



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



SER-300

**COMPARAÇÃO ENTRE AS IMAGENS DE LUZES NOTURNAS DO VIIRS E
DO OLS PARA DETECÇÃO DE ÁREAS URBANIZADAS**

Vinicius Etchebeur Medeiros Dória

Trabalho desenvolvido na disciplina de Introdução ao Geoprocessamento

São José dos Campos

2013

COMPARAÇÃO ENTRE AS IMAGENS DE LUZES NOTURNAS DO VIIRS E DO OLS PARA DETECÇÃO DE ÁREAS URBANIZADAS

Vinicius Etchebeur Medeiros Dória¹

¹Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
viniciusdoria@dsr.inpe.br

Resumo. Dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento têm sido amplamente aplicados aos estudos urbanos. Recentes dados publicados pela *United Nations* indicam que, nos próximos 40 anos, dois terços da população mundial estarão morando em áreas urbanas. Neste sentido, mapear e monitorar a dinâmica urbana torna-se essencial para entender a urbanização e suas consequências socioambientais. As imagens de luzes noturnas tem sido empregadas no estudo da urbanização desde a década de 1980. Diante deste contexto, considerando a importância das imagens de luzes noturnas, este trabalho tem como objetivo comparar os produtos de luzes noturnas dos sensores OLS e VIIRS, disponibilizados pela NOAA-NGDC, no que se refere à capacidade de detectar áreas urbanizadas. Os resultados deste estudo mostram que as imagens de luzes do VIIRS apresentam uma maior capacidade em representar pequenas áreas urbanizadas e, por ter uma resolução espacial mais refinada, representa as luzes noturnas com muito mais detalhes espaciais e precisão, no tocante ao cálculo de áreas.

Palavras-chave: luzes noturnas, VIIRS, OLS, geoprocessamento

Abstract. Remotely sensed data and geoprocessing techniques has been widely applied to urban studies. Recent data information published by United Nations shows that, in 40 years from now, two thirds of the world population will be urban dwellers. In this direction, monitoring and mapping urbanization dynamics becomes essentials tools for understanding urbanization and its socio-environmental consequences. Nighttime lights data has been used in urbanization studies since the decade of 1980. Given that context, considering the substantial importance of nighttime lights data, this study aims to compare nighttime lights products from OLS and VIIRS sensors, provided by NOAA-NGDC, regarding the capability to detect urbanized areas. The results shows that nighttime lights images from VIIRS have greater capability to represent smaller urbanized areas than OLS, and because of its finer spatial resolution, lit areas are much more spatially detailed and provides more precise information about area values.

Keywords: nighttime lights, VIIRS, OLS, geoprocessing

1 INTRODUÇÃO

Dados publicados recentemente pelas Nações Unidas indicam que 52,1% da população mundial, isto é, em torno de 3,63 bilhões de pessoas, vive em áreas urbanas (UN, 2012). Schneider et al. (2009), realizaram o mapeamento global das áreas urbanas utilizando dados do sensor MODIS (*MODerate resolution Imaging Spectroradiometer*) e os resultados revelaram que as áreas urbanas ocupam uma área menor do que 0,5% de toda a superfície terrestre. Para o Brasil, Miranda et al. (2005) mapearam a área efetivamente urbanizada, obtendo o valor de 21.285 km², que representa cerca de 0,3% da totalidade do território brasileiro.

A humanidade está vivenciando uma acentuada mudança de vida para áreas urbanas. Em 1950, em torno de 30% da população global morava em áreas urbanas, enquanto que atualmente mais de 50% moram nestas áreas. Em 40 anos, por volta de 2050, dois terços da população mundial estarão morando em áreas urbanas (Figura 1). No Brasil não é diferente. Aliás, a mudança é ainda mais acentuada. Em 1950, 65% da população vivia em áreas rurais, enquanto que em 2050, estima-se que em torno de meros 10% da população estará vivendo nestas áreas (Figura 2).

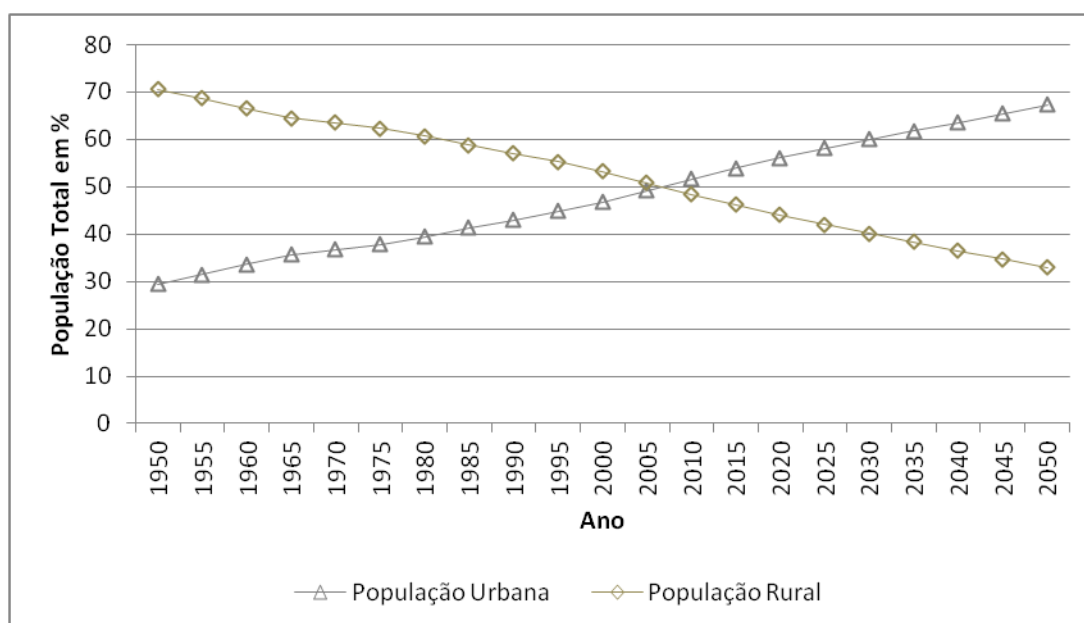


Figura 1 - População mundial urbana e rural de 1950 até 2050 (projetado).
Fonte: UN (2012).

