

Potencial de mosaicos mensais DNB-VIIRS para detecção de atividades humanas e áreas urbanizadas na Amazônia Brasileira - um estudo no Sudoeste do Pará.

Silvana Amaral¹
Ana Paula Dal'Asta¹
Renata Maciel Ribeiro¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{silvana, anapaula, renata}@dpi.inpe.br

Abstract. This paper explores nighttime Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Day/Night Band (DNB) monthly composites product, from NOAA National Geophysical Data Center, to detect evolution of human activities and urbanized areas in Brazilian Amazon. DNBs from 2014 (Aug), 2015 (Sep) and 2016 (Aug) were first clipped to Brazilian limits, in order to encompass the study area: 16 municipalities in the southwestern of Para state. After a histogram matching between DNBs, the images were segmented to discriminate nighttime lights from the background. In a GIS, vectorization over the segmented images generated the polygons of nighttime lights with topology for each DNB. These polygons were then considered stable lights if they: a) presented any intersection with Urban Area class mapped for TerraClass 2014 Project; or b) presented any intersection with one of the others DNBs nighttime polygons. The results showed an unexpected general downward trend in area and number of DNB stable nighttime lights polygons for the Para state. However, it was possible to verify local differences for the study area: municipalities where the urbanized area increased, and municipalities that were affected by construction of Belo Monte Hydroelectric power plant. The best analysis was performed considering specific nighttime lights polygons, detecting of small villages, communities and mining, and the false-positive detections related to savanna and forest in Novo Progresso region. DNB VIIRS presented a high potential to monitor human activities and urbanization processes, although it requires specific and automated methods for image inter-calibration and stable lights extraction.

Palavras-chave: nighttime lights, Brazilian Amazon, urbanization, DNB-NPP/VIIRS, luzes noturnas, urbanização, Amazônia.

1. Introdução

Dados resultantes de imagens noturnas de sensoriamento remoto têm sido propostos como indicadores de população, consumo de energia, atividades socioeconômicas, bem como de processos de urbanização em escalas regionais e globais.

Os primeiros trabalhos relacionando o uso de luzes noturnas para estudo de processos de urbanização foram realizados com os dados do sensor Operational Linescan System (OLS), a bordo do satélite Defense Meteorological Satellite Program (DMSP), com resolução espacial de aproximadamente 1 km, e em países de intensa dinâmicas de população e crescimento urbano. Na Índia por exemplo, Joshi et al. (2011) estudaram a evolução das áreas urbanas de 1992 a 2009, e Pandey et al. (2013), utilizando dados OLS associados a dados SPOT-Vegetation, analisaram a evolução urbana de 1998 a 2008, indicando esta abordagem para estudos de padrões de crescimento urbano. Dados OLS também foram utilizados para estudar a expansão urbana da China de 1992 a 2008 (Liu et al., 2012) e para explorar a correlação com variáveis da urbanização (população, produto interno bruto, área construída e consumo de energia elétrica) entre 1994 a 2009 (Ma et al., 2012). No Brasil, alguns estudos buscaram relacionar luzes noturnas OLS com população urbana e consumo de energia (Amaral et al., 2005; Amaral et al, 2006), e para estimativas populacionais de 2000 a 2010 (Dória, 2015) na região Amazônica.

Com o lançamento do satélite Suomi National Polar-orbiting Partnership (SNPP) em 2011, tem-se a nova geração de dados de luzes noturnas com o sensor Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS). Este radiômetro de varredura mecânica adquire imagens diurnas e noturnas, diariamente para 3000 km da superfície terrestre, e dentre suas 22 bandas

