

Uso de imagens de alta resolução espacial na detecção de áreas de mineração na Amazônia brasileira

Cíntia Pedrina Palheta Balieiro¹

Edenise Garcia¹

Lucyana Barros Santos¹

Giovanni Mateus Mallmann¹

¹The Nature Conservancy–TNC

66035-170 – Belem PA, Brasil

{cbalieiro, egarcia, lbarros, gmallmann}@tnc.org

Abstract. This study aimed at detecting and mapping the spatial distribution of mining activity in an area of 36 million hectares in the State of Pará, in Brazil's Amazon using RapidEye images from the period of 2011/2012 applying the method of supervised automatic classification, with spatial filters and matrix edition, on spatial scale of 1: 25,000. An area of 31.800 ha occupied by mining activities was detected. Although this number represented less than 0,1% of the total area of study, an extreme scenario of forest degradation and deforestation at the riversides was found, causing erosion, pollution and silting in the rivers directly affected and their tributaries, and locally facilitating the creation of new frontiers of deforestation. Most of the mapped area (77%) was located in the West region of Pará State, within the Tapajós River Basin. The study also indicated a variation on the environmental signature resulted by the exploitation of different minerals. It was the first study with high geometric accuracy for detection and mapping of mining activities in the Amazon at large-scale. The results showed that remote sensing constitutes an effective tool in mapping these activities and can be used by the government in the process of licensing and monitoring the exploitation of mineral resources in the Amazon region.

Palavras-chave: remote sensing, mining, Amazon, sensoriamento remoto, mineração, Amazônia.

1. Introdução

No Brasil, o domínio dos bens minerais pertence à união, cabendo ao proprietário do solo um royalty equivalente a 50% dos recursos financeiros provenientes da exploração dos recursos minerais. Desde a década de 80, as atividades de exploração mineral no Brasil são regulamentadas por três níveis de legislação: federal, estadual e municipal, e os projetos de pesquisa mineral implantados devem atender a todos esses níveis da legislação. Segundo a resolução do Conama 01, de 23.01.86, os projetos devem seguir a obrigatoriedade de elaboração e aprovação do Estudo de Impacto Ambiental e seu respectivo relatório – o EIA/Rima (Silva 2012).

No Pará, a atividade de mineração ocorre por meio de inúmeros empreendimentos de pequena escala que exploram sobretudo ouro, pedras preciosas e minerais de uso para construção civil (Silva 2012). Dentre essas atividades, a extração de ouro é historicamente a que mais atraiu exploradores de todas as partes, principalmente do Nordeste do Brasil. A região do rio Tapajós, no oeste do estado, caracterizou-se como a maior área de mineração de ouro da América Latina nas décadas de 1980 e 1990 (CPRM 1996). Estima-se que a extração de ouro na região do Tapajós no período de 1960-2010 alcançou 209 toneladas e, entre 2001 e 2010, 33 toneladas (Silva 2012). A extração de ouro, tradicionalmente garimpeira (Kligermam et al. 2001), acarretou, e continua acarretando, sérios problemas ambientais, principalmente às margens dos rios (áreas de preservação permanente), como erosão e desmatamento, assim como assoreamento de corpos d'água e contaminação por mercúrio (DNPM 1992). O cenário ambiental desta atividade aponta um complexo com lagoas, areia grossa, cascalhos, argilas, vegetação de gramíneas e arbustos (Bezerra et al. 1996). Em geral, nos arredores das áreas de garimpo ocorre uma concentração populacional desorganizada, sem qualquer tipo de planejamento urbano e em condições insalubres, as chamadas "currutelas" (i.e., povoados onde concentram os garimpeiros), acompanhadas por vias de

acesso (estradas e pistas de pouso) (Rodrigues et al. 1994). Tudo isso contribui para uma intensa degradação ambiental e expansão descontrolada do desmatamento (Balieiro e Souza Jr. 2007).

