

Mapeamento em larga escala de uso e cobertura da terra utilizando sensoriamento remoto multifonte

Luiz Eduardo Vicente¹
Gustavo Bayma-Silva¹
Daniel Gomes¹
Daniel de Castro Victoria¹
Édson Luís Bolfe¹
Luciana Spinelli-Araujo¹

¹Embrapa Monitoramento por Satélite
Av. Soldado Passarinho, 303 - 13070-115- Campinas - SP, Brasil
{luiz.vicente, gustavo.bayma, daniel.gomes, daniel.victoria, edson.bolfe,
luciana.spinelli}@embrapa.br

Abstract. Land use and cover mapping over large areas can be used for crop monitoring and for planning the exploration of natural resources, being a great asset for territorial management. However the implementation of such mapping efforts results in challenges, especially considering the large extent that needs to be covered and land use and cover diversity. This work describes a framework for land use and cover mapping based on a collection of methods and data sources that can be distributed over a team of trained interpreters in order to achieve results in short time periods. We applied this framework over the state of Maranhão, Brazil, resulting in a land use and cover map with classes at 1:1,000,000 scale but features compatible with 1:250,000 scale. The entire state (331,937.450 km²) was mapped in a very short time period due to the use of enhanced image interpretation techniques, where several classes were identified at a rate of 332,000 ha / day.

Palavras-chave: remote sensing, land-use and land-cover mapping, sensoriamento remoto, mapeamento de uso e cobertura da terra.

1. Introdução

O Brasil possui 8.515.767,049 km², distribuídos em seis biomas com características e dinâmicas próprias (IBGE, 2014). Somados a esse quadro tem-se uma diversidade ímpar de usos, com destaque para safras agrícolas, no ritmo de duas ao ano em algumas culturas (Galford et al., 2008). Dessa forma tem-se no Brasil uma forte demanda de mapeamento e monitoramento em larga escala, versando sobre questões práticas, tais como: quanto e onde estão as pastagens degradadas no país, qual o tamanho da área de plantio de determinada cultura na safra corrente com vistas a previsão de produção, qual a proporção em área de mudanças de uso da terra frente as novas frentes agrícolas no país? Um dos fatores contributivos para a complexidade nas respostas de tais perguntas se encontra na dificuldade de estabelecer métodos e ferramentas ágeis e precisas o suficiente, considerando a relação de áreas a serem consideradas e o tempo necessário para os respectivos levantamentos. Tradicionalmente, ferramentas de sensoriamento remoto vem sendo utilizadas como solução de baixo custo com características sinópticas e espaciais únicas capazes de cobrir grandes áreas ao longo do tempo (Maire et al., 2014; Vicente et al., 2012). Entretanto, iniciativas de mapeamento automático ou semi-automático, mesmo que cada vez mais eficientes frente a disponibilidade de novos sensores, ainda carecem da exatidão necessária a formação de bases de dados institucionais as quais serão utilizadas no apoio a formulação de legislações, zoneamentos de risco, investimento em seguridade, etc. Nesse sentido, reitera-se o desafio de fornecer dados geoespaciais precisos em um curto período de tempo.

São diversas as iniciativas de mapeamento em larga escala de uso e cobertura no Brasil, com resultados importantes e que vem auxiliando em demandas de planejamento e gestão do território (IBAMA, 2008; INPE, 2013). Entretanto, além das limitações técnicas de resoluções espaciais, espectrais e temporais (e.g. sensores de alta resolução espacial, possuem baixa

disponibilidade de dados temporais) vinculadas a sensores atualmente aptos ao mapeamento em larga escala, como os sensores OLI (*Operational Land Image*) e MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), ou de custo em equipamentos comerciais, observa-se uma lacuna ainda pouco explorada na sistematização de métodos que considerem diferentes fontes de dados, sensores e técnicas de maneira concatenada, aplicadas à identificação qualitativa de alvos sob a superfície terrestre.