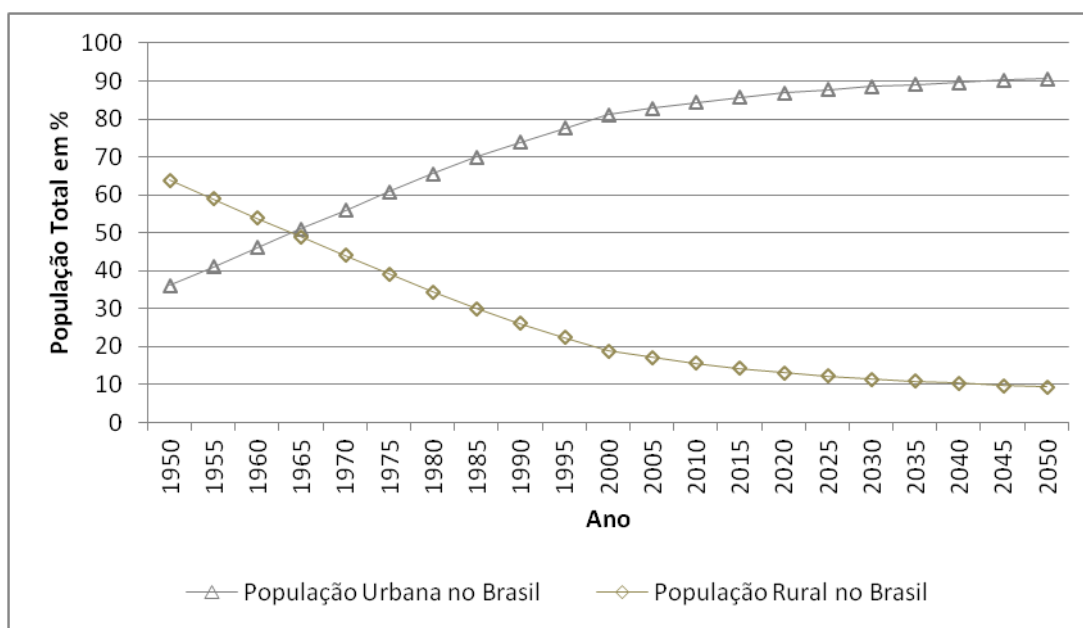


Figura 2 - População urbana e rural no Brasil de 1950 até 2050 (projetado).
 Fonte: UN (2012).

O processo de urbanização pode afetar diretamente o meio ambiente em diversas escalas (MILLS, 2007). A demanda pela produção de bens de consumo causa alterações no uso e na cobertura da terra, na biodiversidade, no sistema hidrológico local à regional, e o lixo urbano afeta, numa escala local à global, o ciclo biogeoquímico e também o clima (GRIMM et al., 2008). Ademais, para Vörösmarty et al. (2000), as iminentes mudanças populacionais e socioeconômicas em escala global nos próximos anos irá ditar a futura relação entre a oferta e a demanda pelo consumo de água, um recurso natural precioso para a manutenção da vida no planeta. Desta forma, mapear e monitorar a dinâmica urbana torna-se essencial para entender a urbanização e suas consequências socioambientais, sempre visando soluções mitigadoras dos problemas decorrentes.

Dados de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento têm sido amplamente utilizados para auxiliar os estudos relacionados à urbanização. O sensoriamento remoto da Terra utiliza principalmente sensores ópticos que operam sob a luz do Sol refletida pela Terra. Os sensores ópticos de imageamento noturno, basicamente, trabalham nas regiões do infravermelho e do microondas do espectro eletromagnético. Estes sensores surgiram na década de 1960 e possibilitaram observar alguns aspectos que durante o dia dificilmente seriam perceptíveis, como, por exemplo, auroras, focos de incêndios

florestais, luzes de cidades e chamas provenientes da queima de gases (FOSTER, 1983). Desde então, uma pequena parcela da comunidade científica tem direcionado esforços em compreender, estimar, monitorar e mapear as dinâmicas da urbanização utilizando dados de sensores de imageamento noturno (AMARAL et al., 2006; DOLL, 2010; SMALL; ELVIDGE, 2011; ZHANG; SETO, 2011).

Diante deste contexto, considerando a importância das imagens de luzes noturnas, este trabalho tem como objetivo comparar os produtos de imagens de luzes noturnas dos sensores *Visible/Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) e *Operational Linescan System* (OLS), disponibilizados pela *National Oceanic and Atmospheric Administration – National Geophysical Data Center* (NOAA-NGDC), no que se refere à capacidade de detectar áreas urbanizadas. A motivação deste estudo está embasada na hipótese de que o sensor VIIRS detecta menores áreas iluminadas durante a noite, produzindo imagens de sensoriamento remoto capazes de fornecer informações muito mais detalhadas e precisas em relação ao sensor OLS.

2 O OPERATIONAL LINESCAN SYSTEM (OLS)

O *Defense Meteorological Satellites Program* (DMSP) é um programa do Departamento de Defesa Norte Americano, administrado pelo Centro de Sistemas Espaciais e Mísseis da Força Aérea dos E.U.A (AMARAL, 2003). De acordo com Elvidge et al. (2001), desde a década de 1970 o DMSP tem operado plataformas de órbita polar que utilizam sensores capazes de detectar nuvens, usando bandas espectrais das regiões do Visível (VNIR) e do Infravermelho Termal (TIR). O programa iniciou seus trabalhos com o *Sensor Aerospace Vehicle Electronics Package* (SAP) que voou de 1970 a 1976.

A partir de 1976, começaram a voar os sensores OLS. O OLS é um radiômetro de varredura oscilatória que adquire imagens diurnas e noturnas. Sua banda do VNIR possui um tubo fotomultiplicador que aumenta sua sensibilidade em quatro vezes durante o imageamento noturno, permitindo identificar nuvens iluminadas pela luz da lua (ELVIDGE et al., 2001) e fontes que emitem pouca radiação do infravermelho próximo, como, por exemplo, as luzes de uma cidade (AMARAL, 2003).

Originalmente, as imagens eram rotineiramente descartadas após alguns dias de utilização. Contudo, o potencial científico dos dados logo foi reconhecido e provisões foram feitas para criar um arquivo dos filmes originais na Universidade de Wisconsin (FOSTER, 1983). Apesar de sensores OLS coletarem dados desde 1976, foram armazenados digitalmente, no NOAA-NGDC, somente os dados coletados a partir de 1992, que estão disponíveis para download no site da NOAA, dos Estados Unidos (DOLL, 2008).