No entanto, os impactos sociais e ambientais causados pela atividade mineradora dificilmente são monitorados. Neste contexto, a The Nature Conservancy (TNC) atualmente está trabalhando em parceria com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará (SEMA-PA) no refinamento e atualização da base cartográfica disponível no Sistema Integrado de Monitoramento e Licenciamento Ambiental (SIMLAM), a partir de uma base digital georreferenciada com imagens de alta resolução espacial de 21 municípios localizados no estado do Pará. Esse trabalho inclui a detecção automática e visual com classificação de imagem de satélite RapidEye para a caracterização de áreas de mineração em escala de 1:25 000. Nenhum estudo de mapeamento de mineração com imagens de alta resolução espacial havia sido previamente elaborado para extensas áreas na Amazônia. Neste sentido, o método proposto irá não apenas detectar as áreas de mineração como também permitirá a identificação do status das mesmas e sua adequação ao regime jurídico aos quais estão submetidas, fortalecendo as ações de monitoramento e fiscalização na região de estudo.

2. Área de estudo

O escopo deste projeto foi a elaboração de um mapa de mineração na escala 1:25.000, abrangendo uma área de 36 milhões de hectares, compreendendo 21 municípios no estado do Pará (Figura 1). A cobertura vegetal original dessa área compõe-se de floresta aberta e densa equatorial, com trechos isolados de campos cerrados que apresentam a gama completa do tipo savana, incluindo o cerradão, o campo cerrado e os parques – campos com arbustos isolados (Veloso et al. 1991). Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, a região amazônica apresenta 59 minas de pequeno, médio e grande porte, com destaque para a exploração de: alumínio, bauxita, cobre, caulim, estanho, ferro e manganês. Deste total, 28 minas estão localizadas no estado do Pará. Segundo o CPRM (2003), na região de abrangência do estudo os ambientes geológicos se destacam pela cobertura sedimentar paleozoica (jazidas de Monte Alegre e Itaituba), rochas ígneas máficas (Tapajós-Jamanxim), rochas ígneas ultramáficas (restritas ao sul do Pará), coberturas sedimentares ou vulcanossedimentares do proterozóico (sul do Pará, rio Fresco, serra do Caximbo), coberturas vulcânicas e intrusivas associadas ao proterozoico (noroeste do estado e na mesopotâmia Xingu-Tapajós, provável ambiente de minerais auríferos), terrenos de médio e alto grau metamórfico (bordas sul do estado, Tapajós e Cumaru do Norte) e sequências vulcanossedimentares arqueanas (no sudoeste, às proximidades de Jacareacanga, na bacia do rio Tapajós).

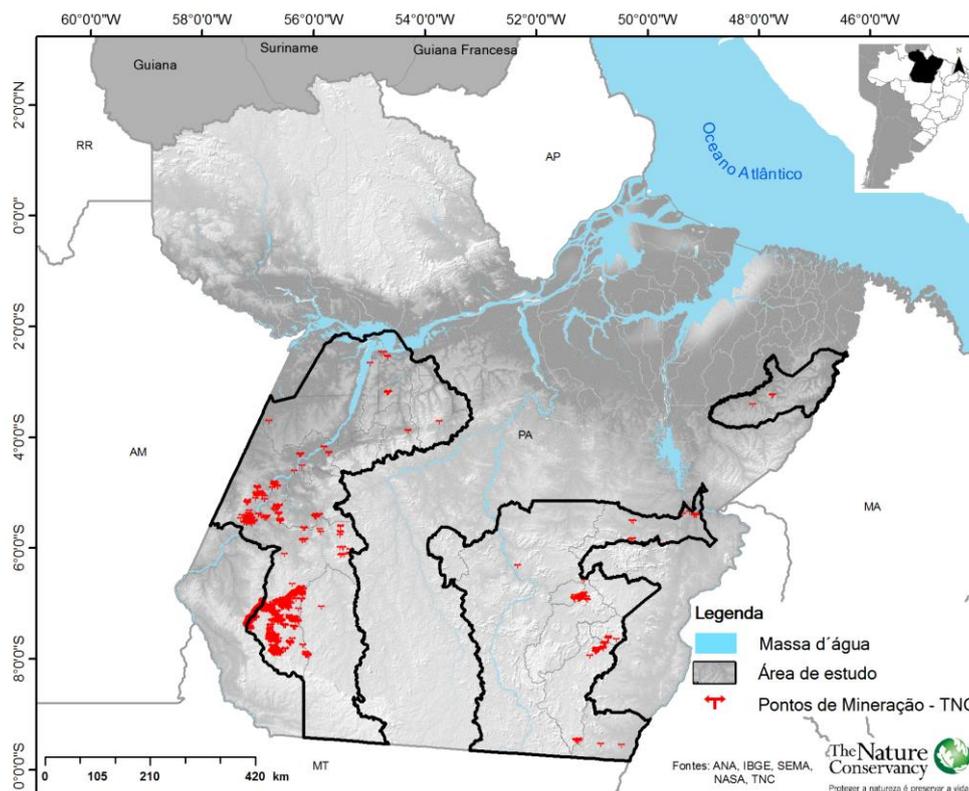


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo, no estado do Pará.