Dessa forma, esse trabalho tem como objetivo apresentar e discutir uma proposta preliminar de método de encadeamento de dados multifonte/multisensor aliado ao refinamento de técnicas de processamento semi-automáticas aplicados ao mapeamento de uso e cobertura da terra. Os procedimentos que serão detalhados à seguir surgiram de duas iniciativas/demandas da Embrapa Monitoramento por Satélite: o mapeamento multitemporal da expansão da cana-de-açúcar no estado de São Paulo (Koga-Vicente et al., 2012), e o Macro Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (MacroZee-MA) (Batistella et al., 2013). Tal objetivo enquadra-se na perspectiva e necessidade premente de monitoramento do território brasileiro como base para a gestão de demandas de expansão agrícola, preservação ambiental, utilização sustentável de recursos naturais, bem como suporte à decisão estratégica baseada em dados geospaciais. Os resultados do método em questão mostraram-se extremamente satisfatórios, aqui representado pelo mapeamento de uso e atualização das bases de cobertura da terra do estado do Maranhão realizados durante o projeto MacroZEE-MA.

2. Metodologia de trabalho

O estado do Maranhão possui área total de 331.937,450 km², localizando-se na região nordeste do Brasil, entre as coordenadas 5° 54' e 10° 29' de latitude sul e 44° 08' e 47° 51' de longitude oeste (Figura 1). Com 6 milhões de habitantes, abrangendo os biomas: Cerrado, Amazonia e Caatinga (Stella, 2011), além de ter parte do seu território na chamada Amazônia Legal, constitui-se per si no perfeito exemplo de dinâmica territorial de intensa mudança em anos recentes, principalmente no que tange a zonas de pressão antrópica e áreas de conservação, possuindo uma miscelânea de atividades extrativistas e agrícolas (Batistella et al., 2013).

O método em questão seguiu as seguintes etapas sumarizadas abaixo:

2.1. Levantamento e atualização de bases geospaciais multifonte

A investigação de bases de dados geospaciais secundárias disponíveis para o estado do Maranhão, bem como para qualquer outro local a ser mapeado é altamente recomendado, visto que, provavelmente já existam projetos de ordem local, regional ou nacional que atendam a demandas específicas de mapeamento, cabendo: (i) obtenção de permissão de uso, caso necessário; (ii) avaliação da qualidade e escala cartográfica do dado; (iii) análise da base de metadados quando disponível, ou elaboração da mesma em caso contrário, com vistas a atribuição dos devidos créditos e acessibilidade; (iv) homogeneização e integração dos dados em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) à base de dados primários do projeto de mapeamento.

Dentre as bases de dados utilizadas nesse projeto destacam-se as dos programas PROBIO (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira) (PROBIO, 2007)/PMDBBS (Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite) (IBAMA, 2013) e PRODES (Programa de Estimativa do Desflorestamento da Amazônia) (Câmara et al., 2006), as quais serviram de referência para determinação de classes de cobertura da terra, de forma que mapeou-se inicialmente as classes Antrópico e Não Antrópico sob as referidas bases. Dessa forma, a classe Não Antrópico foi atualizada para o ano de 2010 através da implementação do mosaico TM5 (conforme descrito

a seguir). A classe Antrópica foi qualificada em diferentes usos da terra, considerando as seguintes sub-classes: Agricultura, Silvicultura, Pastagem, Mineração e Área de Influência Urbana.

