massa d'água foram atribuídas quanto ao nome, tipo, definição e largura (hidrografia unifilar) ou área (massa d'água). A base de drenagem do DSG atualizada em 2009, na escala de 1:100.000, e o modelo digital de terreno SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, NASA 2000) serviram de referência para edição desta feição.

3.2 MAPA DE COBERTURA E USO DO SOLO

Os mapas de cobertura e uso do solo referem-se ao produto resultante do método de classificação semiautomática, utilizando imagens do satélite RapidEye 5 m. O processo inicia-se de forma automática, segregando classes com maior grau de separação espectral, seguido de um maior detalhamento e subdivisão das mesmas. Foram elaborados dois mapas, um em subsídio ao CAR e outro ao LAR com o uso dos softwares ENVI 4.7 e ERDAS 9.3 (Figura 3). Os dados foram definidos na Projeção Conforme de Lambert e na projeção UTM, Sistema de Referência Datum SIRGAS 2000.

A legenda de mapeamento foi amplamente discutida entre TNC, SEMA-Pará e parceiros e definida pela Instrução Normativa Nº 08/2012 da Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Pará (IN 2012). Sua definição buscou obedecer à hierarquia das

classes de uso da terra (IBGE 2006) e ao manual da vegetação brasileira (Veloso *et al.* 1991).

Etapas de Elaboração

3.2.1 Processamento digital de imagens RapidEye

Para elaboração do mapa de cobertura e uso do solo foram utilizadas 542 imagens de satélite RapidEye 5 m dos anos de 2011 e 2012. Primeiramente, as imagens foram registradas usando como base imagens Spot 5 para atender à qualidade geométrica na escala 1:25.000. Em seguida, foram aplicados procedimentos de realce e equalização e foi realizada uma análise detalhada do histograma de frequência em todas as bandas do visível, infravermelho e red-edge (banda específica para estudos de vegetação), utilizando o software ERDAS 9.3, a fim de aperfeiçoar o contraste de cores entre os principais alvos terrestres.

3.2.2 Mapa da Cobertura do Solo – Subsídio ao Cadastro Ambiental Rural – CAR

A primeira etapa de mapeamento contemplou as classes de floresta nativa (FN), desmatamento (AD), formações não florestais (FNF), afloramento rochoso (AFLO), área urbanizada (URB) e massa d'água (MA). Estas classes representam tipologias da paisagem mais generalizadas que, para subsidiar a elaboração do CAR, foram divididas em três grupos: área de reserva legal (ARL), áreas desmatadas (AD) e massa d'água (MA), e o resultado final desta etapa consistiu na base de cobertura do solo. A ARL englobou as classes FN, AFLO e FNF, que constituem áreas com potencial para serem

definidas como reserva legal do imóvel rural. Trata-se de áreas com presença de floresta, campos naturais e afloramentos rochosos com vegetação arbórea ou arbustiva no entorno, florestas intocadas e áreas em que a ação humana não provocou significativas alterações das suas características originais de estrutura e de espécies, assim como floresta com indícios de sucessão secundária com mais de cinco anos de pousio. A AD compreendeu as classes URB e AD. Estas áreas são definidas como uso alternativo do solo ou áreas úteis do imóvel rural, e apresentam predomínio de solo exposto, onde houve a remoção total da cobertura vegetal, implantação de pasto ou culturas agrícolas e extração de minério e areia, por exemplo. A MA abrangeu lagoas, espelhos d'água e redes de drenagem visíveis na imagem de satélite.

A elaboração foi iniciada com um processo de segmentação das imagens, onde cada feição da paisagem foi definida como um objeto, seguida de uma classificação supervisionada, que consistiu em coletar amostras de treinamento representando o comportamento médio das classes (remanescente de vegetação natural, áreas desmatadas, manchas urbanas, dentre outras), mapeadas automaticamente. Baseado nestas amostras e em critérios de separação de tipologias da paisagem, o algoritmo classificador analisou cada conjunto de pixels homogêneos (ou objetos) na imagem, comparando o comportamento espectral dos mesmos e definindo a quais classes cada conjunto pertencia; este processo separou parte das classes do mapa de cobertura do solo. Em seguida, este produto foi refinado com aplicação de filtros espaciais, assim como com a interpretação visual das áreas não corrigidas pelo procedimento anterior. O produto de massa d'água da Base Digital Georreferenciada obtida a partir das imagens de satélite Spot 5 foi utilizado para otimizar o processo de edição desta classe com imagens Rapideye.

3.2.3 Mapa de Uso do Solo – Subsídio ao Licenciamento Ambiental Rural – LAR

A segunda etapa do mapeamento contemplou as classes de floresta nativa (FN), floresta degradada antiga (FDA), floresta degradada recente (FDR), regeneração (REG), desmatamento (AD), áreas de mineração (AM), reflorestamento (AFP), formações não florestais (FNF), afloramento rochoso (AFLO), área urbanizada (URB) e massa d'água (MA). Foi realizada a interpretação visual das classes de desmatamento e floresta para detalhar as classes sem remanescentes florestais (AD, AM, AFP e URB), com remanescentes florestais (FN, FDA, FDR, AFLO e REG), assim como áreas complementares ao mapeamento (MA e NI). Estas classes apresentaram uma resposta espectral variada e não padronizada, devido à influência antropogênica diversa tanto espacialmente como temporalmente. Para cenas com presença de nuvem que inviabilizaram a interpretação, foi considerado o histórico de imagens Spot 5 2007-2010. Na ausência de imagens Spot 5, as áreas em questão foram incluídas na classe “nuvem e sombra” (NI). Uma série histórica de imagens de satélite Landsat TM5 (2005 e 2008) foi utilizada para interpretar regiões com presença de regeneração (acima de 5 anos de pousio) e degradação florestal, a fim de confirmar os estágios secundários dessas feições. O produto final foi combinado ao mapa de vegetação do IBGE (2006) para separação das tipologias florestais existentes, adaptando as terminologias oficiais às acordadas segundo a IN 2012.