Cada imagem gerada pelo OLS recobre aproximadamente 3.000 km da superfície terrestre e existem dois modos de resolução espacial em que os dados podem ser adquiridos: a resolução plena (*fine*), que possui resolução espacial nominal de 0,5 km, e a resolução reamostrada (*smoothed*), que possui resolução espacial nominal de 2,7 km, resultado do armazenamento de valores médios de 5 x 5 *pixels* a bordo do satélite (ELVIDGE et al., 2001).

Diversos são os estudos relacionados à urbanização que utilizaram estas imagens. Por exemplo, Welch (1980); Welch e Zupko (1980) encontraram uma potencial correlação linear entre a densidade populacional e a demanda pelo consumo de energia utilizando as imagens de luzes noturnas do DMSP/OLS. No entanto, somente com o avanço da tecnologia de armazenamento das imagens em bancos de dados digitais, possibilitando a geração de imagens-mosaico, é que as imagens de luzes se apresentaram como fonte confiável de dados (AMARAL, 2003).

As imagens de luzes noturnas têm sido amplamente aplicadas ao monitoramento da dinâmica dos assentamentos humanos e das atividades econômicas em escala regional e global, não sendo muito bem direcionadas a análises de escala local. Diante disto, Ma et al. (2012) utilizam as imagens multi-temporais de luzes noturnas do DMSP/OLS para uma análise local, obtendo resultados quantitativos da correlação entre estas imagens de luzes e as mudanças nas variáveis da urbanização (população, Produto Interno Bruto, área construída e consumo de energia elétrica), para o período que compreende de 1994 a 2009 para mais de 200 municípios da China. Os resultados obtidos indicam que a variação da intensidade das luzes presentes nas imagens noturnas do OLS pode estar

estatisticamente associada às variáveis demográficas e socioeconômicas da maioria das cidades. Ademais, os resultados sugerem que modelos estatísticos quantitativos podem variar conforme os diferentes padrões de desenvolvimento urbano de cada cidade para se obter estimativas mais precisas.

Este trabalho utiliza uma imagem-mosaico do OLS do ano de 2010, produto de luzes estáveis gerado pelo NOAA-NGDC, com resolução espacial de 1 km. Este produto elimina áreas com cobertura persistente de nuvens e distingue as luzes efêmeras, como focos de incêndios florestais, auroras e relâmpagos, das luzes produzidas por fontes estáveis, como as luzes de uma cidade. A metodologia de geração deste produto é detalhadamente descrita por Elvidge et al. (1997).

3 O VISIBLE/INFRARED IMAGING RADIOMETER SUITE (VIIRS)

O *Joint Polar Satellite System* (JPSS) é um programa estabelecido em 2010 como resultado da reestruturação do *National Polar-Orbiting Environmental Satellite System* (NPOESS), para prover continuidade ao *Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System* (POES) da NOAA. Como resultado, foi lançado um projeto preparatório do programa JPSS, o satélite *Suomi National Polar-orbiting Partnership* (S-NPP) (CAO, C., et al., 2013b).

O S-NPP foi lançado em 28 de outubro de 2011 da base aérea estadunidense de Vandenberg, Califórnia (XIONG et al., 2012). À bordo da plataforma estão cinco sensores: 1) *Cross-Track Infrared Sounder*; 2) *Ozone Mapping and Profiling Suite*; 3) *Advanced Technology Microwave Sounder*; 4) *Cloud and Earth Radiance Energy System*; e 5) VIIRS. O VIIRS tem foco principal na observação das nuvens e de variáveis da superfície terrestre, enquanto que os outros sensores foram desenvolvidos para medir variáveis atmosféricas e o balanço radiativo da Terra (CAO, C., et al., 2013b).

O sensor VIIRS é um radiômetro de varredura mecânica que adquire imagens diurnas e noturnas. Cada imagem recobre aproximadamente 3000 km da superfície terrestre, provendo cobertura diária da Terra, tanto diurna quanto noturna. Possui 22 bandas

espectrais distribuídas entre 0,40 e 12,43 μm . Entre elas encontra-se a banda *Day/Night Band* (DNB), a qual realiza medições durante a órbita diurna e noturna do satélite (LEE et al., 2006). Esta banda tem um intervalo espectral de 0,5 a 0,9 μm , possui um arranjo de quatro sensores CCD (*Charged-Coupled Device*) dedicados e as imagens têm resolução espacial de 750 metros. Ademais, a calibração da banda DNB realizada a bordo do satélite permite uma acurácia radiométrica bem melhor do que a do sensor OLS (LEE et al., 2006; CAO, C., 2013a).

Recentemente, o *Earth Observing Group* (EOG) do NOAA-NGDC disponibilizou o primeiro mosaico global de imagens de luzes noturnas sem cobertura de nuvens do VIIRS, utilizado neste trabalho, com resolução espacial de 15 arcos de segundo, o equivalente a 450 metros. A composição foi gerada usando dados coletados pela banda DNB no ano de 2012, mais especificamente de 18 a 26 de abril e de 11 a 23 de outubro de 2012. No entanto, ao contrário do produto do OLS de luzes estáveis, o produto de luzes noturnas do VIIRS não foi filtrado com o objetivo de remover as luzes associadas aos eventos efêmeros, como auroras, vulcões, focos de incêndios florestais e tampouco foi retirado o ruído das imagens. Por ser muito recente, ainda não existem estudos publicados que utilizem este produto como fonte de dados e informação.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

A região de estudo escolhida para este trabalho abrange uma área de 245.902,17 km^2 do estado do Pará (Figura 3), mais especificamente parte da região que compreende o projeto URBISAmazônia, pela disponibilidade de dados de campo. O projeto URBISAmazônia tem como objetivo qualificar e preencher um vazio no tocante à compreensão do funcionamento e estrutura do urbano na Amazônia contemporânea (URBISAMAZÔNIA, 2011). O projeto é resultado da parceria entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Universidade Federal do Pará (UFPA), o Núcleo de Estudos de População da Universidade Estadual de Campinas (NEPO-Unicamp), entre outros, e é financiado pelo Instituto Tecnológico Vale -

Desenvolvimento Sustentável (ITV-DS) e pela Fundação Vale através de um convênio estabelecido com a Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais (FUNCATE). Maiores informações podem ser conferidas acessando o site do projeto em <<http://www.dpi.inpe.br/urbisAmazonia/doku.php>>.