2.2. Obtenção e processamento de imagens orbitais em larga escala: utilização do sensor TM5 (série Landsat)

Para comparação com levantamentos anteriores e demais dados decenais de referência nacional, como o censo do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) foi utilizado o ano base de 2010 para o mapeamento. Dessa forma, para a cobertura total do estado obteve-se 22 cenas (185 x 185 km²) do satélite Landsat, sensor TM (*Thematic Mapper*) 5, nível 1T (correção geométrica aplicada e disponível gratuitamente em <http://earthexplorer.usgs.gov/>), o qual possui 30 m de resolução espacial, com 7 bandas cobrindo as regiões do visível e infravermelho de ondas curtas (0,4 – 2,5 µm) do espectro eletromagnético. Para a montagem da base de dados foram consideradas imagens em valores de radiância (*r*), nas bandas do visível e infravermelho próximo (banda 3= 0,63-0,69 µm; banda 4=0,45-0,52 µm; banda 5= 1,55-1,75µm), utilizando usualmente a composição R4/B5/G3 nas interpretações visuais. Cada uma das cenas passou por processo de segmentação (área mínima de 10 ha), no qual foram gerados polígonos representativos de conjunto de pixels considerados homogêneos relativizados por conjunto similares de atributos, principalmente por seus níveis de cinza (PRATT, 2007). Essa etapa foi implementada no software SPRING, sendo que o conjunto de polígonos gerados foi carregado em um banco de dados espacial (PostGIS) central e classificado em fase posterior utilizando o software livre Quantum GIS (QGIS). Isso possibilitou: (i) redução de custos; (ii) plena capacidade de operação multiusuário com repositório de dados vetoriais centralizado e com acesso remoto, (iii) autonomia para desenvolvimento de atualizações, (iv) e operação em interface amigável ao intérprete.

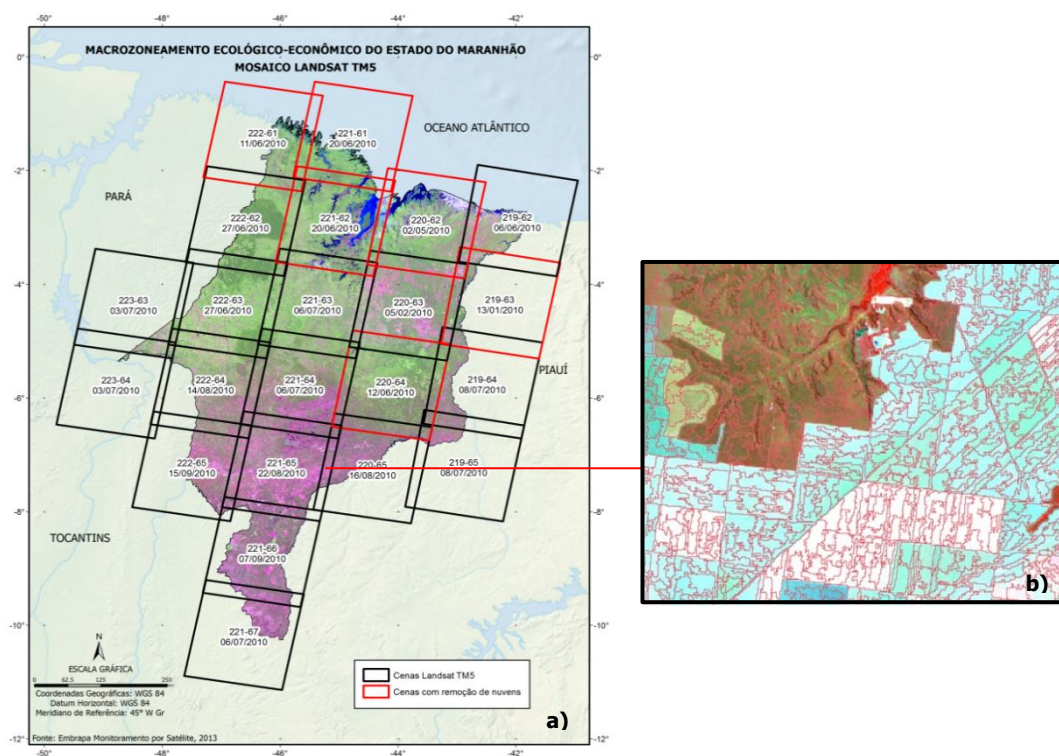


Figura 1. Mosaico Landsat TM5 na composição colorida R4/G5/B3 e articulação das órbita-ponto/data utilizadas, com destaque para cenas processadas para retirada de nuvens, (a). Exemplo de imagem segmentada (b).