espectrais, há a banda Day/Night Band (DNB) (CAO et al., 2014). Com o intervalo espectral de 0,5 a 0,9 μm , a DNB possui um arranjo de quatro sensores CCD (Charged-Coupled Device) dedicados, gerando imagens com resolução espacial de 742 m e quantização de 14 bits (CAO et al., 2013). Imagens VIIRS DNB têm sido utilizadas para estimativas populacionais e de urbanização. Liu et al (2015), por exemplo, apresentam os resultados do uso integrado de imagens NPP/VIIRS com dados de cobertura da terra para estimar densidade de população na China. Recentemente, Sharma et al (2016) propõem o uso combinado de dados MODIS e VIIRS para mapeamento global de áreas construídas. No Brasil, Dória (2015) estudando as estimativas de população a partir do sensor VIIRS para alguns municípios no oeste do Pará, obteve erros significativamente menores em relação às estimativas do OLS, o que foi atribuído à melhor resolução espacial e radiométrica, e à calibração do sensor a bordo da plataforma. Luzes noturnas identificadas no mosaico VIIRS de 2012 foram também avaliadas com informações de campo no Pará (Amaral et al., 2015), e verificou-se que estas imagens estão relacionadas não apenas às áreas povoadas, mas também às atividades econômicas, como serrarias e olarias, corroborando a utilidade para monitorar atividades humanas e alertando para o uso criterioso das informações das luzes noturnas.

Paralelamente à evolução dos dados e aplicações de sensoriamento remoto de luzes noturnas, a Amazônia Brasileira tem experimentado intenso processo de urbanização e ocupação de seu território. Enfatizam este dinamismo, tanto a elevação recente da taxa de desmatamento para Amazônia Legal, de 5.012 km^2 em 2014, para 6.207 km^2 em 2015 (PRODES, 2016), quanto as taxas de crescimento anual da população de 2,09% e grau de urbanização de 73,13% para a região Norte em 2010 (IBGE, 2010).

Diante deste contexto, este trabalho tem o objetivo de explorar as imagens mosaico mensais de luzes noturnas NPP/VIIRS para a detecção e análise recente da evolução temporal de atividades humanas e áreas urbanizadas na Amazônia, mais especificamente na região sudoeste do estado do Pará.

2. Metodologia de Trabalho

Área de Estudo

A escolha da região sudoeste paraense (Figura 1) como área de estudo é justificada pelo fato desta ter sido visitada anualmente em trabalhos de campo desde 2009, e portanto, tem-se algum conhecimento dos diferentes processos de ocupação em curso. Esta região compreende os seguintes municípios ao longo da BR-163, e da BR-230: Santarém, Aveiro, Belterra, Rurópolis, Itaituba, Novo Progresso, Trairão, Placas, Uruará, Medicilândia, Brasil Novo, Altamira e Vitória do Xingu.

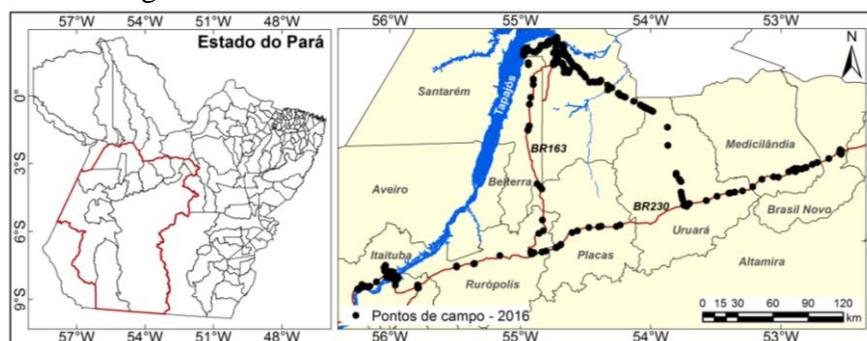


Figura 1 - Localização da área de estudo e pontos visitados em campo.

2.1 Base de Dados

As imagens da **banda DNB** (Day/Night Band) do sensor Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) utilizadas neste trabalho são aquelas produzidas pelo grupo de observação da terra - Earth Observations Group (EOG), da National Oceanic and

Atmospheric Administration (NOAA) National Geophysical Data Center, disponíveis para download na página do grupo¹, considerada a primeira versão de um produto de radiância média para um período mensal.

Nesta versão, as composições mensais não são filtradas para remover luzes efêmeras como auroras, fogos/incêndios florestais, navios, entre outras, uma vez que o procedimento de separação das luzes de fundo ainda não foi definido. As imagens médias mensais são fornecidas em seis recortes (*tiles*) cobrindo toda a superfície terrestre, em grades de resolução de 15 segundos de arco (aproximadamente 500 m), e formato geotif. Cada recorte é um conjunto de duas imagens: a primeira com os valores médios de radiância da banda DNB, e a segunda contém o número de observações livres de nuvens utilizados para o cálculo da média. No caso deste trabalho, optou-se pelo primeiro produto (*vcmcfg*) dos dois disponíveis, que exclui os dados impactados pelo efeito de luz difusa, e apresenta os valores de radiância em unidades de nanoWatts/cm²/sr, multiplicados por 1E9 para evitar números muito diminutos das unidades originais.