3. Metodologia de trabalho

3.1 Processamento digital de imagens

Para elaboração do mapa de mineração utilizaram-se imagens de satélite RapidEye de 2011/2012. Primeiramente, estas imagens foram registradas a partir de imagens Spot 5 para atender à qualidade geométrica na escala 1:25.000. Em seguida, aplicaram-se os procedimentos de realce e equalização, e foi realizada uma análise detalhada do histograma de frequências em todas as bandas do visível, infravermelho e red-edge, a fim de aperfeiçoar o contraste de cores entre os principais alvos terrestres.

3.2 Mapeamento

Os mapas de mineração referem-se ao produto resultante do método de classificação supervisionada semiautomática, utilizando imagens do satélite RapidEye 5 m, com unidade mínima de mapeável 0,25 ha, na escala de 1:25.000. O resultado foi combinado aos dados oficiais de mineração do DNPM, para quantificar e qualificar a situação espacial das áreas detectadas (Figura 2).

A primeira etapa de mapeamento abrangeu as classes com remanescentes de vegetação (floresta e formação não florestal) e sem remanescente (desmatamento), além de água. A elaboração foi iniciada com um processo de classificação supervisionada de máxima verossimilhança, 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. Em seguida, este produto foi refinado com aplicação de filtros espaciais, assim como com a interpretação visual das áreas não corrigidas pelo procedimento anterior.

A segunda etapa do mapeamento contemplou a interpretação para separar da classe de desmatamento as áreas com padrão de mineração (AM), foco deste estudo, que apresentaram uma resposta espectral variada e não padronizada. Para cenas com presença de nuvem que inviabilizaram a interpretação, foi considerado o histórico de imagens Spot 5 2007-2010. Assim se obteve o mapa espacial das áreas de mineração para totalidade da área (Figura 3). Foram utilizados os softwares ENVI 4.7 e ERDAS 9.3. Os dados foram definidos na projeção Conforme de Lambert e na projeção UTM, Sistema de Referência Datum SIRGAS 2000.

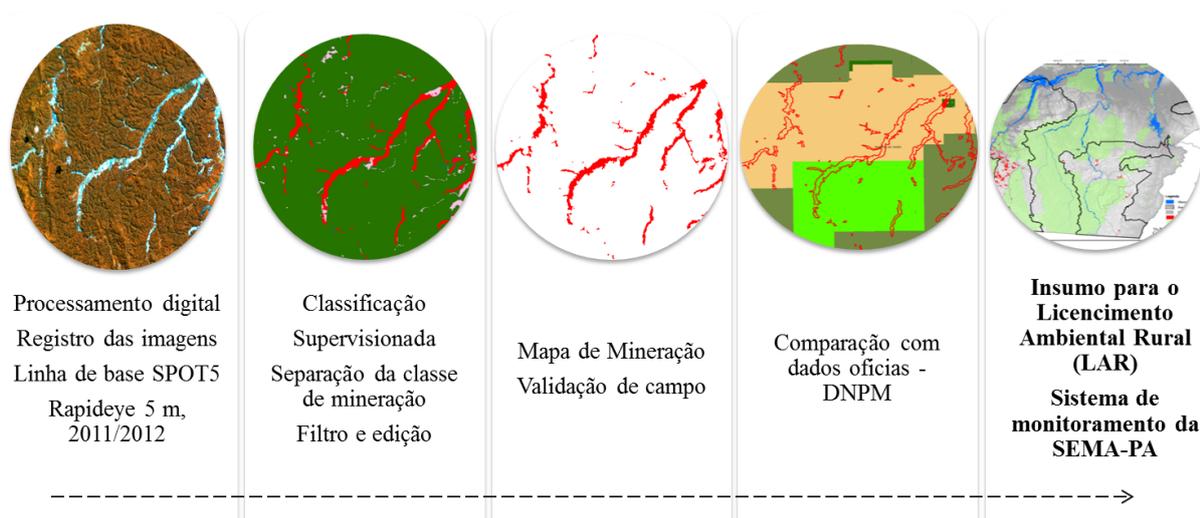


Figura 2. Etapas de elaboração do mapeamento de mineração.