2.3. Correção de imagens com presença de nuvens

Um desafio comum no mapeamento em larga escala da superfície terrestre utilizando sensores óticos trata-se da influência de nuvens, impedindo ou reduzindo drasticamente a possibilidade de classificação de alvos considerando períodos curtos. Nesse caso, adaptou-se metodologia baseada na eliminação de pixels contaminados¹ com base em propriedades físicas das nuvens e de suas respectivas sombras (Zhu e Woodcock, 2012). Dessa forma foi possível obter dados TM5 para todo o estado do Maranhão com datas entre junho a setembro de 2010 (Figuras 1,2). Ao todo foram utilizadas cinco órbitas-ponto complementares, totalizando 15 novas cenas, todas de 2010. Reitera-se a importância de trabalhar-se com um período curto de tempo, considerando o mapeamento de uso de forma homogênea para uma grande área e subsequente variação temporal de alvos, como, por exemplo, culturas agrícolas de ciclo curto.

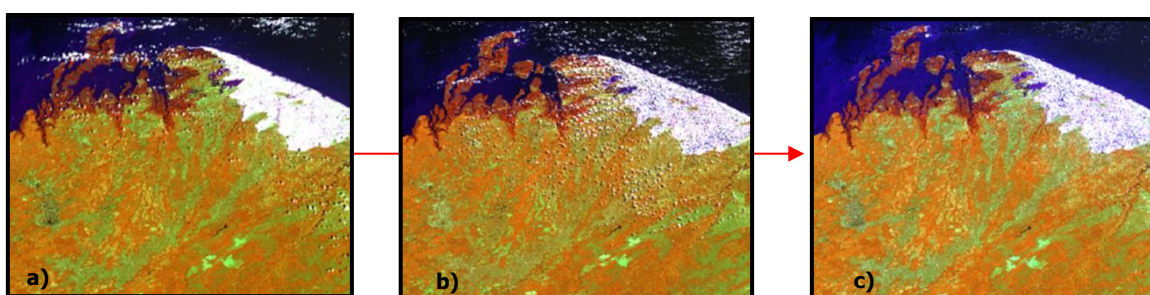


Figura 2. Exemplo de procedimento de remoção de nuvem. Imagem TM5, órbita-ponto 220-62 de 04/02/2010 com nuvem (a); imagem TM5, órbita-ponto 220-62 de 15/08/2010 com nuvem (b); imagem híbrida resultante do processo de eliminação de nuvens (c).

2.4. Levantamento e registro de pontos de controle de campo

A fim de se estabelecer pontos de controle auxiliares à classificação e validação foram realizadas diferentes incursões a campo (Figura 3-a). Entretanto, a extensa área do projeto e os curtos períodos de coleta nos levaram a adaptar uma ferramenta computacional (Victoria e Vicente, 2013) para dispositivos móveis tipo *tablet*, com sistema operacional Android, equipados com GPS (*Global Positioning System*) e baseada em software livre (Figura 2-b). O aplicativo permite a inserção de imagens de diferentes sensores e no caso foi utilizado o mosaico TM5 (Figura 2-a), além de oferecer formulário para coleta de pontos de controle, oferecendo todas as classes de uso e cobertura consideradas no projeto, bastando clicar sobre a opção desejada (Figura 2-c). É possível também o registro fotográfico, com vias a montagem de uma fototeca georeferenciada de referência.



Figura 3. Procedimento de coleta de dados de uso e cobertura da terra em campo (a) utilizando programa de computador desenvolvido para operar com imagens TM5 (tela principal de operação – ‘b’), com vias ao

¹ Maiores detalhes podem ser encontrados em Gomes et al., “Adaptação do método Fmask para detecção de nuvens em regiões tropicais”, submetido ao XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2015.

georeferenciamento e espacialização de pontos amostrais (telas de registro e consulta geoespacial - 'c') de validação.

O uso do programa reduziu consideravelmente o tempo de coleta em campo, aumentando a acurácia das amostras ao reduzir erros de notação, bem como possibilitou análises preliminares em campo.