Foram selecionadas imagens médias mensais para o mês de agosto (2014 e 2016), e setembro (2015), considerando-se que agosto é o mês de referência para as estimativas de desmatamento do Projeto PRODES (INPE, 2015), época em que a cobertura de nuvens é menor na região amazônica. As imagens médias de 2013 e 2012 diferem das imagens de 2014, 2015 e 2016, e por ainda não terem o mesmo processamento das mais recentes, serão ainda reprocessadas pelos fornecedores, e assim não foram consideradas neste trabalho.

Adicionalmente aos dados provenientes de imagens de satélite, foram utilizadas informações pontuais, obtidas a partir de **observação de campo**, durante a expedição realizada de 19/09 a 2/10, de 2016, na região de estudo (Figura 1). Coordenadas de GPS, e documentação fotográfica foram obtidas para diferentes classes de uso e cobertura do solo, com ênfase particular nos assentamentos populacionais que apresentavam infraestrutura urbana como arruamento e iluminação pública.

O mapeamento de uso e cobertura da terra realizado pelo Projeto **TerraClass** para a Amazônia (Almeida et al., 2016), referente a 2014 foi utilizado para eliminação de luzes efêmeras e discussão dos resultados. Das 12 categorias mapeadas a partir do satélite Landsat 8 (sensor OLI), na escala cartográfica de 1:100.000, duas classes são de particular interesse, conforme descritas em Coutinho et al. (2013):

- a) **Área Urbana** - manchas urbanas decorrentes da concentração populacional formadora de lugarejos, vilas ou cidades que apresentam infraestrutura diferenciada da área rural apresentando adensamento de arruamentos, casas, prédios e outros equipamentos públicos;
- b) **Mosaico de ocupações** - áreas representadas por uma associação de diversas modalidades de uso da terra e que devido à resolução espacial das imagens de satélite não é possível uma discriminação entre seus componentes. Relacionada normalmente às áreas de assentamento da reforma agrária, esta classe ocorre, ainda, em antigas regiões de ocupação espontânea, caracterizada pelo predomínio do modelo produtivo estabelecido pela agricultura familiar. Nesta classe, a agricultura familiar é realizada de forma conjugada ao subsistema de pastagens para criação tradicional de gado.

2.1 Processamento de Imagens DNB-VIIRS e integração de dados

As imagens mosaico mensais DNB do *tile* 5 foram inicialmente recortadas para os limites do território brasileiro. De modo a possibilitar a comparabilidade multitemporal das imagens, adotou-se a técnica de equalização de histogramas ou *histogram matching* (Richards, 1986)

¹ http://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_monthly.html

como procedimento de inter-calibração das imagens. As imagens de 2013, 2014 e 2015 foram assim equalizadas e submetidas a segmentação, para identificar as manchas de luzes noturnas, discernindo-as do background, de modo a se obter duas classes: luzes e não-luzes. O recorte, a segmentação e a classificação das imagens foram realizados no sistema ENVI-4.8.

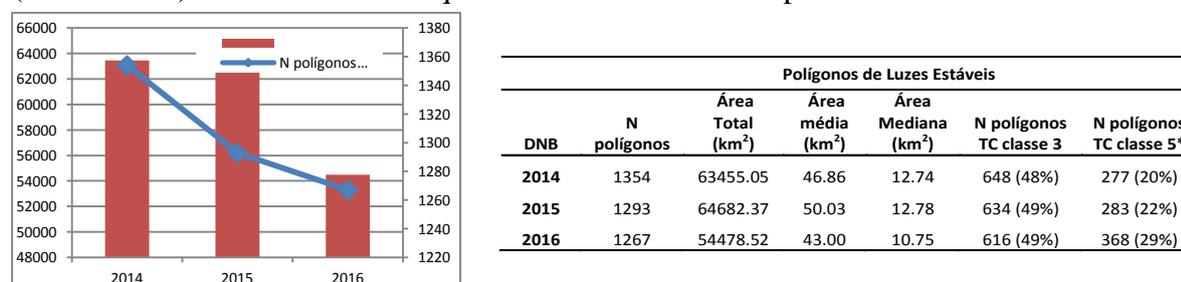
As imagens resultantes foram então vetorizadas, utilizando-se o sistema TerraView5.2, de modo a se obter os polígonos com geometria e topologia adequadas para manipulação geográfica, referentes apenas às áreas que registraram luzes noturnas nas imagens DNB mensais.