3.3 Comparação com dados oficiais de mineração

A constituição brasileira determina que o Ministério de Minas e Energia, por seu departamento, DNPM, gerencie a indústria mineral. A lei vigente prevê seis tipos de regimes jurídicos de aproveitamento mineral: autorização, concessão, licenciamento, extração, permissão de lavra garimpeira e monopólio (petróleo, gás natural e substâncias minerais radioativas). Em todos esses regimes, o objetivo é a obtenção de um título que credencie seu possuidor ao aproveitamento do recurso mineral. Os mais utilizados são: concessão, licenciamento e permissão. Cada um desses regimes é dividido em diferentes fases. A concessão é dividida em pesquisa e lavra; para a pesquisa é necessário um alvará, enquanto a lavra necessita de um requerimento ou pleito e portaria de lavra, que é um amparo legal para exploração mineral. O licenciamento é o consentimento do poder público a particulares para a lavra de minerais de emprego imediato na construção civil, argila vermelha, e calcário para corretivo de solos. A permissão se aplica ao aproveitamento das substâncias minerais garimpáveis. Para todas as fases do pleito mineral, a primeira consulta deve ser feita junto ao banco de dados do DNPM antes de dar sequência à solicitação (Silva 2012).

Os shapefiles identificando as áreas de mineração segundo o regime jurídico foram disponibilizados pelo DNPM e cruzados com a base de detecção da mineração na escala de 1:25.000 a fim de quantificar e qualificar a situação espacial desta atividade na totalidade da área de abrangência.

3.4 Validação de campo

Para auxiliar e validar os trabalhos de mapeamento da cobertura e uso do solo na totalidade da área de interesse foi executado sobrevoo de checagem em 2011. Inicialmente, foram definidos roteiros e pontos para levantamento de amostras. Foram realizados quatro sobrevoos de no mínimo 10 horas cada. 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

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 Mapa de mineração

O resultado indicou 31.800 ha de áreas de mineração na área de estudo. Deste total, 24.400 ha, ou 77% da área de mineração mapeada, estão localizados na região oeste do Pará, na bacia do rio Tapajós, distribuídos entre os municípios de Santarém, Novo Progresso e principalmente Itaituba (Figura 1). Neste último município encontra-se a reserva garimpeira do Tapajós, que se sobrepõe à Área de Preservação Ambiental (APA) Tapajós.

As análises comparativas do mapeamento deste estudo com os dados oficiais do DNPM (Figura 3A) apontaram que aproximadamente 78% (24.773 ha) da área de mineração mapeada pela TNC encontra-se oficialmente em fase de autorização de pesquisa ou de requerimento. Portanto, a atividade desempenhada nessas áreas não atende ainda às exigências legais para aproveitamento mineral. Outros 4% da área mapeada não se encontram sob nenhum regime jurídico de uso dos recursos naturais. Portanto, apenas para os 18% restantes da área mapeada pela TNC os trâmites legais necessários para execução das atividades de mineração seriam atendidos.

4.3 Padrões de mineração vs. imagens de satélite

O padrão de mineração mapeado não foi uniforme, mas variou segundo o recurso mineral explorado (Figura 3B, C e D). O padrão das áreas licenciadas para extração de minerais destinados ao uso em construção civil (seixos), situadas no entorno da sede urbana do município de Santarém, é caracterizado por aglomerados de sedimentos e bancos de areia que modificam a paisagem das áreas de transição de campos naturais e floresta (Figura 3B). O padrão de áreas com concessão de lavra garimpeira (ouro) é caracterizado pela degradação florestal e desmatamento às margens dos rios. Esse padrão pode ser visualizado na Figura 3C, em área situada na APA Tapajós, em Itaituba, onde se nota a presença de áreas em diversos estágios de regeneração, bancos de areia e lagoas dispersos, causando assoreamento e degradação florestal. Como as zonas ripárias são definidas pelo Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651) como áreas de preservação permanente (APP), essas áreas adjacentes aos garimpos deverão ser restauradas. As áreas de concessão de lavra para extração de estanho e cassiterita, como a ilustrada na Figura 3D, localizada no município de São Félix do Xingu, concedida à empresa Metalmig Mineração Indústria e Comércio Ltda, apresentam um padrão de exploração em zonas acidentadas com presença de afloramentos rochosos, causando uma forte degradação florestal nas encostas dos morros e formação de lagoas dispersas. Essas áreas de extração são conectadas por estradas não oficiais que acabam facilitando o acesso também aos recursos florestais contribuindo assim para o desmatamento.