3.2.4 Coleta de pontos de campo para validação da legenda do mapa de cobertura e uso do solo no Pará

Diferentes tipologias de cobertura e uso do solo foram levantadas em campo, por meio de sobrevoo, para auxiliar e validar os trabalhos de mapeamento da cobertura e uso do solo. Inicialmente, foram definidos roteiros e pontos para levantamento de amostras, segundo a IN 2012. Foram realizados quatro sobrevoos de no mínimo 10 horas cada. A melhor data de voo foi definida em função das condições do clima, ou seja, tempo estável e céu com poucas nuvens. A rota de voo estabelecida baseou-se em dois fatores principais: tipos de fisionomia vegetal que ocasionassem confusão espectral no mapeamento por sensoriamento remoto e áreas de possível mudança na vegetação original, como áreas alteradas, desmatadas e em regeneração. Foi criado um acervo fotográfico georreferenciado a partir dos pontos de amostragem obtidos com a utilização de aparelhos GPS e câmeras fotográficas de alta resolução.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Processamento digital das imagens

As imagens SPOT, apesar de já estarem ortorretificadas, também foram validadas quanto à sua qualidade geométrica por meio de levantamento de campo. Neste procedimento, interferências no acesso às informações e limitações na ocorrência de feições notáveis limitaram, em média, a 4,52 pontos de checagem por cena, dos sete pontos pré-definidos. As discrepâncias entre as coordenadas planimétricas dos pontos GPS e das imagens atenderam ao erro padrão da classe A, com escala de 1:25.000, e distância de 7,5 m no terreno. Em seguida foi elaborado o mosaico de imagens 2007-2010, priorizando cenas mais recentes às antigas, assim como aquelas com menor cobertura de nuvem.

Nas imagens RapidEye, além dos procedimentos de realce e equalização, foi realizada uma análise detalhada do histograma de frequências para executar as classificações com maior nitidez. Mesmo com as dificuldades de correlação de algumas classes devido ao padrão de sazonalidade e nuvens, a perda da qualidade visual causada pela heterogeneidade espectral entre as cenas foi considerada aceitável durante o processo de interpretação e classificação do mapeamento.

4.2 Base digital georreferenciada

A Tabela 1 apresenta uma comparação dos resultados obtidos a partir da base digital georreferenciada descrita no presente estudo, em escala 1:25.000, com aqueles obtidos a partir da base cartográfica disponível no Sistema Integrado de Monitoramento e Licenciamento Ambiental (SIMLAM) da Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará (SEMA-PA), em escalas 1:100.000 ou 1:250.000.

O uso da base digital georreferenciada permitiu a visualização de 422 localidades, 104 (ou 33%) a mais que aquelas inseridas na base oficial do IBGE (Tabela 1, Figura 4). Essa diferença pode ser atribuída a dois fatores principais. O primeiro está associado à rápida dinâmica de ocupação em algumas áreas da Amazônia, perceptível com o uso de imagens de satélite relativamente recentes, e o segundo fator se relaciona à diferença da escala de mapeamento utilizada: em 1:250.000 áreas urbanizadas menores podem ser facilmente confundidas com o padrão de desmatamento. Foi verificado também, em vários casos, para uma mesma localidade, um deslocamento entre as bases, provavelmente devido à diferença de escala (Figura 4). Adicionalmente, o deslocamento pode resultar do fato de as localidades terem sido indicadas, no mapeamento refinado, por um ponto central dentro das áreas identificadas como urbanas, ao passo que os

dados oficiais mantêm o posicionamento original das localidades, independentemente da direção de sua expansão.

A partir da base digital georreferenciada em escala 1:25.000 foi possível observar quatro vezes mais estradas que o indicado pela base cartográfica oficial, resultando num incremento de 106.277 km de extensão da malha viária para a totalidade da área analisada (Tabela 1, Figura 5). Esse refinamento é imprescindível para um melhor entendimento da dinâmica das mudanças da cobertura e uso do solo na Amazônia. Cerca de 95% do desmatamento ocorre numa distância inferior a 5,5 km das estradas, e a construção de estradas primárias ou secundárias é considerada como um dos principais indutores diretos de desmatamento (Barber *et al.* 2014), estando ligada à expansão da agricultura e pecuária, e permitindo que áreas remotas se tornem mais vulneráveis à exploração madeireira.

O ganho em termos de hidrografia unifilar com o uso de uma escala mais refinada foi também significativo. A extensão desta feição aumentou de 94% (270.459 km) em relação à base oficial (Tabela 1, Figura 6). Esse resultado tem um impacto direto sobre o cumprimento do Código Florestal Brasileiro, que define áreas de bordas de rios como áreas de preservação permanente (APP), que devem ser mantidas intactas ou restauradas em caso de terem sofrido desmatamento ou degradação. Para ilustrar as implicações ecológicas de dados subestimados de APP, foi gerada para a totalidade da área de estudo uma camada de APP com largura de 30 metros no entorno dos rios unifilares e de massa d'água mapeados em ambas as bases – oficial (DSG) e 1:25.000. O uso da escala mais refinada resultou em uma área de APP mapeada mais de 100% superior àquela obtida com o uso da base oficial, ou seja, um incremento de 1.908.473 ha (Tabela 1). A largura fixa de 30 m foi utilizada porque a escala da base de hidrografia

unifilar e de massa d'água do DSG não permitiu a adoção do buffer de APP de acordo com a largura do rio, conforme exige o código florestal. Vale ressaltar ainda algumas dificuldades encontradas para o mapeamento, tais como: dados incompletos e inconsistentes da base oficial (rios levantados com a mesma nomenclatura em interflúvios diferentes) e desafios para a vetorização em área de floresta nativa.