2.5. Interpretação visual e classificação em rede multisensor

O procedimento de qualificação de classes de uso foi realizado sobre as áreas identificadas como Antrópica (desflorestadas) conforme descrito anteriormente. Essa etapa é eminentemente visual pelo fato de conferir acurácia em escalas maiores, sendo conduzida por intérpretes treinados e amparados por bases de dados referenciais como suporte a análise do TM5 (Figuras 4a e 4b/aproximação). No caso foi utilizada a base de dados de alta resolução do sensor RapidEye 2011 (resolução espacial 5m) para o Brasil (Ministério do Meio Ambiente) (Figuras 4c e 4d/aproximação) bem como séries temporais MODIS EVI-2 (INPE, 2013), de alta resolução temporal (diária). Ademais, foram desenvolvidas chaves de interpretação visual de imagens e procedimentos analíticos (Gomes et al., 2012; Bayma-Silva et al., 2013), com vias a melhor definição de parâmetros de discretização de alvos, como: tons/matizes, geometria de alvos e textura (Figuras 4e e 4f).

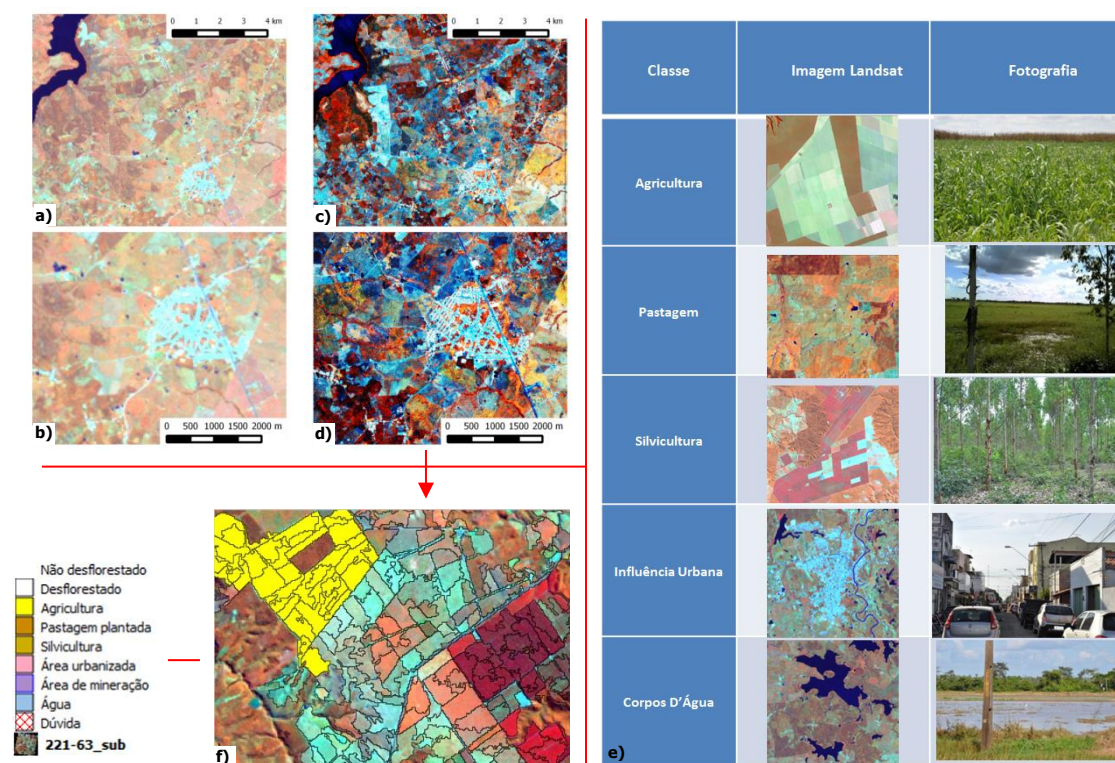


Figura 4. Exemplo de procedimento de interpretação visual de imagens. Comparação entre imagens TM5 (a,b) e Rapdeye (c, d), com diferentes níveis de aproximação. Figuras de apoio à interpretação (e) e classes de uso qualificadas sobre imagem TM5 (f).