Para efetivamente eliminar os polígonos de luzes efêmeras das classificações dos mosaicos mensais DNB, foram adotados dois critérios: 1) compatibilidade com o mapeamento de uso e cobertura existente para a região; e 2) persistência dos polígonos de luzes DNB na série histórica obtida. Para verificar o primeiro critério, calculou-se a porcentagem de cada classe do mapeamento TerraClass 2014 (TC14) para cada um dos polígonos de luzes DNB de 2016. Todos os polígonos de luzes DNB que apresentassem alguma interseção com a classe TC14 “Área Urbana” foram mantidos como luzes estáveis. Quanto ao segundo critério, qualquer polígono de luzes que apresentasse alguma área de interseção com os polígonos mapeados nas outras duas datas foram também considerados polígonos de luzes estáveis.

A escolha de métodos simples de pré-processamento e classificação das imagens se justifica inicialmente pela possibilidade de replicação dos procedimentos para atividades de monitoramento e pelo fato dos mosaicos mensais de imagens DNB ainda estarem em processo de refinamento enquanto produto por seus fornecedores.

3. Resultados e Discussão

Inicialmente, verificou-se o total de polígonos de luzes noturnas detectados para todo o estado do Pará a partir dos mosaicos de 2013, 2014 e 2015. Considerando-se que o Programa Luzes para Todos (PLPT) do governo federal brasileiro, criado em 2003 e prorrogado para o período de 2011 a 2014 (Portal Brasil, 2014), teve a maior parte de suas ações recentes na região norte, esperava-se o incremento de área ou número de polígonos de luzes detectadas ao longo do tempo considerado. Pressuposto não observado pelos polígonos de luzes noturnas (Figura 2) detectados neste trabalho. Neste período, a área e o número de polígonos detectados foi decrescente, observando-se que os polígonos tiveram aproximadamente dimensões similares, como mostram seus valores de área média e mediana. Observa-se ainda que aproximadamente metade dos polígonos detectados correspondem à classe Área Urbana (TerraClass3) e poucos, na ordem de 20%, correspondem à classe Mosaico de Ocupações (TerraClass5). Lembrando que há 144 municípios no estado do Pará.



*polígonos que tiveram área de interseção apenas com a classe TerraClass Mosaico de Ocupações.

Figura 2 - Polígonos de luzes estáveis DNB VIIRS identificados para o estado do Pará em 2014, 2015 e 2016. Soma do Número de polígonos, área total, média e mediana das áreas dos polígonos e número de polígonos que tiveram interseção com as classes TerraClass 3- Área Urbana, e a classe TerraClass 5 - Mosaico de Ocupações.

Estes resultados sugerem que apesar da equalização de histogramas realizada, há diferenças de detecção dos sensores ao longo do tempo, o que pode também estar associado à presença de nuvens no período de estudo.

Para verificar as diferenças locais no sudoeste do Pará, observou-se a evolução da área de luzes estáveis considerando-se os 16 municípios (Figura 3). Os municípios de Santarém, Altamira, Rurópolis e Aveiro apresentaram áreas de luzes crescentes no período, conforme seria esperado considerando-se a esperada evolução das áreas urbanizadas e a implementação do PLPT. Relatos de campo indicam que em muitas localidades, "a luz chegou" em 2014. Novo Progresso, Vitória do Xingu, Uruará, Medicilândia e Placas apresentaram áreas decrescentes, enquanto Itaituba, Trairão, Mojuí dos Campos e Belterra tiveram evolução semelhante ao observado e justificado para o estado do Pará. Importante destacar Vitória do Xingu, município em que se encontram as instalações da usina hidrelétrica de Belo Monte (UH de Belo Monte) que durante sua construção eram iluminadas 24h por dia, cujas obras foram finalizadas e a usina inaugurada em de maio de 2016².