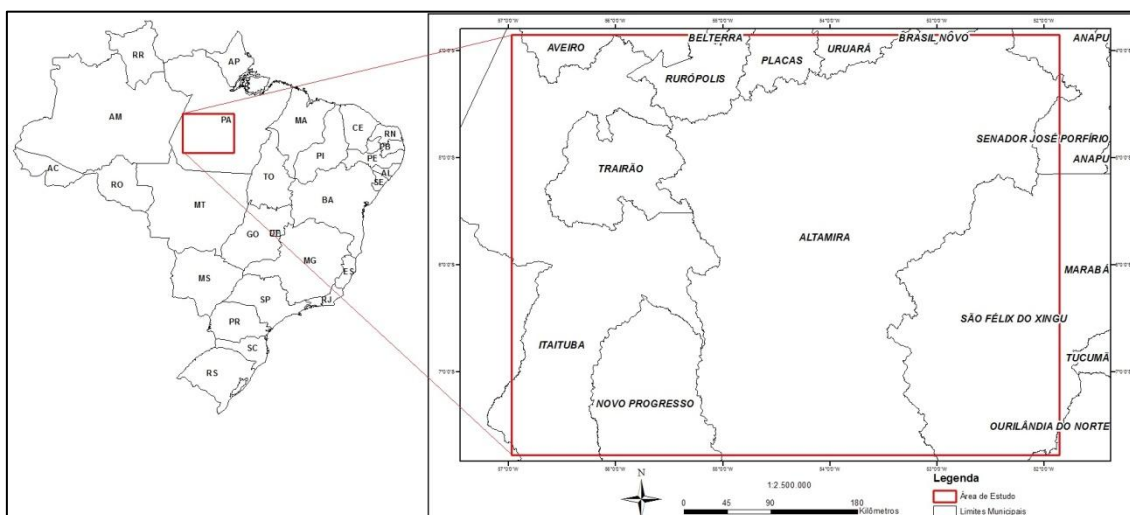


Figura 3 - Área de Estudo.

4.2 Modelagem do Banco de Dados Geográficos

Os dados utilizados para a produção deste trabalho são:

1. Versão 4 do produto de luzes estáveis do DMSP-OLS do ano de 2010, constituído de uma matriz de 1 km x 1 km.
2. Produto de luzes noturnas do VIIRS do ano de 2012, constituído de uma matriz de 450 m x 450 m.
3. Pontos de localidades disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), constituído de um arquivo vetorial de pontos. Este produto do IBGE tem como objetivo registrar em um banco de dados, as informações de nome da localidade, categoria e subordinação político-administrativa.
4. Setores Censitários do Censo de 2010 disponibilizados pelo IBGE.

5. Pontos de campo oriundos do projeto URBISAmazônia, coletados nos anos de 2010 e 2011, constituído de um arquivo vetorial de pontos.

Inicialmente, todos os arquivos foram armazenados em um banco de dados geográficos do sistema ArcGIS, no Sistema de Coordenadas Geográficas e modelo da Terra WGS84. Somente para fins de cálculo de áreas, os resultados foram reprojctados para a projeção Cônica de Albers de Igual Área e modelo da Terra SAD69 para manter os valores das áreas mais precisos.

4.3 Metodologia

Com o objetivo de facilitar a produção dos resultados finais para posterior análise, foram realizadas classificações não supervisionadas das imagens de luzes do VIIRS e do OLS utilizando o algoritmo de agrupamento ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*), no software ENVI. O método de classificação não supervisionada ISODATA é uma coleção de técnicas iterativas que utiliza a distância euclideana como uma medida de similaridade para agrupar os elementos em diferentes classes, considerando o padrão espectral dos pixels (BALL; HALL, 1965; DHODHI et al., 1999). O algoritmo em si é baseado no algoritmo K-média com parâmetros adicionais que gerenciam a separação ou junção das classes de agrupamento (DHODHI et al., 1999). Após a classificação das imagens, as classes foram agrupadas manualmente com o objetivo de manter somente duas classes, a classe de luzes e a classe de não-luzes (*background*).

Como o produto de luzes noturnas do VIIRS, disponibilizado pelo EOG da NOAA-NGDC, não foi filtrado com o objetivo de remover as luzes efêmeras das imagens, foi necessário identificar quais áreas iluminadas nas novas imagens de luzes noturnas provenientes do VIIRS são de fato áreas urbanizadas. Para tanto, diversos relacionamentos espaciais foram realizados, baseados na regra topológica de intersecção, entre a classificação das imagens VIIRS e a classificação das imagens do OLS, os Pontos de Localidades do IBGE, os pontos de campo do projeto URBISAmazônia e os setores censitários do censo de 2010. O fluxograma da metodologia utilizada neste trabalho é apresentado na Figura 4.