3. Resultados e Discussão

Como primeiro resultado desse trabalho tem-se a classificação de uso e cobertura da terra do Maranhão para o ano de 2010 (Figura 5), com destaque para o cumprimento do primeiro requisito básico do processo de Macro Zoneamento Ecológico Econômico do referido estado, enquanto relevante dado de suporte para demais procedimentos de criação de zonas e macrozonas, considerando diferentes escalas, sendo condição para o Zoneamento Ecológico

Econômico (ZEE), em atendimento ao artigo 20 do decreto 4.297, de 10 de junho de 2002, com vias a "...implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas...".

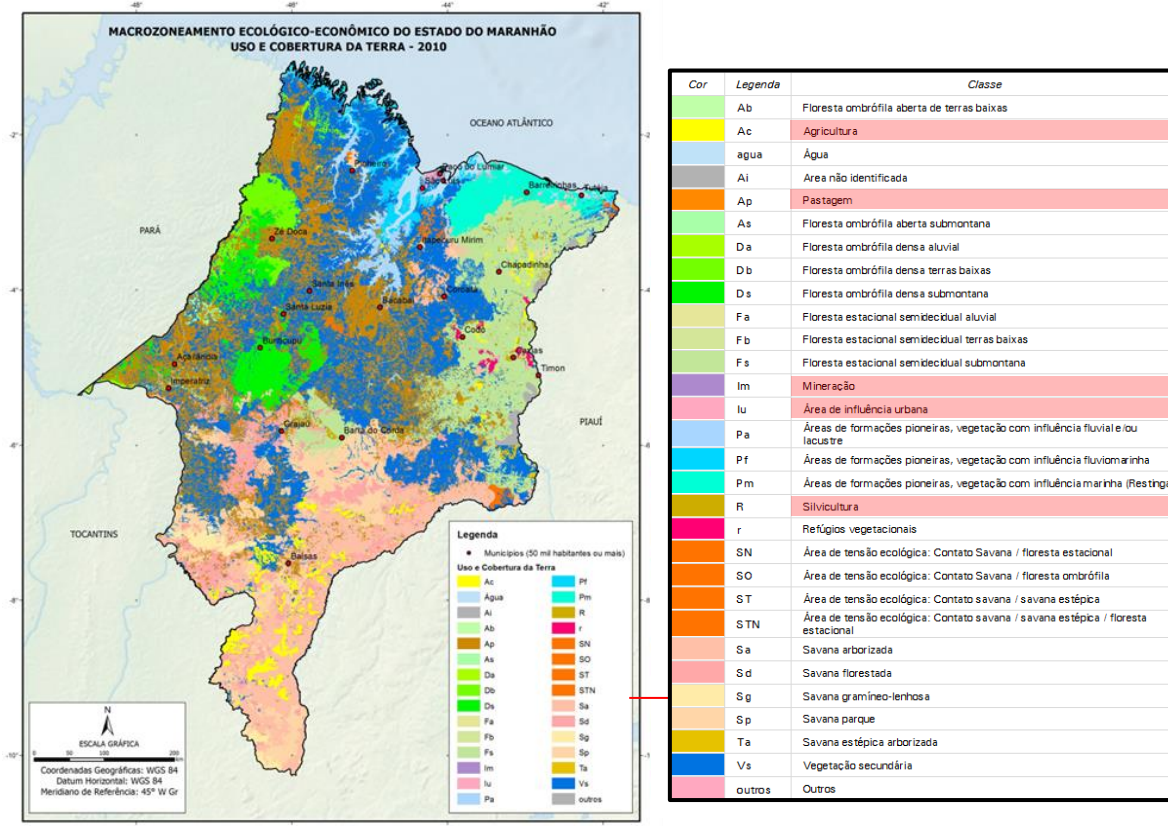


Figura 5. Classes de uso e cobertura da terra do Maranhão 2010.

Destacam-se as classes de uso da terra no que tange ao fornecimento de base de dados atualizada e inédita para o referido estado, onde se observa a predominância de áreas de Pastagem, totalizando 6.176.723,2 (ha), seguido por Agricultura com 816.468,8 (ha), os quais representam respectivamente 18,61 e 2,46 % do estado (Tabela 1).