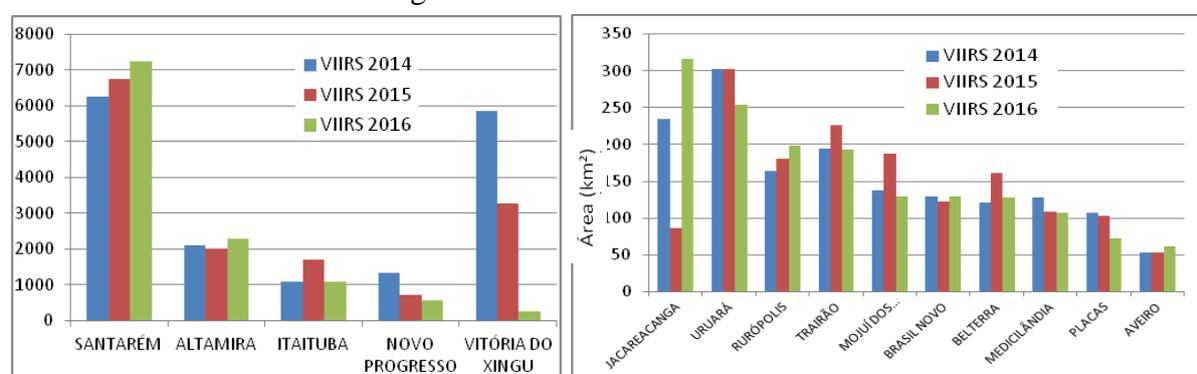


Figura 3 - Soma de área (km²) dos polígonos de luzes estáveis DNB VIIRS identificados nos municípios da área de estudo em 2014, 2015 e 2016.

Estes padrões tornam-se mais explícitos ao se observar a evolução das áreas dos polígonos de luzes DNB para cada uma das sedes de municípios (14), cidades e localidades na área de estudo (Figura 4). Há muitos detalhes a serem explorados nestes resultados, seguem apenas alguns comentários sobre os principais processos observados.

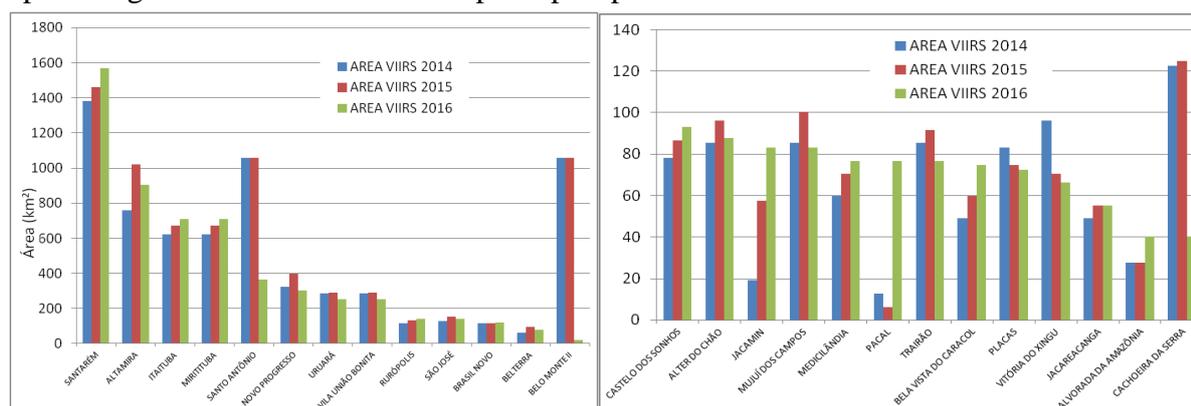


Figura 4 - Área (km²) dos polígonos de luzes estáveis DNB VIIRS identificados para cada localidade na área de estudo em 2014, 2015 e 2016.

As cidades de Itaituba e Miritituba, no município de Itaituba apresentaram polígonos de luzes crescentes, diferente do observado para todo o município (Figura 3), o que indica evolução coerente com o crescimento da área urbana, verificado também em campo. Ou seja, deve-se acompanhar a evolução dos polígonos de luzes ao invés da análise por município.