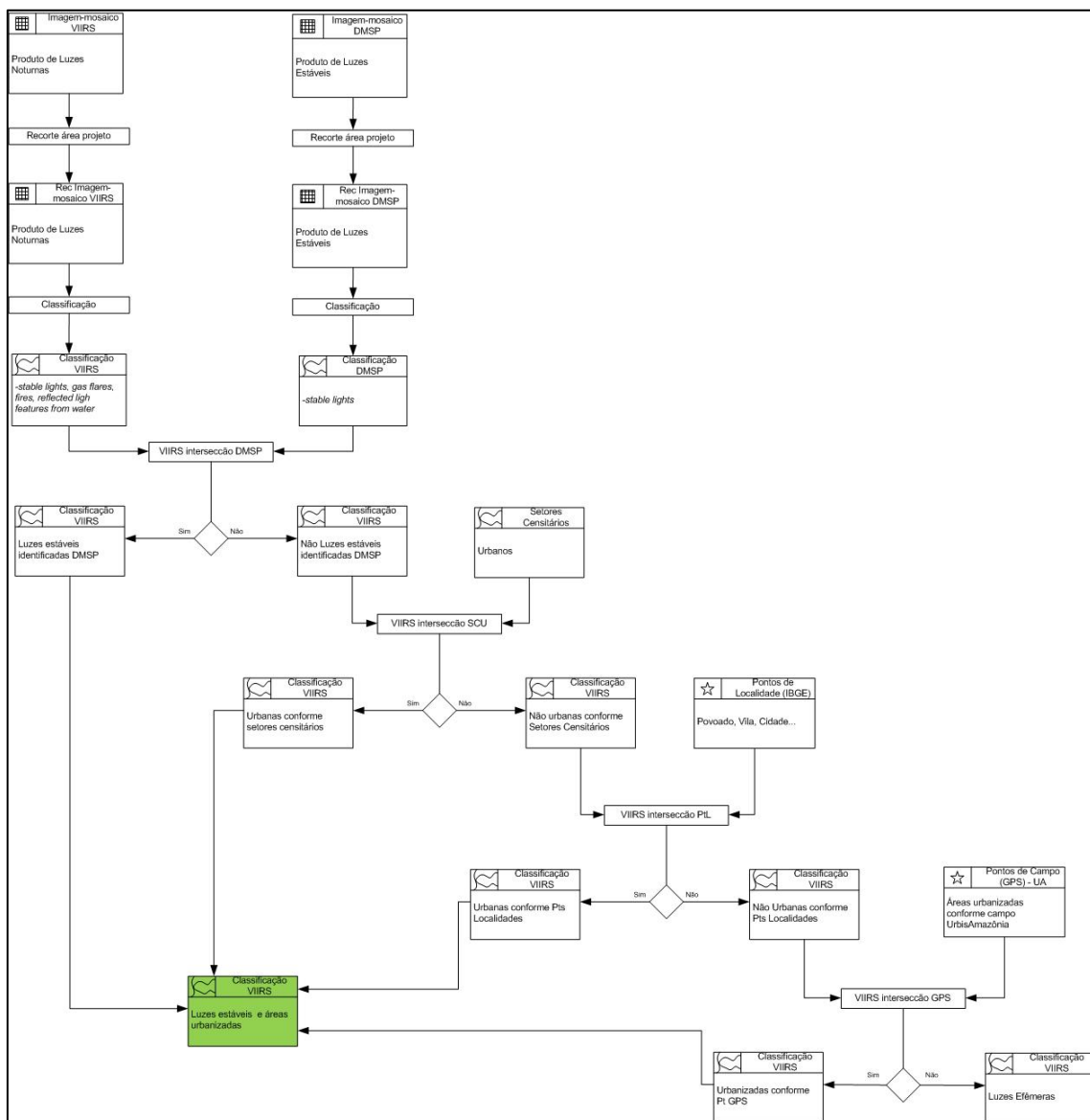


Figura 4 - Diagrama OMT-G.

Ao final de todo o procedimento de separação das luzes efêmeras da classificação VIIRS, foram realizadas comparações quali-quantitativas entre as classificações VIIRS e OLS. Ademais, somente com o objetivo de realizar o controle de qualidade de alguns locais das imagens de luzes dos dois sensores, foram utilizadas imagens do sensor HRC (*High Resolution Camera*) a bordo do satélite CBERS-2B, cujas datas das coletas mais se aproximam das datas das imagens do OLS e do VIIRS.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classificação não supervisionada das imagens de luzes utilizando o método ISODATA se apresentou de forma bem consistente, dado que a classificação teve como objetivo somente separar as áreas iluminadas das áreas não iluminadas. Após o processo de identificação das áreas urbanizadas nas imagens de luzes do VIIRS, os resultados das classificações podem ser comparados, no tocante à identificação de áreas iluminadas durante a noite. Os resultados das classificações das imagens de luzes do OLS e VIIRS são apresentados pela Figura 5.

Quando comparadas, as Figuras 5a e 5b apresentam diferenças bem acentuadas quando observadas ao detalhe. A classificação das imagens do VIIRS mostra que além de captar todas as áreas iluminadas captadas pelo OLS, o sensor distinguiu, ainda, duas pequenas comunidades (Nova Esperança, localizada no município de Itaituba, e Três Bueiros, no município de Trairão), uma fazenda (Estância Três Irmãos, no município de Novo Progresso), duas vilas (São Francisco, no município de Itaituba, e Brasília Legal, no município de Aveiro) e dois povoados (São José, no município de Rurópolis, e São Luiz do Tapajós, no município de Itaituba) não captados pelo OLS.