Ao contrário da malha viária e da hidrografia unifilar, a massa d'água mapeada em 1:25.000 sofreu um decréscimo (4,8% ou 39.084 ha) em relação à base oficial (Tabela 1, Figura 6). No entanto, houve em realidade um ganho em escala e precisão porque o uso de imagens de alta resolução contribuiu para incorporar todos os corpos d'água visíveis nas imagens e de acordo com a escala de edição 1:10.000 ou melhor. A resposta espectral das imagens distinguiu padrões de formação não florestal (campos alagados, bancos de areia, etc.) e florestas suscetíveis a alagamentos. Por outro lado, a base oficial na escala de 1:100.000 por um lado superestimou a massa d'água, já que foi além das margens dos grandes rios e englobou ilhas florestadas e regiões de formação não florestal, e por outro subestimou as lagoas e espelhos d'água imperceptíveis na escala abordada.

4.3 Mapa da cobertura e uso do solo

Os resultados do mapeamento de cobertura e uso do solo são apresentados na Figura 7 e resumidos na Tabela 2, e se referem a uma área de 22.746.238 ha, o equivalente a 60% da área total dos 19 municípios abrangidos. Em alguns municípios foram mapeadas somente as áreas passíveis de CAR, com consequente exclusão de áreas militares, terras indígenas e unidades de conservação, à exceção de áreas de proteção ambiental (APA).

Estes municípios incluem: São Félix do Xingu, Bannach, Tucumã, Ourilândia do Norte, Cumaru do Norte, Marabá, Santana do Araguaia e Novo Progresso. Os demais municípios foram mapeados integralmente.

O mapa de cobertura do solo elaborado a partir de imagens RapidEye 5 m indicou que 27,5% (5.983.411 ha) do total mapeado correspondiam a áreas sem remanescentes florestais, caracterizadas por atividades de agropecuária e de agricultura, áreas de mineração e áreas urbanas. As áreas com remanescente florestal cobriram 69,5% do total mapeado (15.125.894 ha) e englobaram tanto áreas de floresta nativa não degradada (63%) quanto de degradação antiga (<1%) ou recente (1,4%), além de áreas em regeneração (~3%) e com formações não florestais – cerrado e afloramentos rochosos (ambos ocupando menos de 1%). Importante notar que a presença de áreas em diversos estágios de regeneração, com sucessão secundária acima de cinco anos e, portanto, com potencial para reserva legal, foi superior à área ocupada por florestas degradadas. Por outro lado, apesar da pequena cobertura, a detecção do cerrado tem implicações importantes em termos de cumprimento da legislação, já que o Código Florestal estabelece que, neste bioma, a reserva legal deve corresponder a 35% da área dos imóveis rurais, ao passo que em imóveis rurais localizados no bioma Amazônia a área de reserva legal corresponde a 80% (Lei nº 12.651). Os 3% restantes foram ocupados por massa d'água ou áreas que não puderam ser identificadas principalmente devido à presença de nuvens.

Enquanto a base digital georreferenciada refinada permite apenas a quantificação das áreas de APP e de RL, o mapa de uso do solo e cobertura vegetal 1:25.000 propicia uma avaliação da condição dessas áreas, fazendo a distinção acurada das diversas categorias de áreas com ou sem remanescente florestal. Dessa forma, o mapa refinado de cobertura

e uso do solo constitui um subsídio importante ao cumprimento do Código Florestal, incluindo controle do desmatamento e apoio ao processo de adequação ambiental da propriedade rural. A fim de ilustrar o ganho ambiental conseguido a partir do mapa refinado, foi gerada uma análise comparando dados de APP desmatada (APPD) oriundos do mapeamento em 1:25.000 com aqueles das bases oficiais (DSG 1:100.000) para os municípios de Tucumã, Ourilândia e Bannach (Tabela 3). A área de APPD identificada em escala 1:25.000 é praticamente o dobro daquela indicada pela base oficial. Essa subestimação gerada a partir das bases oficiais pode ter implicações importantes se forem considerados os serviços ambientais prestados pelas matas ciliares em termos de proteção dos corpos aquáticos em geral e conectividade ecológica (Correl 1996).

Coleta de pontos de campo para validação da legenda do mapa de cobertura e uso do solo no Pará

O processo de verificação e validação em campo da legenda de mapeamento ocorreu através de quatro sobrevoos (dois outros estão ainda previstos para Trairão, Itaituba, Aveiro e Rurópolis), cobrindo até o presente principalmente as áreas cadastráveis de dez municípios (Figura 1). O acervo fotográfico aéreo contemplou 468 pontos de campo e suas respectivas fotografias aéreas (Figura 8).

5. CONCLUSÃO

Este estudo apresentou metodologias para a elaboração, a partir de imagens de satélite de alta resolução e sensoriamento remoto, de bases digitais georreferenciadas e mapas

de cobertura e uso do solo para 19 municípios do estado do Pará, na Amazônia brasileira. Trata-se do primeiro estudo com alta precisão geométrica e espacial em larga escala na Amazônia. A escala, a metodologia de detecção e a interpretação visual com série histórica de imagens de satélite de alta resolução usadas no mapeamento possibilitaram uma acurada identificação e quantificação das diferentes categorias de áreas com e sem remanescentes florestais existentes na região de estudo. A validação dos produtos de cobertura e uso do solo com sobrevoo garantiu a checagem em grandes áreas com difícil acesso terrestre e otimizou o tempo e custo de execução desta atividade. As informações obtidas são imprescindíveis para a quantificação e qualificação precisa de áreas de proteção permanente e de reserva legal, no processo de adequação ambiental dos imóveis rurais, segundo o que determina o Código Florestal Brasileiro. O mapeamento gerado fornece também subsídios para a manutenção ou restabelecimento da conectividade e funcionalidade dos ecossistemas destas áreas, assim como para consolidação da gestão territorial em âmbito municipal e regional.

Referências Bibliográficas

Barber, C.P., Cochrane, M.A., Souza Jr., C.M. & Laurance, W.F. (2014). Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon. *Biological Conservation*, 177, 203-209.

Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Diário Oficial [da República Federativa do

Brasil]. Disponível em:

<http://saema.com.br/files/Novo%20Codigo%20Florestal.pdf>, acessado em 28 de setembro 2012.

CONCAR – Comissão Nacional de Cartografia. (2007). Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV). Rio de Janeiro.

Correll, D.L. (1997). Buffer zones and water quality protection: general principles. *In*: Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection. St. Albans: Haycock associates: 7-20.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2006). Manual Técnico de Uso da Terra. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais do IBGE – Rio de Janeiro. 2º edição.

IN – Instrução Normativa Nº 08/2012 de 09 de Outubro de 2012. Número de Publicação: 446292

NASA. Shuttle Radar Topography Mission – SRTM Project. Disponível em: <http://www.jpl.nasa.gov/srtm/>. Acessado em 22 de novembro de 2010.

Roberts, D. A., Numata, I., Homes, K., Batista, G., Krug, T., Monteiro, A. L., Powell, B. & Chadwick, O. A. (2002). Large area mapping of land-cover change in Rondônia using multitemporal spectral mixture analysis and decision tree classifiers. *Journal of Geophysical Research*, 107 (20), 40-1 a 40-18.

Veloso, H.P., Rangel Filho, A.L.R. & Lima, J.C.A. (1991). Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal. Rio de Janeiro: IBGE.

Tabela 1. Comparação dos resultados obtidos a partir da base digital georreferenciada (1:25.000) e da base cartográfica oficial (1:100.000 ou 1:250.000) utilizada pelo SIMLAM-Pará.

Categorias	Base de dados georreferenciados (1:25 000)	Base cartográfica oficial^a (1:100 000 ou 1:250 000)	Diferença
Localidades (n ^o)	422	318 ^b	104
Sistema viário (km)	138.116	31.839 ^c	106.277
Massa d'água (ha)	778.498	817.582 ^d	39.084
Hidrografia unifilar (km)	558.606	288.147 ^e	270.459
Total de APP em torno de rios (ha)	3.703.603	1.795.130 ^f	1.908.473

^aBase cartográfica disponível no Sistema Integrado de Monitoramento e Licenciamento Ambiental (SIMLAM) da Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará (SEMA-PA).

^{b, c} Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1:250.000).

^{d, e} Fonte: Diretoria de Serviço Geográfico do Exército - DSG e Comissão Nacional de Cartografia - CONCAR (1:100.000).

^f Estimada assumindo um faixa de 30 m em cada lado dos rios.

Tabela 2. Dados de cobertura e uso do solo na área de estudo em subsídio para o cadastro ambiental rural (CAR) e o licenciamento ambiental rural (LAR), obtidos a partir de mosaico de imagens RapidEye 5 m dos anos de 2011 e 2012.

Classes da cobertura e uso do solo	Sigla LAR	Sigla CAR	ha	%
Floresta degradada antiga (a)	FDA		144.326	0,7
Floresta degradada recente (b)	FDR		307.761	1,4
Regeneração (c)	REG	ARL	633.929	2,9
Floresta nativa (d)	FN		13.737.354	63,1
Formações não florestais - Savana (e)	FNF		118.708	0,5
Formações não florestais - Afloramentos rochosos (f)	AFLO		183.815	0,8
Área com remanescente florestal (g=a+b+c+d+e+f)			15.125.894	69
Desmatamento (h)	AD	AD	5.915.224	27,2
Reflorestamento (i)	APF		13.531	0,1
Área urbanizada (j)	URB		25.167	0,1
Áreas de mineração (l)	AM		29.488	0,1
Área sem remanescente florestal (m=h+i+j+l)			5.983.411	27
Lagoas e espelhos d'água (n)	MA	MASSA D'ÁGUA	665.609	3,1
Não Identificada (o)	NI	NI	1.018	0
Total (p=g+m+n+o)			21.775.932	100

Tabela 3. Comparação dos resultados obtidos para área de proteção permanente desmatada (APPD) a partir do mapa de cobertura e uso do solo 1:25.000 e da base cartográfica oficial (DSG 1:100.000) utilizada pelo SIMLAM-Pará.

Municípios	BDG (1:25.000)	Base oficial (1:100.000)
APPD (ha)		
Bannach	28.817	14.643
Ourilândia do Norte	18.975	9.445
Tucumã	19.413	10.076
Total	67.206	34.165