Tabela 1. Classes de uso da terra por área absoluta (ha) e relativa (%) para o estado do Maranhão 2010.

Classe	Área (ha)	% uso	% estado
Agricultura	816.468,8	11,13	2,46
Pastagem	6.176.723,2	84,18	18,61
Mineração	370,4	0,01	0,00
Área urbana	146.789,1	2,00	0,44
Silvicultura	197.161,9	2,69	0,59
Total	7.337.513,4	100,00	22,11

Como segundo resultado destaca-se a aplicação e avaliação da metodologia descrita nesse trabalho, sendo que a fase de qualificação das classes de uso da terra (Figura 5 - legenda expandida) ocorreu no final de setembro. Conforme a tabela 1 destaca-se o período final de classificação no qual foram qualificados um total aproximado de 7.337.513,4 ha, perfazendo uma média diária de 500.000 ha, sendo que operou-se em média com 8 intérpretes, totalizando cerca de 62.500 ha por intérprete por dia. Considerando-se a média de 25 ha por polígono, tem-se um total de 20.000 polígonos por dia e 2.500 polígonos por intérprete por dia. O ritmo de trabalho pode ser verificado na Figura 6, que mostra o porcentual da área antrópica das cenas que foram qualificadas. Exemplo: no dia 6/set menos de 20% da área

antrópica de todas as cenas estava qualificada. Ao final da semana seguinte, mais de 50% das áreas antrópicas estavam qualificadas.

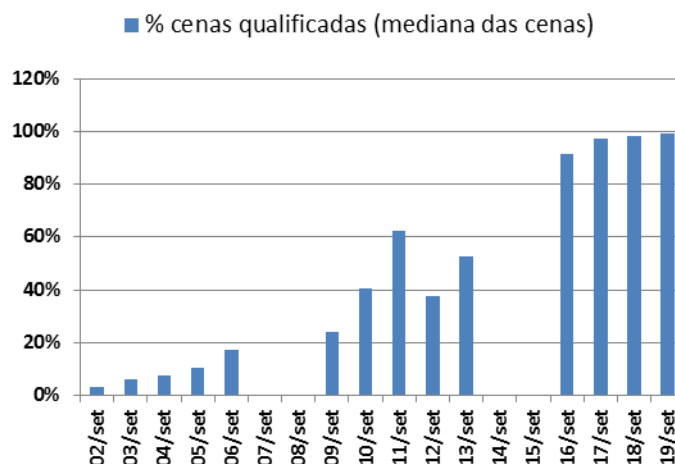


Figura 6. Evolução diária do percentual de áreas antrópicas qualificadas.

Reitera-se que mesmo sendo divulgado sob demanda da escala 1 : 1 000 000 do MacroZee do Maranhão, as bases de uso e cobertura da terra estão adequadas à escala de até 1 : 250 000, corroborando a capacidade de geração de dados em escalas maiores com redução de tempo de processamento.

4. Conclusões

Os resultados do trabalho mostraram-se de suma importância sob a ótica de geração de um conjunto de dados estratégicos para o planejamento e gestão do território, realizado por sua vez em tempo hábil e constituindo-se, portanto, num exemplo factível de mapeamento em larga escala com vias ao suprimento de informação para os tomadores de decisão, bem como para população em geral.

Os procedimentos metodológicos supradescritos geraram um conjunto de produtos e de metadados enriquecedor no que se refere a questões técnicas como: tempo de classificação, número de intérpretes, métodos de coleta, processamento de dados, etc., os quais buscam ser um fator contributivo para demais iniciativas de mesma monta, sobretudo no que se refere ao uso sistemático de dados multifonte. No sentido de otimização do processo e baseado nos resultados alcançados recomenda-se que na ausência de dados secundários iniciais utilize-se métodos semi-automáticos aliados à sensores de resolução moderada/baixa na elaboração de “máscaras” preliminares de uso e cobertura terra.