² <http://www.brasil.gov.br/governo/2016/05/dilma-inaugura-usina-hidreletrica-de-belo-monte>

As localidades de Santo Antônio e Belo Monte, no município de Altamira, tiveram construções associadas à UH Belo Monte, e assim deixaram de emitir luzes com a intensidade de 2014 e 2015. A localidade de Cachoeira da Serra teve em 2014 e 2015 seu polígono de luz integrado ao polígono referente a uma fazenda próxima à comunidade, e em 2016, os polígonos foram detectados separadamente. O mesmo efeito de agregação de polígonos foi observado para a comunidade de Jacamim em 2016, que em 2014 e 2015 os polígonos estavam disjuntos do polígono da comunidade vizinha, e para a Vila Pacal, que em 2016 seu polígono foi agregado à área urbana de Medicilândia. Ou seja, redução expressiva das áreas dos polígonos de luzes devem ser verificados, uma vez que podem estar associados à redução da atividade humana, ou a efeitos de agregação de polígonos.

Os 70 polígonos de luzes DNB 2016 que não corresponderam às Áreas Urbanas do mapeamento TerraClass foram inicialmente confrontados com dados da expedição de campo de 2016. Apenas 10 polígonos foram visitados: oito deles no município de Santarém ao longo da estrada de Santarém a Placas, local de expansão da fronteira agrícola no município, e que correspondem às comunidades Perema, Cristo Rei, Estrada Nova, Jacamin, Tipizal, São Jorge e Santa Rosa. Estas áreas foram mapeadas como Mosaico de Ocupações pelo TerraClass 2014. Os outros dois polígonos DNB2016 corresponderam à Represa do Curuá-Una com sua vila de funcionários, e à comunidade Santa Rosa-Porto de Pedras, na BR163, entre Santarém e Belterra.

Os demais polígonos tiveram seus limites verificados em imagens de alta resolução do GoogleEarth. Destes, 27 polígonos foram associados a sedes de fazendas, garimpos, vilas e povoados, e portanto podem ser considerados acertos, uma vez que se relacionam a atividades humanas, como exemplificado na Figura 5. Cinco polígonos (Figura 6) corresponderam a áreas campestres, e 27 associados a florestas, concentrados em Castelo dos Sonhos, na região de Novo Progresso e Altamira. Estes carecem de melhor qualificação, com imagens de alta resolução recente (após 2013), bem como um polígono que não pode ser verificado pela cobertura de nuvens.

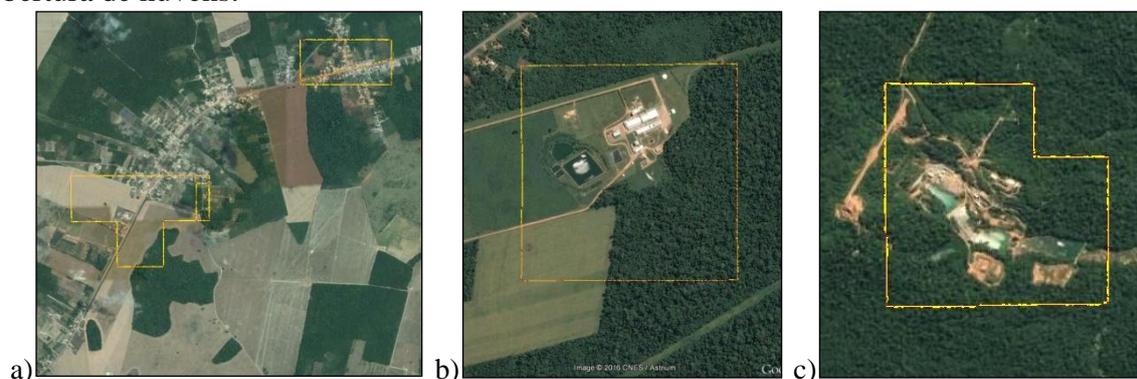


Figura 5 - Polígonos de luzes estáveis DNB VIIRS 2016 (amarelo) sobrepostos a imagens de alta resolução GoogleEarth: a) assentamentos ao longo da BR163; b) fazenda com galpões metálicos; c) garimpo.

Ainda que os sensores tenham tendência de polígonos maiores em 2015, os processos mais intensos de evolução crescente ou decrescente de área dos polígonos de luzes DNB, associados a alterações das atividades humanas sobre o território, foram discerníveis na série histórica.