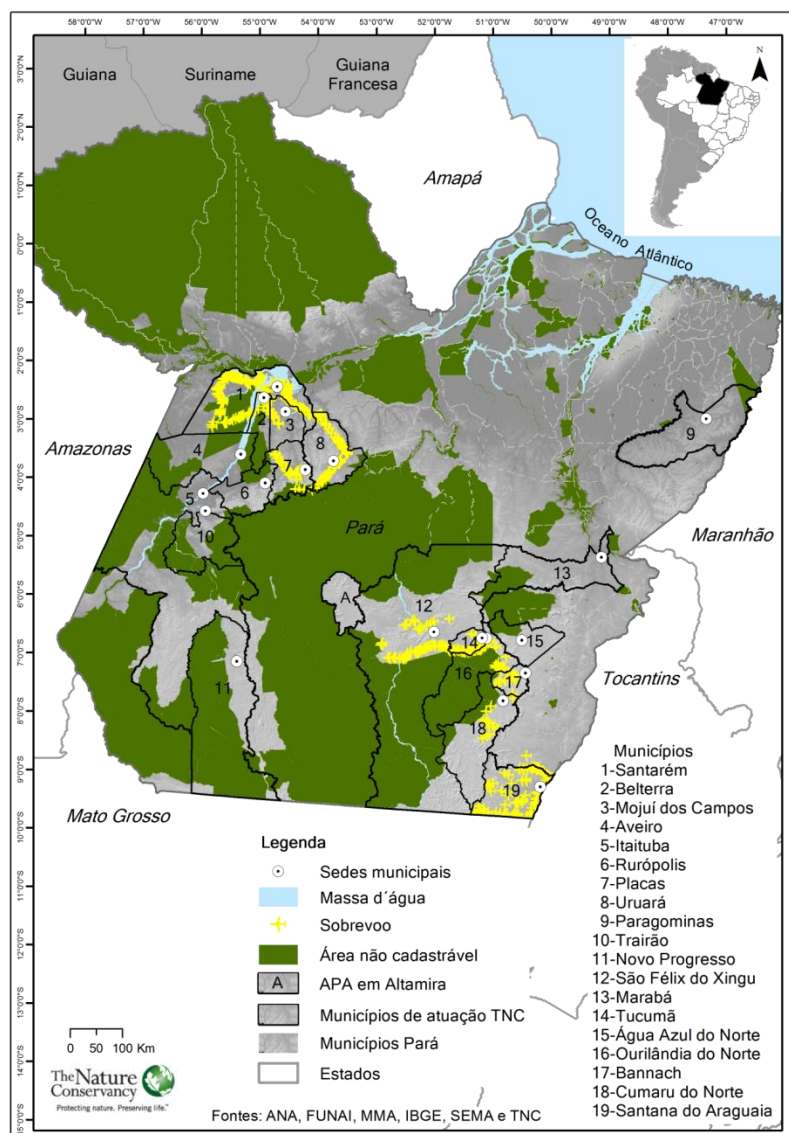


Figura 1. Localização geográfica da área de abrangência do projeto, no estado do Pará.

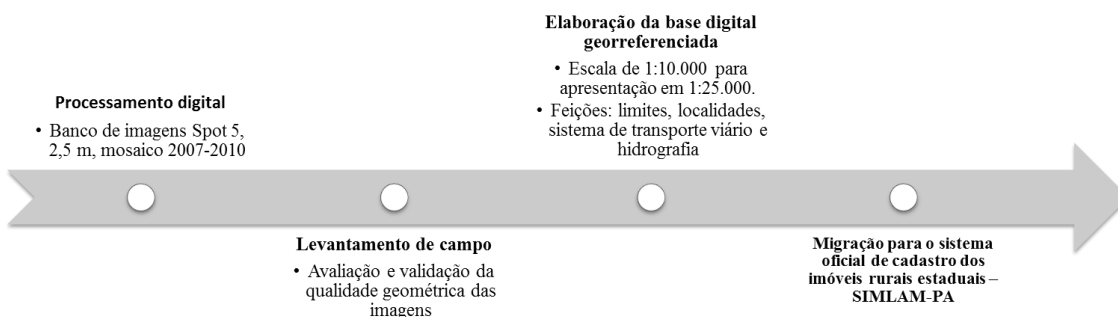


Figura 2. Etapas de elaboração das bases digitais georreferenciadas.

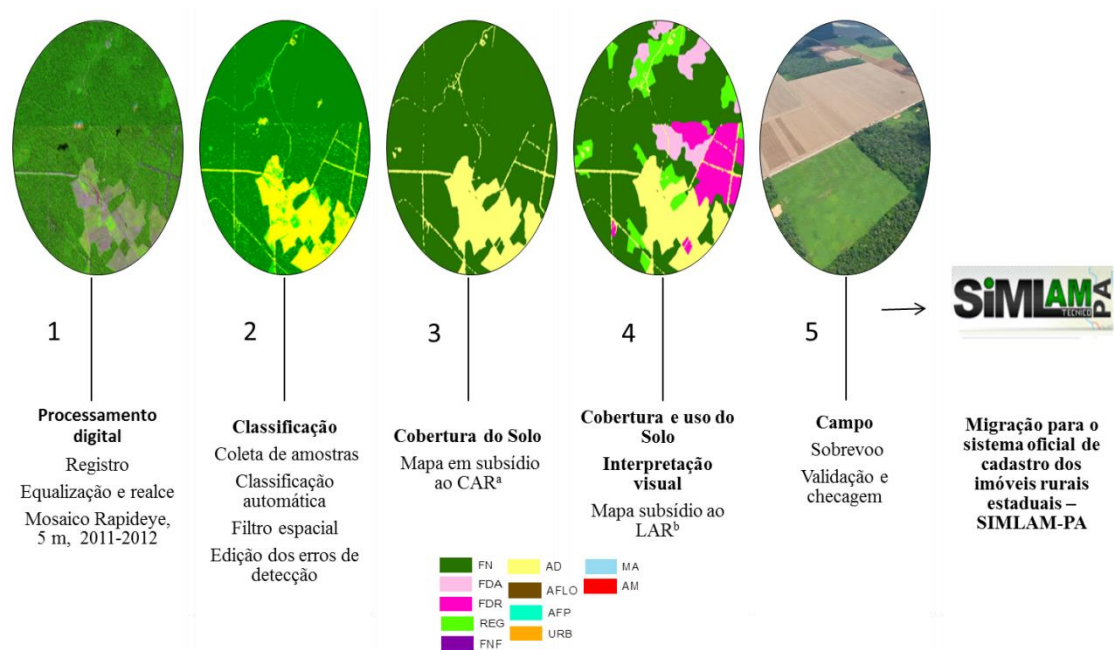


Figura 3. Etapas de elaboração dos mapas de cobertura e uso do solo.

^aCAR: Cadastro Ambiental Rural; ^bLAR: Licenciamento Ambiental Rural; FN: floresta nativa; FDA:

floresta degradada antiga; FDR: floresta degradada recente; REG: regeneração; FNF: formação não

florestal; AD: desmatamento; AFLO: afloramento rochoso; AFP: reflorestamento; UUB: área urbanizada;

MA: massa d'água; AM: área de mineração.