Agradecimentos

Os autores agradecem às instituições parceiras, especialmente às integrantes da Comissão Estadual do ZEE e do Comitê Técnico-Científico do ZEE do estado do Maranhão, sobretudo ao Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC) e Embrapa Cocais, pelo apoio em campo e verificação de dados, bem como a: Bruno Palermo, Caio Meneses, Flávio Ramalho, Fernando Ribeiro, Lucas Vieceli, Lucas Moraes, Marília Zanetti, Michele Lima, Tatiana Jordão e Samantha Alvarenga no auxílio na classificação do uso da terra deste trabalho.

Referências Bibliográficas

Batistella, M. Bolfe, E. L.; Vicente, L. E.; Victoria, D. C.; Araújo, L. S. **Relatório do Diagnóstico do Macrozoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Maranhão**. Campinas, SP: Embrapa, 2013. 445 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite / Relatório Técnico, v. 1 - CDD 333.70981).

Bayma-Silva, G. S. Gomes, D. S. W. L.; Victoria, D. C.; Vicente, L. E. **Proposta metodológica de mapeamento do uso e cobertura da terra de extensas áreas por meio de multissensores**. Campinas, SP: Embrapa, 2013. 445 p.: il. (Embrapa Monitoramento por Satélite / Relatório Técnico).

Câmara, G.; Valeriano, D. M.; Soares, J. V. Metodologia para o Cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal. 2006. In: INPE. **PRODES**: banco de dados. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>. Acesso em: 08 jul. 2012.

Galford, G. L.; Mustard, J. F.; Melillo, J.; Gendrin, A.; Cerri, C. C.; Cerri, C. E. P. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 576-587, 2008.

Gomes, D.; Macorano, R. P.; Silva, G. B. S.; Vicente, L. E.; Victoria, D. C. **Interpretação de alvos a partir de imagens de satélite de média resolução espacial**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012. 24 p. (Circular Técnica, 21).

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Projeto de monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite** – PMDBBS, 2008. Disponível em: <<http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/index.htm>>. Acesso em: 12 maio 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 28 out. 2014.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Séries temporais. Disponível em: <<https://www.dsr.inpe.br/laf/series/index.html>>. Acesso em: 27 out. 2013.>. Acesso em: 27 out. 2014.

Koga-Vicente, A.; [zullo junior, j.](#) . Scenarios for Sugar Cane Expansion Considering Public Policies in Sao Paulo State - Brazil. In: 16th International Consortium on Applied Bioeconomy Research Conference - 128th European Association of Agricultural Economists Seminar 'The Political Economy of the Bioeconomy: Biotechnology and Biofuel', 2012, **Annals**.Ravello - Itália. 16th ICABR Conference - 128th EAAE Seminar, 2012.

Maire, G.; Dupuy, S.; Nouvellon, Y.; Loos, R. A.; Hakamada, R. Mapping short-rotation plantations at regional scaling using MODIS time series: Case of eucalypt plantations in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 152, p. 136-149, 2014.

Pratt, W. **Digital image processing**: PIKS scientific inside. 4.ed. New York: J. Wiley, 786 p., 2007.

PROBIO. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira. **Mapas de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros**. Brasília, DF, 2007. 18 p. Consolidação das informações e elaboração do texto: Júlio Cesar Roma. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/mapas_cobertura_vegetal.pdf>. Acesso em: 12 maio 2013.

Victoria, D. de C.; Vicente, L. E. **Coleta de dados em campo com auxílio de dispositivos móveis Android**. Campinas, SP: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. 16 p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Comunicado Técnico, 34).

Stella, A. **Plano de prevenção e controle do desmatamento e queimadas do Maranhão**. 2011. 120 p. Disponível em: <<http://www.sema.ma.gov.br/pdf/Plano%20Estadual%20de%20Combate%20ao%20Desmatamento.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2013.

Vicente, L. E.; Gomes, D.; Victoria, D. C.; Garçon, E. A. M.; Bolfe, E. L.; Andrade, R. G.; Silva, G. B. S. Séries temporais de NDVI do sensor SPOT Vegetation e algoritmo SAM aplicados ao mapeamento de cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1337-1345, 2012.

Zhu, Z.; Woodcock, C. E. Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 118, p. 83-94, 2012.