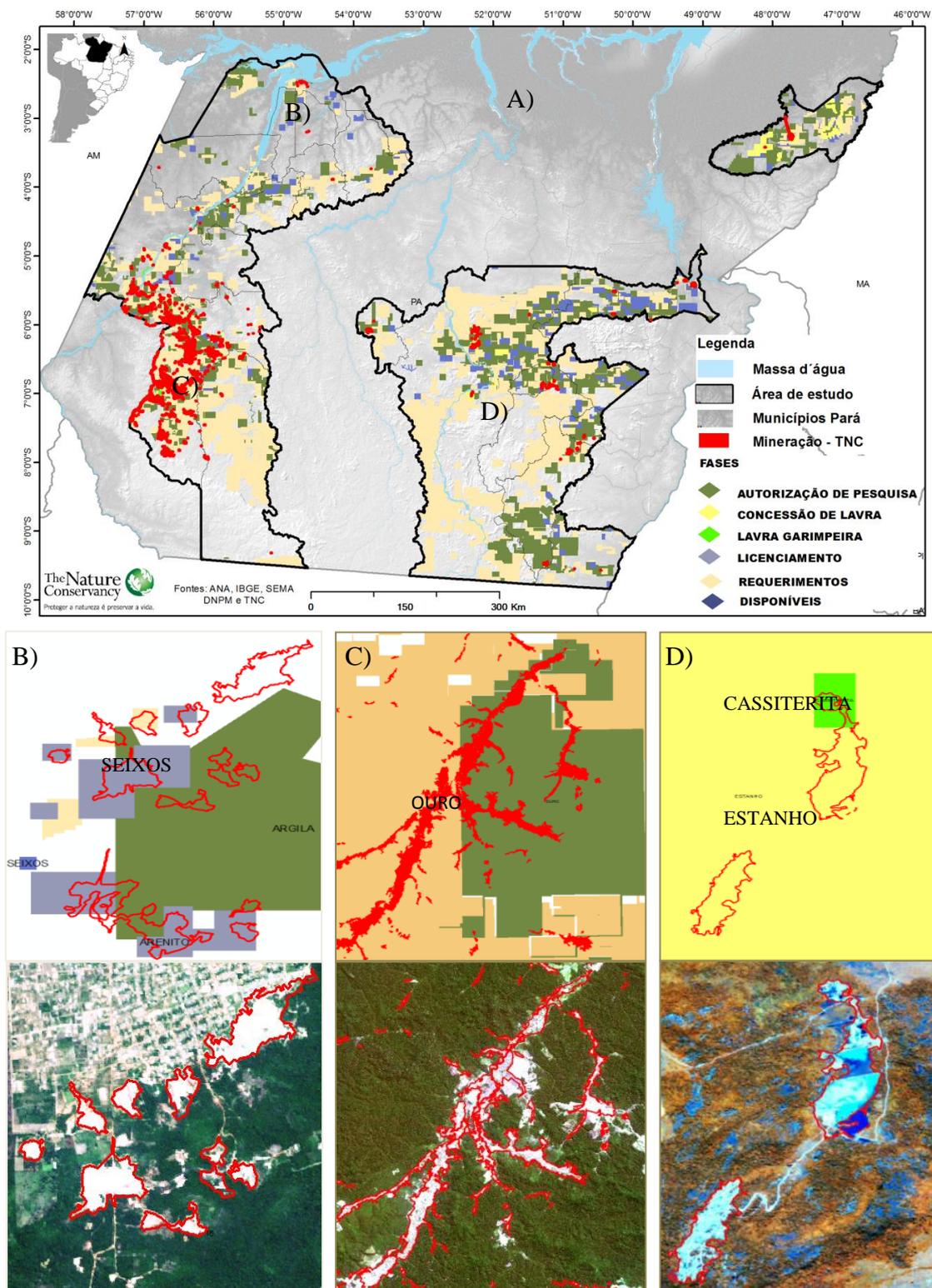


Figura 3. Espacialização da mineração nas imagens de satélite vs regimes jurídicos oficiais (A); e padrões de mineração mapeados para seixos (B), ouro (lavra garimpeira) (C) e estanho e cassiterita (D).