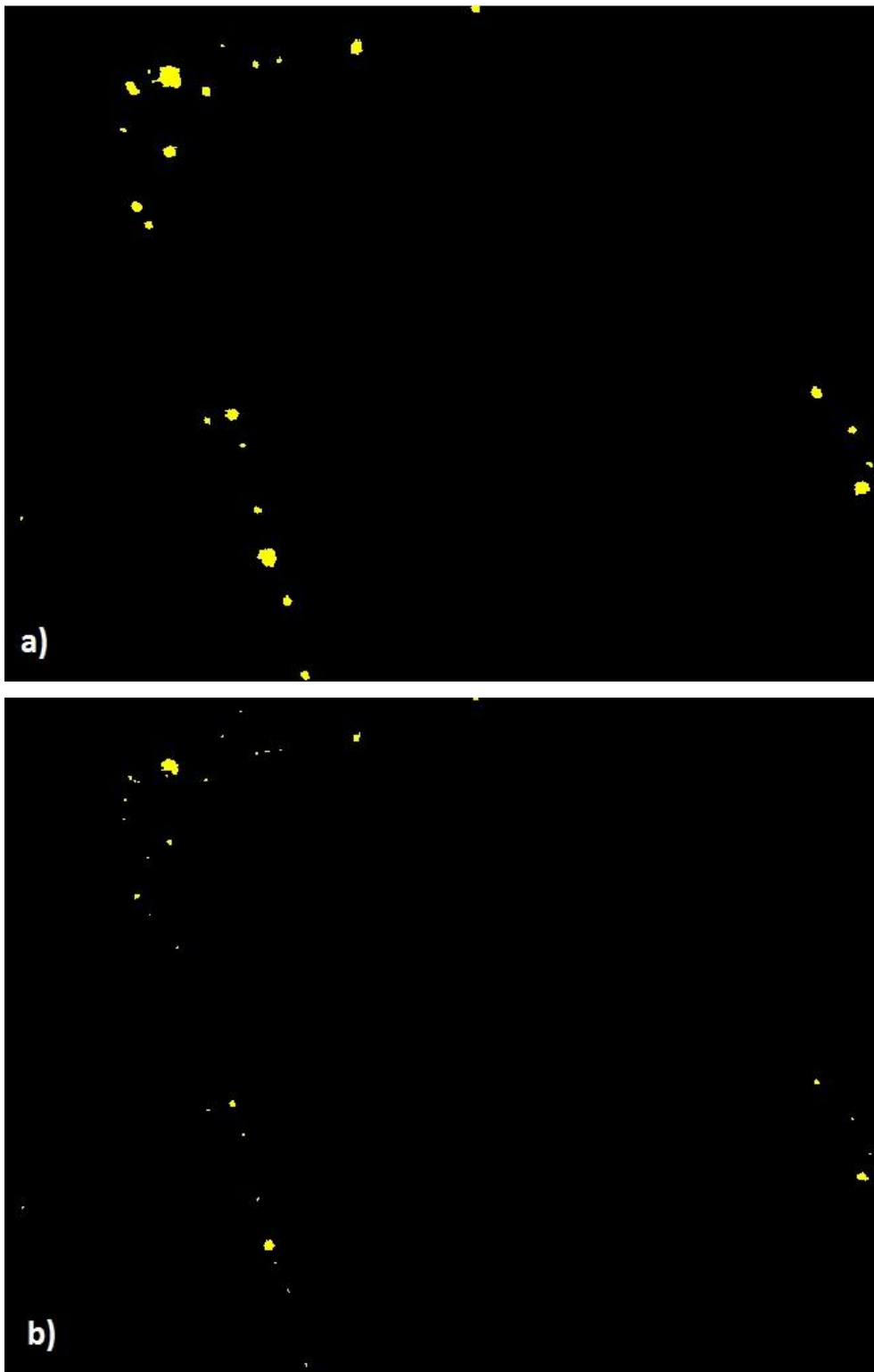


Figura 5 - Classificação das imagens de luzes: a) sensor OLS e b) sensor VIIRS. As áreas iluminadas são representadas pela classe de cor amarela e o *background* (isto é, as áreas não iluminadas durante a noite) é representado pela classe de cor preta.

Outra questão importante que pode ser observada na classificação das imagens do OLS é o crescimento demasiado das bordas das áreas iluminadas (*overflow*), causando uma superestimativa no cálculo de áreas. A Figura 6 apresenta o problema de saturação do brilho do pixel que acarreta no crescimento dos limites reais das áreas iluminadas. Esta questão foi frequentemente reportada em estudos científicos (DOLL, 2008; HANDERSON et al., 2003; MA et al., 2012) e métodos para tentar contornar este problema também foram elaborados ao longo dos anos (CAO, X., et al., 2009; IMHOFF et al. 1997).

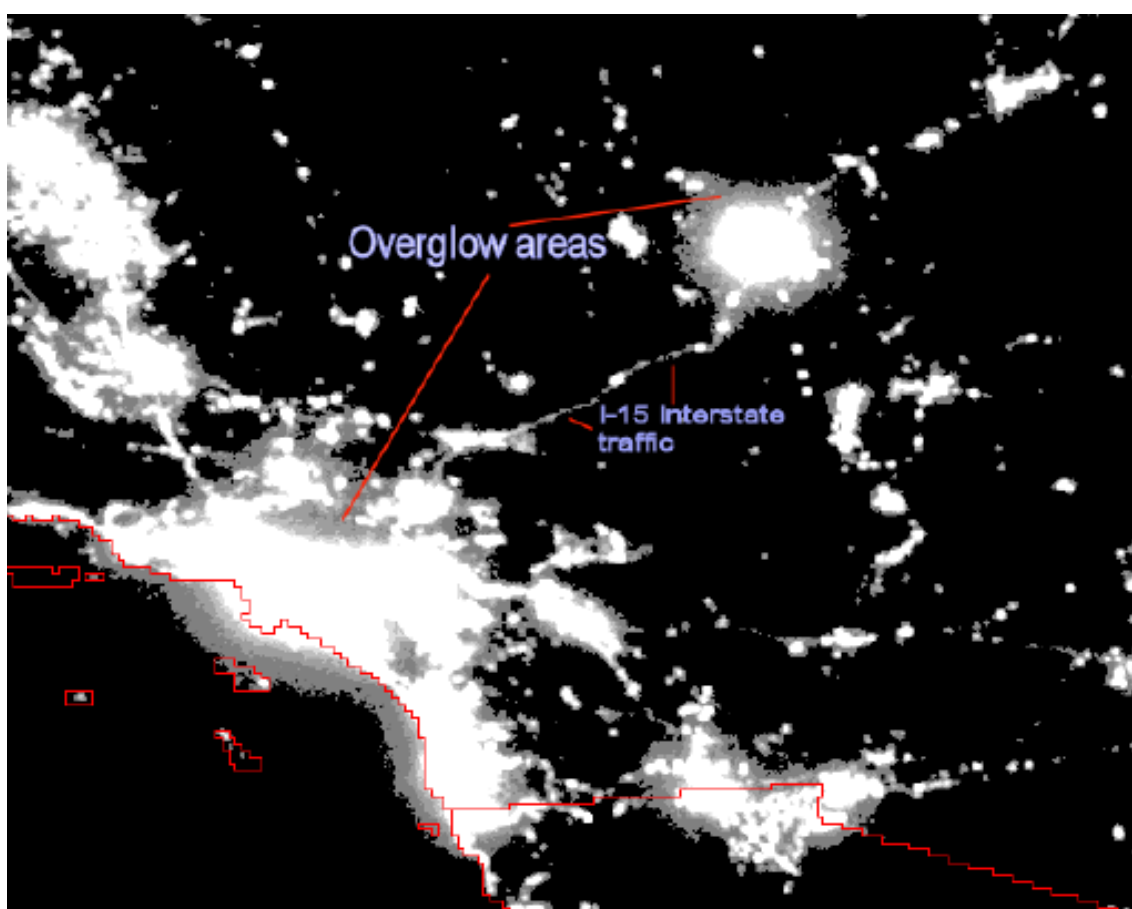


Figura 6- Detalhe dos DNs (Digital Number) médios de imagem de 2002 do DMSP/OLS. O contraste das luzes noturnas foi realçado para mostrar o *overflow* em torno dos centros urbanos iluminados. Nota-se que a luz é detectada a mais de 50 km da costa de Los Angeles, Califórnia, E.U.A. O valor do DN do *overflow* excede os DNs do tráfego da Rodovia Interestadual 15 e os de várias pequenas cidades. Fonte: Doll (2008).