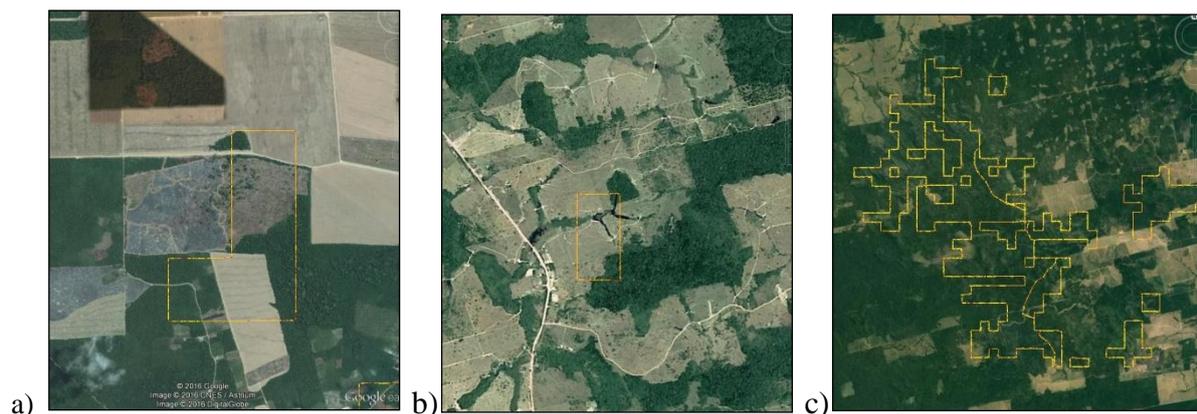


Figura 6 - Polígonos de luzes estáveis DNB VIIRS 2016 (amarelo) sobrepostos a imagens de alta resolução GoogleEarth: a) áreas de vegetação herbácea; b) área de pastagem, possível deslocamento da sede de fazenda; c) área florestal na região de Novo Progresso.

4. Conclusões

Os resultados expressam o potencial dos dados de luzes estáveis DNB VIIRS para acompanhar as atividades humanas, bem como a expansão das áreas urbanizadas na região amazônica. Ao mesmo tempo, enfatizam a necessidade de análise criteriosa dos alvos detectados, especialmente em aplicações que generalizam os resultados para recortes municipais ou regionais. Ao invés de sumarizar dados de níveis digitais ou áreas classificadas de luzes noturnas por unidade geopolítica, acompanhar a evolução das manchas (ou polígonos) de luzes noturnas permite monitorar eficientemente as ações antrópicas no território.

Pelo fato das imagens mosaico DNB serem indicadoras de atividades humanas, além de aplicações em estudos populacionais, socioeconômicos ou de urbanização, estes dados podem ser complementares aos mapeamentos de uso e cobertura da terra, como observado ao se relacionar com os resultados TerraClass.

Finalmente, para monitorar o processo de urbanização com imagens de mosaicos mensais DNB em escala regional como na Amazônia, é necessário desenvolver métodos específicos e automáticos para intercalibração e remoção de luzes instáveis.

Agradecimentos

Este trabalho não seria realizado sem o apoio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, e o suporte financeiro do Projeto MAS/BNDES, Sub-Projeto 5 -Trajetórias de Padrões e Processos na Caracterização de Novas Dinâmicas do Desmatamento na Amazônia. Agradecemos e atribuímos o crédito das imagens DNB - VIIRS ao Earth Observation Group, NOAA National Geophysical Data Center.

Referências Bibliográficas

Almeida, C.A.; Coutinho, A.C.; Esquerdo, J.C.D.M.; Adami, M.; Venturieri, A.; Diniz, C.G.; Dessay, N.; Durieux, L.; Gomes, A.R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazonica*, v. 46, n. 3, p. 291-302, 2016.

Amaral, S.; Camara, G.; Monteiro, A. M. V.; Quintanilha, J. A.; Elvidge, C. D. Estimating population and energy consumption in Brazilian Amazonia using DMSP night-time satellite data. *Computers, Environment and Urban Systems*, v. 29, n. 2, p. 179-195, 2005.