4.4 Validação de campo

O processo de verificação e validação em campo deste mapeamento ocorreu por meio de quatro sobrevoos (dois outros estão ainda previstos para Trairão, Itaituba, Aveiro e

Rurópolis), cobrindo até o presente principalmente dez municípios. O acervo fotográfico aéreo contemplou 468 pontos de campo e suas respectivas fotografias aéreas. Da totalidade dos pontos pré-definidos para checagem da classe mineração, 40 % dos pontos foram validados em campo. A Figura 4 ilustra um desses pontos.

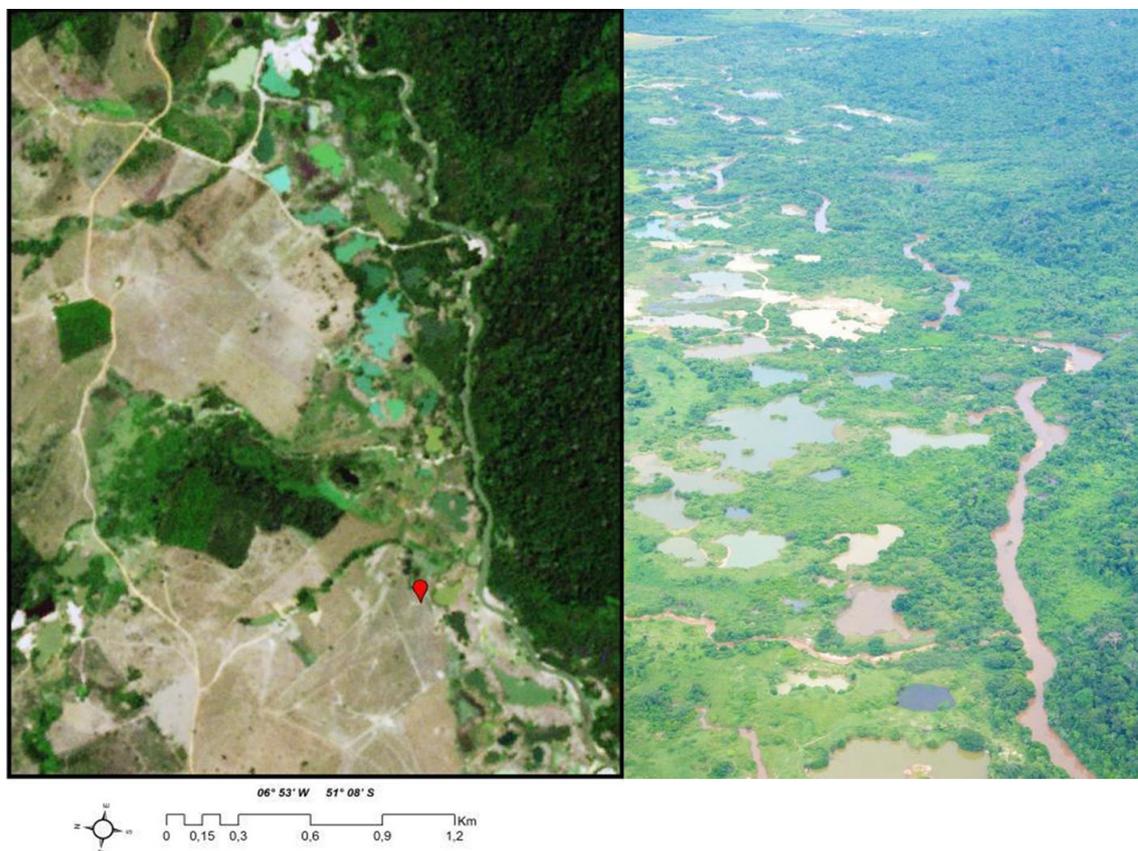


Figura 4. Imagem de satélite vs. fotografia aérea da área de mineração. Caracterização da atividade de mineração, demonstrando a presença de lagoas dispersas, bancos de areia e forte degradação sobre as APP, com sinais de desmatamento e áreas abandonadas com padrão de sucessão secundária.