Devido a este problema se apresentar mais acentuado nas imagens do OLS, pequenas regiões separadas fisicamente no espaço podem ser captadas pelo sensor como sendo uma única grande região, perdendo suas características espaciais (Figura 7).

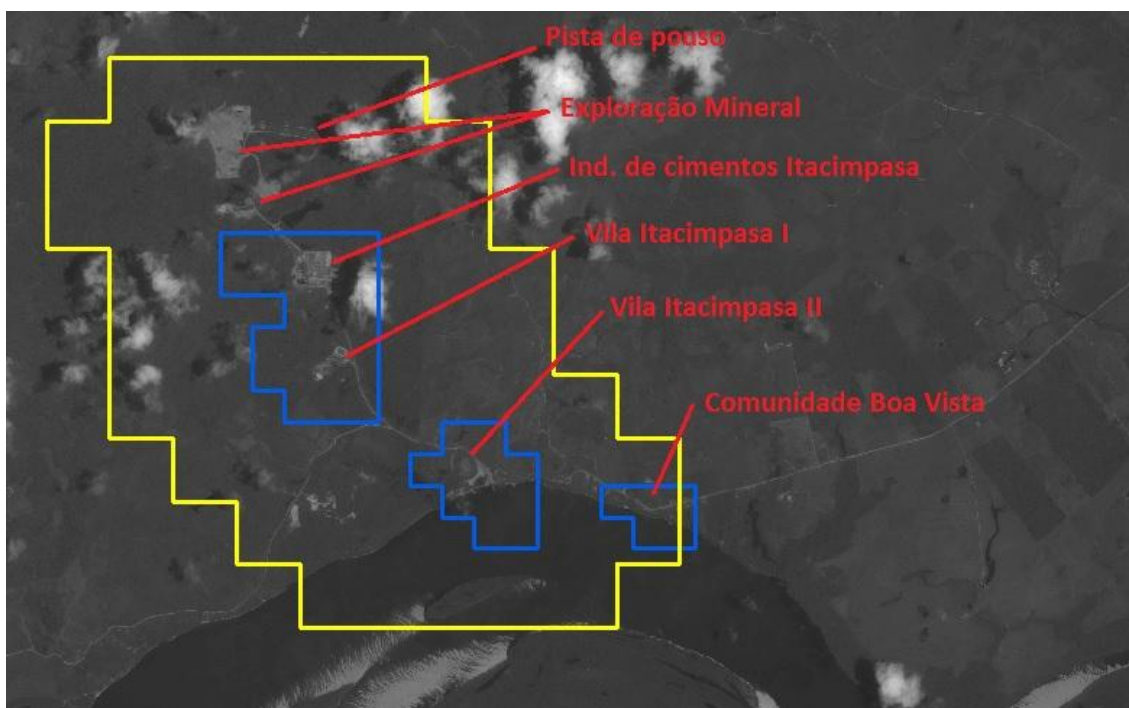


Figura 7 - Imagem do sensor HRC do CBERS-2B de 2008 de uma região próxima da sede do município de Itaituba, PA. Observa-se a aglomeração espacial ocasionada pelo efeito de *overflow*. Classificação das imagens OLS representada em amarelo e classificação das imagens VIIRS representada em azul.

A Figura 7 exemplifica a aglomeração espacial causada pelo efeito de *overflow* das imagens de luzes do OLS, substancialmente minimizado nas imagens de luzes provenientes do VIIRS. Neste caso, um único polígono da classificação OLS (em amarelo) engloba uma pista de pouso, área de exploração mineral, a indústria de cimentos Itacimpasa, as vilas Itacimpasa I e II e a comunidade Boa Vista, no município de Itaituba, como sendo uma única e relativamente grande região. Enquanto que na classificação VIIRS (em azul), somente a indústria de cimentos Itacimpasa e a vila Itacimpasa I são aglomeradas, distinguindo a vila Itacimpasa II e a comunidade Boa Vista. O caso explicado neste exemplo se repete em algumas regiões dentro da área de estudo deste trabalho.

Em termos de área, a Figura 8 apresenta os totais de luzes estáveis e áreas urbanizadas das classificações OLS e VIIRS.

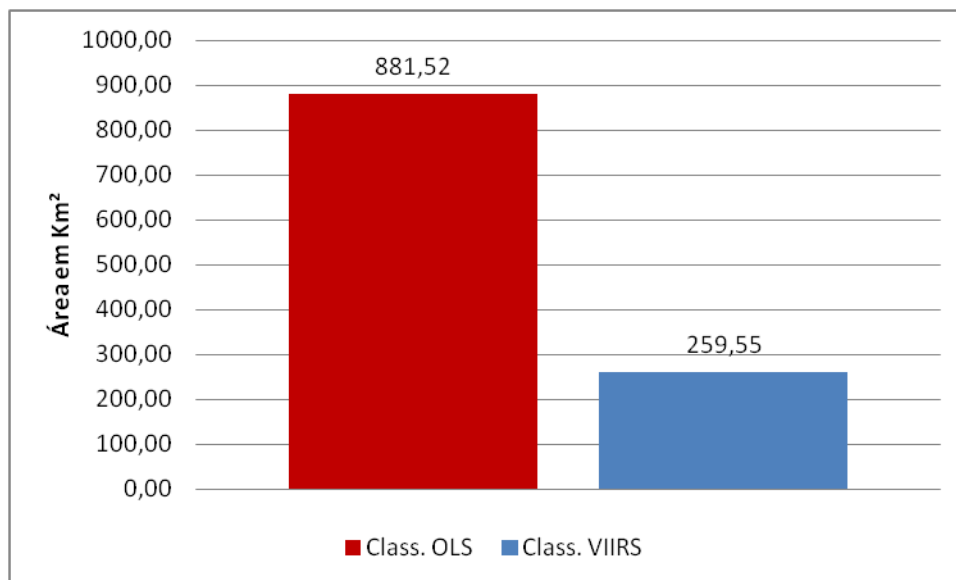


Figura 8 - Áreas totais de luzes estáveis e áreas urbanizadas das classificações OLS e VIIRS.