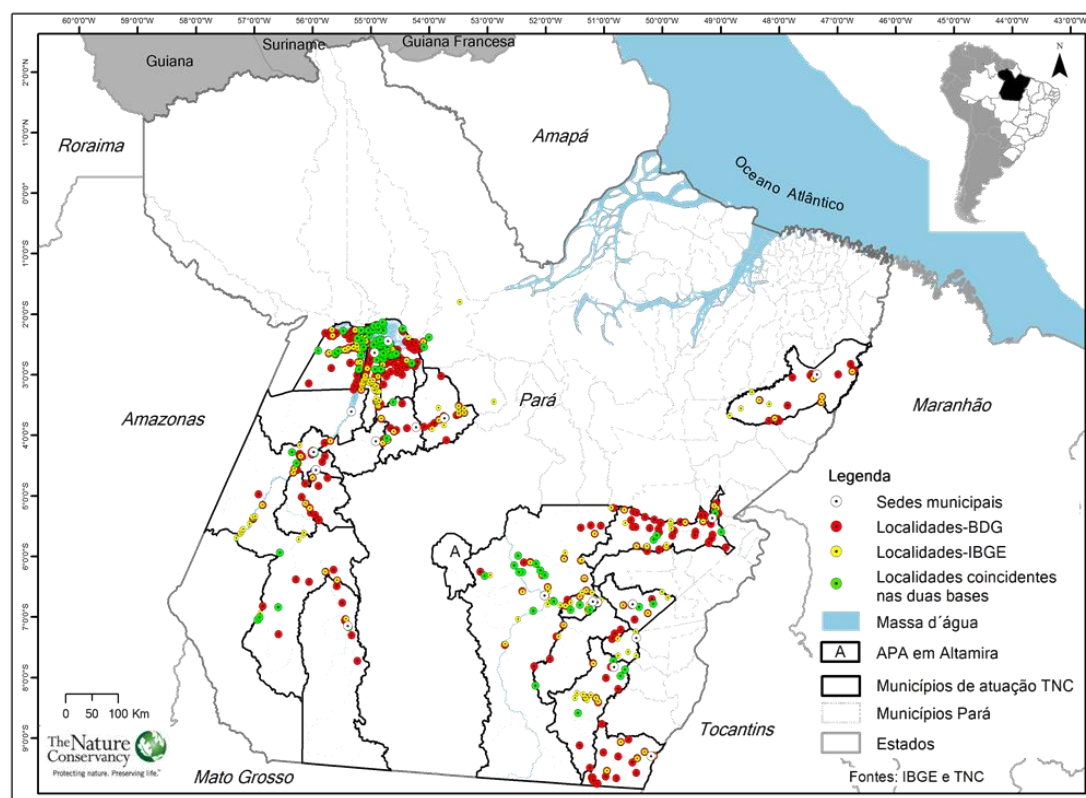


Figura 4. Espacialização dos resultados obtidos no mapeamento das localidades identificadas na base digital georreferenciada (BDG – 1:25.000) e na base oficial utilizada pela SEMA-PA (IBGE – 1:250.000). A) localidade identificada somente na base IBGE; B) localidade identificada somente na base georreferenciada; C) localidade identificada em ambas as bases, com deslocamento.

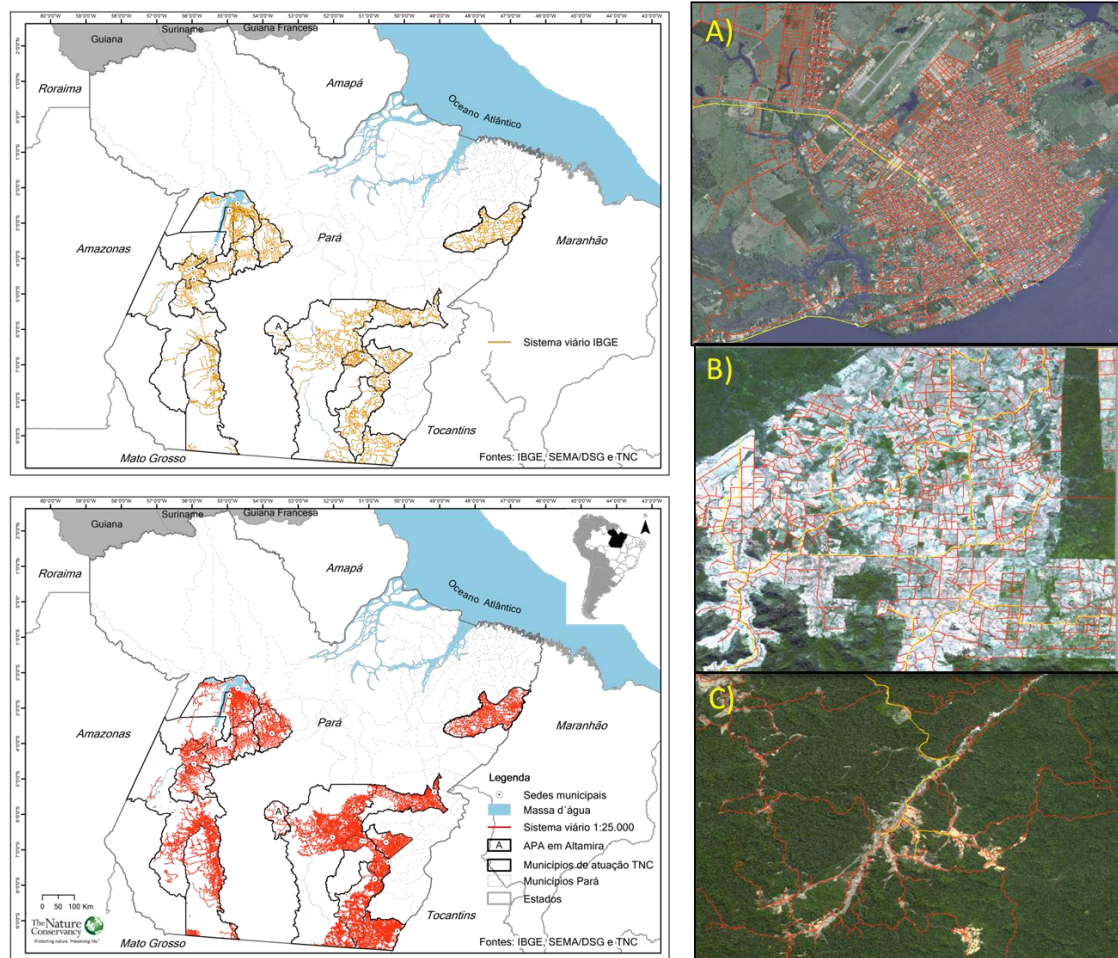


Figura 5. Espacialização dos resultados obtidos no mapeamento da malha viária na base digital georreferenciada (BDG – 1:25.000) e na base oficial utilizada pela SEMA-PA (IBGE – 1:100.000). Detalhamento em: (A) Detalhamento das vias de acesso em áreas urbanizadas, (B) ramais de acesso em áreas de uso do solo, (D) avanço das estradas em áreas com atividades de mineração.