5. Conclusão

Este estudo apresentou uma metodologia para mapeamento de áreas de mineração em larga escala, a partir de imagens de satélite de alta resolução e sensoriamento remoto, para 21 municípios do estado do Pará. Trata-se do primeiro estudo de identificação de áreas de mineração com alta precisão geométrica e espacial em larga escala na Amazônia.

O estudo indicou que 31.800 ha da área abrangida estão destinados à mineração. Apesar de representar menos de 0,1% da totalidade da área estudada, o cenário *in loco* está caracterizado por uma forte degradação florestal e desmatamento.

A metodologia adotada neste estudo é recomendada para auxiliar os órgãos competentes no processo de fiscalização e monitoramento dos recursos naturais minerais na Amazônia.

Agradecimentos

Agradecemos a BUNGE, MMA, FUNDO VALE, BNDES e CARGILL, financiadores deste projeto, e à SEMA-PA pela disponibilidade do banco de imagens de satélite.

Referências

- Almeida-Filho, R.; Shimabukuro, Y. E. Digital processing of a Landsat-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon, Brazilian Amazon. **Remote Sensing of Environment**, N° 79, 42– 50, 2002.
- Balheiro, C. P. P.; Souza Júnior, C. M. Caracterização da dinâmica de garimpos na região do Tapajós com imagens Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13. , 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 6615-6620. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.58.36>>. Acesso em: 13 nov. 2014.
- Balheiro, C. P. P.; Barros, L. P.; Mallmam, G. Base digital com imagens SPOT 5 e RapidEye, subsídio para o Cadastro e Licenciamento Ambiental Rural no Estado do Pará. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16. , 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 1250-1257. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00066-9 (Internet), 978-85-17-00065-2 (DVD). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7GM8N>>. Acesso em: 06 nov. 2014.
- Bezerra, O.; Veríssimo A.; UHL, C. **Impactos da Garimpagem de Ouro na Amazônia oriental**, 1996. 29 p.
- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Programa de Integração mineral no Município de Itaituba**. Estado do Pará, 1996. 229p.
- Kligerman, D.C., Rovere E.L.L.; Costa, M.A. Management Challenges on Small-Scale Gold Mining Activities in Brazil. **Environmental Research. Sci.** 87, 181-198, 2001.
- Melo, E. C.; Almeida Filho, R. Mapeamento de áreas degradadas pela atividade de garimpos na região da Serra Tepequém (RR), através de imagens Landsat TM. In: **Proceedings of the 8th Brazilian remote sensing symposium**. National Institute for Space Research (in CD-ROM), 1996.
- Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Estudo dos Impactos Ambientais na Reserva garimpeira do Tapajós-Estado do Pará. Plano Integrado de proteção ambiental**. Brasília, 1992. 228p.
- Rodrigues, R.M.; Mascarenhas, A.F.S.; Ichihara, A.H.; Souza, T.M.C.; Bidone, E.D.; Bellia, V.; Hacon, S.; Da Silva, A.R.B.; Braga, J.B.P.; Filho, B.P.; Filho, B.S. **Estudo dos Impactos Ambientais Decorrentes do Extrativismo Mineral e Poluição Mercurial no Tapajós-pré-diagnóstico**. CETEM/CNPq, Rio de Janeiro, 1994. 220 p.
- Souza Jr., C. M., Roberts, D. A., Cochrane, M. A. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. **International Journal of Remote Sensing**, v. 98, p. 329-343, 2005.
- Silva, A. R. **A indústria mineral no Pará**. Belém -Pará, 2012. 179p.
- The Nature Conservancy. **Mapeamento da Cobertura e uso do solo com imagens Rapideye (5m – 2010-2011), dos municípios de São Félix do Xingu, Bannach, Cumaru do Norte, Ourilândia do Norte e Tucumã, estado do Pará, para o cadastramento ambiental rural**. Belém - Pará, 2013. 63p.
- Veloso, H. P.; Rangel Filho, A. L. R.; Lima, J. C. A. **Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal**. Rio de Janeiro: IBGE. 1991. 123p.