Amaral, S.; Camara, G.; Monteiro, A. M. V.; Quintanilha, J. A. DMSP/OLS night-time light imagery for urban population estimates in the Brazilian Amazon. *International Journal of Remote Sensing*, v. 27, n. 5, p. 855-870, 2006.

Amaral, S.; Dória, V. E. M.; Dal'Asta, A.P; Monteiro, A. M. Luzes noturnas do sensor VIIRS para a identificação de atividades humanas na Amazônia Brasileira: observações de uma região na Transamazônica (PA). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 17., 2015, João Pessoa, PB, Brasil. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015, p. 2285-2292.

Cao, C.; De Luccia, F.; Xiong, X.; Wolfe, R.; Weng, F. Early on-orbit performance of the Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) onboard the Suomi National Polar-orbiting Partnership (S-NPP) satellite. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 52, n. 2, p. 1142-1156, 2014.

Cao, C.; Xiong, X.; Wolfe, R.; De Luccia, F.; Liu, Q.; Blonski, S.; Lin, G.; Nishihama, M.; Pogorzala, D.; Oudrari, H. **Visible/Infrared Imager Radiometer Suite (VIIRS) Sensor Data Record (SDR) user's guide**. Washington: NOAA, 2013. 40 p. (Technical Report NESDIS 142). Disponível em: <https://cs.star.nesdis.noaa.gov/pub/NCC/UsersGuideVIIRS/VIIRS_SDR_USERS_GUIDE_NOAA_TechReport142.pdf>. Acesso em: 02 jun. 2013.

Coutinho, A.C.; Almeida, C.; Venturieri, A.; Esquerdo, J.C.D.M.; Silva, M. **Uso e cobertura da terra nas áreas desflorestadas da Amazônia Legal - TerraClass 2008**. Brasília, DF; Embrapa, Belém: INPE, 2013.

Dória, V. E. M. **Sensoriamento remoto de luzes noturnas para estimativas populacionais em escalas regional e local**: os casos do Distrito Florestal Sustentável da BR-163 (PA) e da Região Metropolitana de São Paulo. 2015. 131 p. (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/11.24.11.20-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3KLCMC5>>. Acesso em: 14 nov. 2016.

IBGE, 2010. Censo demográfico 1940-2010. Até 1970 dados extraídos de: Estatísticas do século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil, 1981, vol. 42, 1979.

INPE. **Projeto PRODES: Mapeamento do desmatamento da Amazônia com Imagens de Satélite**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2016. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/>. Acesso em 10.nov.2016

Joshi, P. K.; Bairwa, B. M.; Sharma, R.; Sinha, V. S. P. Assessing urbanization patterns over India using temporal DMSP-OLS night-time satellite data. **Current Science**, v. 100, n. 10, p. 1479-1482, 2011

Liu, Z.; He, C.; Zhang, Q.; Huang, Q.; Yang, Y. Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008. **Landscape and Urban Planning**, v. 106, n. 1, p. 62-72, 2012.

Liu, X.; Zhu, X.; Pan, Y.; Ma, Y.; Li, T.; Chen, S. Mapping population distribution by integrating night-time light satellite imagery and land-cover data. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015. IEEE International 10.1109/IGARSS.2015.7326238, p. 2186-2189

Ma, T.; Zhou, C.; Pei, T.; Haynie, S.; Fan, J. Quantitative estimation of urbanization dynamics using time series of DMSP/OLS nighttime light data: a comparative case study from China's cities. **Remote Sensing of Environment**, v. 124, p. 99-107, 2012

Pandey, B.; Joshi, P. K.; Seto, K. C. Monitoring urbanization dynamics in India using DMSP/OLS night time lights and SPOT-VGT data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 23, p. 46-61, 2013.

Portal Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/infraestrutura/2015/01/programa-luz-para-todos-e-prorrogado-ate-2018>> Acesso em 10.nov.2016

Richards, J. R. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. Springer-Verlag, Berlin, 281 p, 1986

Sharma, R.C.; Tateishi, R.; Hara, K.; Gharechelou, S.; Iizuka, K. Global mapping of urban built-up areas of year 2014 by combining MODIS multispectral data with VIIRS nighttime light data. **International Journal of Digital Earth**, 2016. <http://dx.doi.org/10.1080/17538947.2016.1168879>.