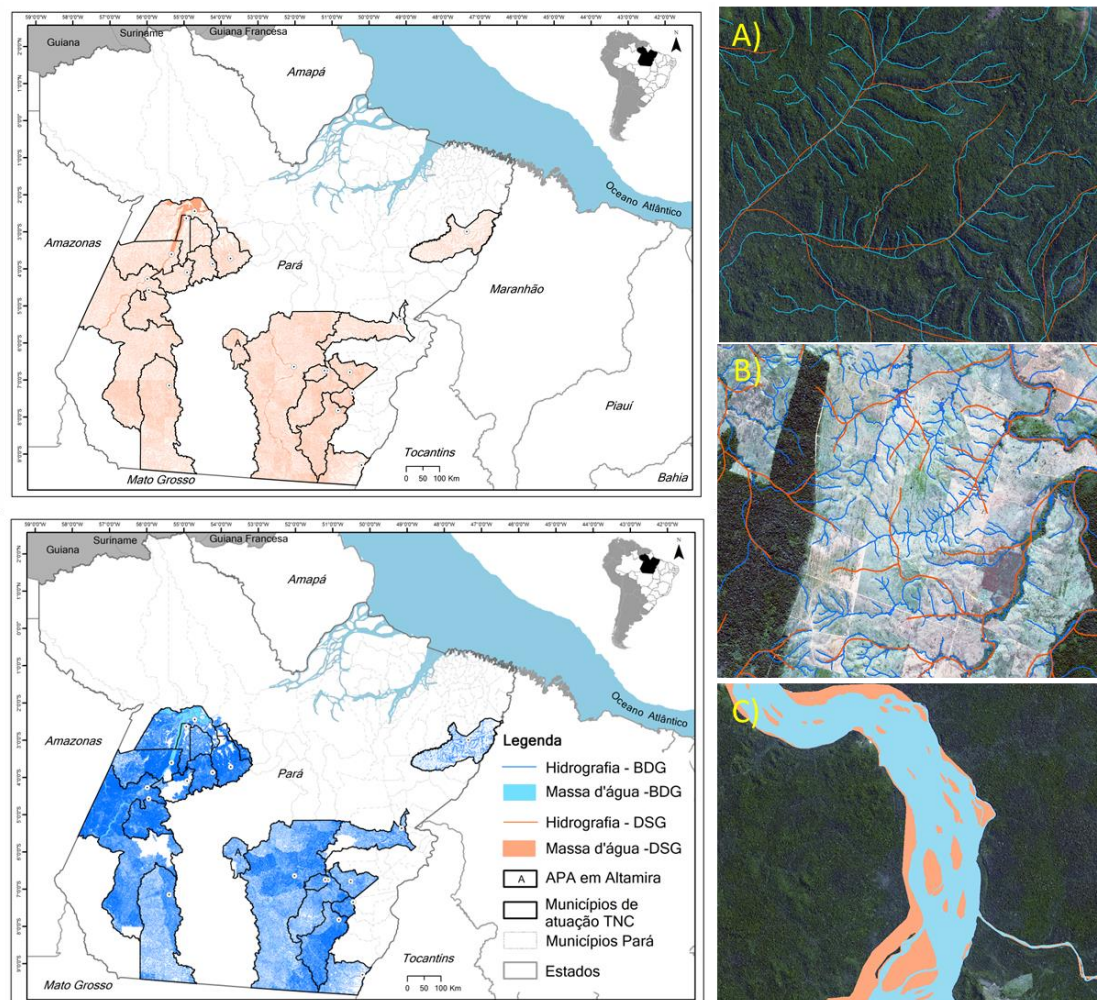


Figura 6. Espacialização dos resultados obtidos no mapeamento de hidrografia da base digital georreferenciada (BDG – 1:25.000) e na base oficial utilizada pela SEMA-PA (DSG – 1:100.000). Detalhamento em: A) áreas florestadas; B) áreas desmatadas; C) rios de margens duplas.

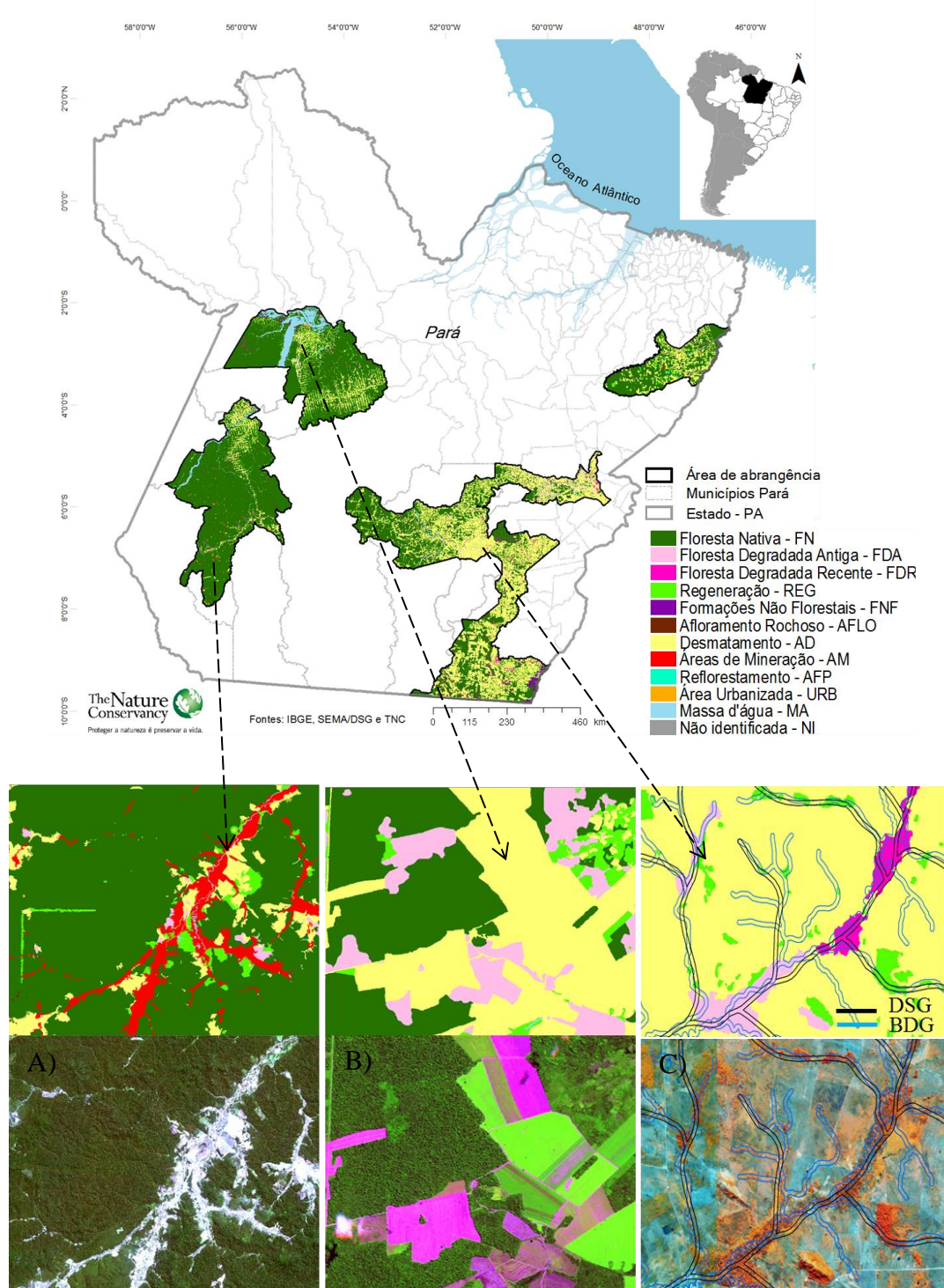


Figura 7. Resultado do mapeamento da cobertura e uso do solo em 1:25.000 em subsídio ao CAR e LAR. No detalhe: A) padrão de desmatamento em áreas de mineração; B) padrão de floresta degradada, regeneração e de área agrícolas; C) desmatamento em área de APP.

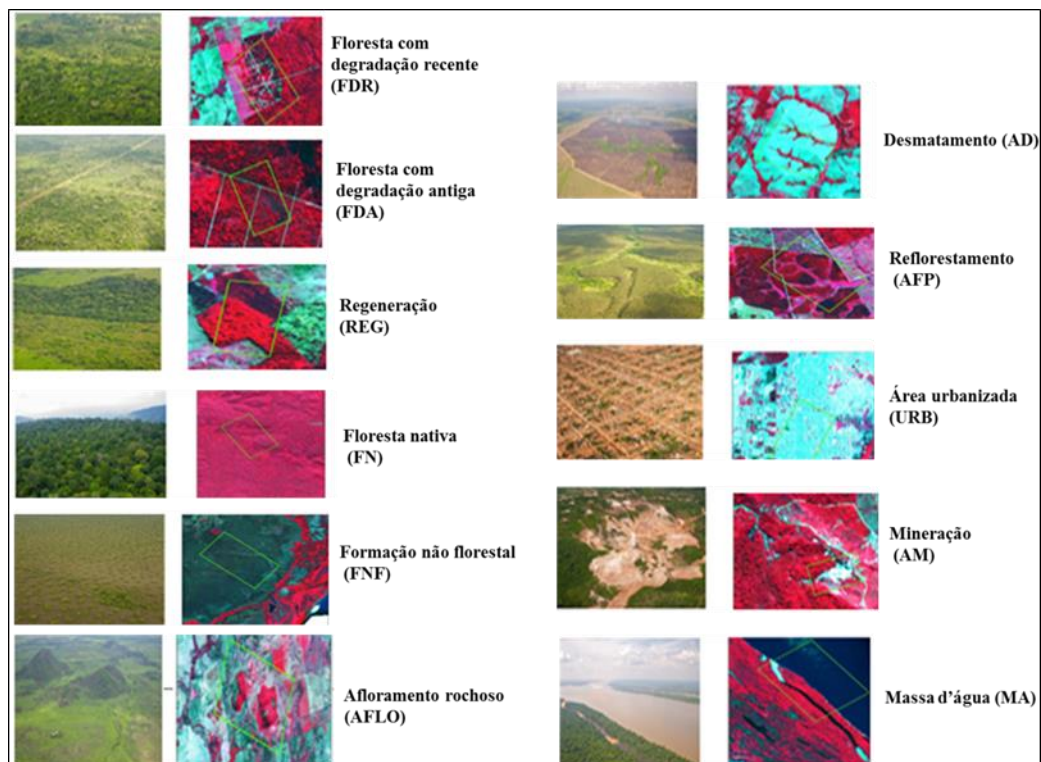


Figura 8. Acervo fotográfico das classes definidas no mapa de cobertura e uso do solo, de acordo com a real localização em campo e a imagem de satélite RapidEye utilizada no mapeamento.