Apesar da classificação VIIRS indicar que mais locais, tais quais comunidades, vilas, povoados e fazendas, foram captados pelo sensor VIIRS, o valor de área que representa as áreas urbanizadas e luzes estáveis é aproximadamente 3 vezes menor do que na classificação OLS. Isto pode ser atribuído a dois fatores. Primeiro, as imagens de luzes provenientes do VIIRS tem resolução espacial (450 m) consideravelmente melhor do que as imagens de luzes provenientes do OLS (1 km). E segundo, a calibração da banda DNB do VIIRS realizada a bordo do satélite permite uma acurácia radiométrica bem melhor do que a do sensor OLS.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas de geoprocessamento utilizadas neste trabalho permitiram realizar, nesta primeira abordagem, uma comparação consistente entre as imagens de luzes provenientes dos sensores OLS e VIIRS para a área de estudo. Apesar do produto de luzes noturnas do VIIRS, disponibilizado pelo EOG do NOAA-NGDC, não ter passado por qualquer tipo de filtro que eliminasse as luzes proveniente de eventos efêmeros e os ruídos da imagem, o método utilizado eliminou da classificação das imagens estes

eventos efêmeros e ruídos, proporcionando realizar uma análise comparativa tanto qualitativa, quanto quantitativa, dos produtos dos dois sensores.

As imagens de luzes provenientes do OLS foram historicamente utilizadas em diversos estudos, desde a década de 1980. Pelo produto de luzes estáveis apresentar uma metodologia de geração bem consistente, a confiabilidade deste produto acaba por ser maior do que o produto de luzes noturnas oriundos do VIIRS, que é bem mais recente. Por outro lado, os resultados quantitativos deste trabalho mostram que existe uma superestimativa das áreas iluminadas nas imagens do OLS, fazendo com que a precisão e, conseqüentemente, a confiabilidade dos resultados que considerem áreas destas imagens sejam prejudicadas.

As imagens de luzes provenientes do VIIRS são muito recentes e nenhum estudo que utilize estas imagens como fonte de dados e/ou informação foi publicado até o momento. Os resultados deste trabalho indicam que as imagens de luzes noturnas do VIIRS apresentam uma maior capacidade em detectar pequenas áreas urbanizadas e, por ter uma resolução espacial mais refinada, representa as luzes noturnas com muito mais detalhes espaciais e precisão, no tocante ao cálculo de áreas.

É importante salientar que os resultados aqui apresentados são dependentes da qualidade e precisão dos dados utilizados como referência para identificar as áreas urbanizadas nas imagens de luzes do VIIRS. Isto é, comunidades, vilas ou povoados que eventualmente foram captados pelo sensor VIIRS podem ter sido omitidos dos resultados por não terem sido identificados nos dados de referência (pontos de localidades do IBGE, setores censitários e pontos de campo do projeto URBISAmazônia).

Uma possível continuidade no sentido deste trabalho seria aplicar a metodologia aqui descrita para todo o território nacional, obtendo um panorama geral para o Brasil. Contudo, os pontos de campo do projeto URBISAmazônia não estão disponíveis para todo o território brasileiro. Esta metodologia também pode ser aplicada numa escala global. Todavia, como o método depende muito da qualidade e precisão dos dados de

referência, o resultado estaria condicionado à disponibilização e qualidade desses dados para cada região de estudo.

7 REFERÊNCIAS

AMARAL, S. **Geoinformação para estudos demográficos: representação espacial de dados de população na Amazônia Brasileira**. 2003. 166 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003.

AMARAL, S.; MONTEIRO, A. M. V.; CAMARA, G.; 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.

BALL, G. H.; HALL, D. J. **ISODATA, a novel method of data analysis and pattern classification**. Menlo Park: Stanford Research Institute, 1965. 79 p. (Technical Report AD0699616).

CAO, C.; XIONG, X.; WOLFE, R.; DeLUCCIA, 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, 2013a. 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.

CAO, C.; DeLUCCIA, 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**, 2013b (a ser publicado).

CAO, X.; CHEN, J.; IMURA, H.; IGASHI, O. A SVM-based method to extract urban areas from DMSP-OLS and SPOT VGT data. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 2205-2209, 2009.

DHODHI, M. K.; SAGHRI, J. A.; AHMAD, I.; UL-MUSTAFA, R. D-ISODATA: a distributed algorithm for unsupervised classification of remotely sensed data on network of workstations. **Journal of Parallel and Distributed Computing**, v. 59, pp. 280-301, 1999.

DOLL, C. N. H. **CIESIN thematic guide to night-time light remote sensing and its applications**. Palisades: Center for International Earth Science Information Network of Columbia University, 2008. 41 p. Disponível em: <<http://sedac.ciesin.columbia.edu/tg/>>. Acesso em: 16.abr.2013.

DOLL, C. N. H. Population detection profiles of DMSP-OLS night-time imagery by regions of the world. In: Asia-Pacific Advanced Network Meeting, 30., 2010, Hanoi, Vietnam. **Proceedings...** Hanoi: APAN, 2010, p. 191-207.

ELVIDGE, C. D.; BAUGH, K. E.; KIHN, E. A.; KROEHL, H. W.; DAVIS, E. R. Mapping city lights with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 63, n. 6, p. 727-734, 1997.

ELVIDGE, C. D.; IMHOFF, M. L.; BAUGH, K. E.; HOBSON, V. R.; NELSON, I.; SAFRAN, J.; DIETZ, J. B.; TUTTLE, B. T. Night-time lights of the world: 1994-1995. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 56, p. 81-99, 2001.

FOSTER, J. L. Observations of the Earth using nighttime visible imagery. In: Optical Engineering for Cold Environments, 0414., 1983, Arlington, EUA. **Proceedings...** Arlington: SPIE, 1983. p. 187-193.

GRIMM, N. B.; FAETH, S. H.; GOLUBIEWSKI, N. E.; REDMAN, C. L.; WU, J.; BAI, X.; BRIGGS, J. M. Global change and the ecology of cities. **Science**, v. 319, n. 5864, p. 756-760, 2008.

HANDERSON, M.; YEH, E. T.; GONG, P.; ELVIDGE, C.; BAUGH, K. Validation of urban boundaries derived from global night-time satellite imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 3, p. 595-609, 2003.

IMHOFF, M. L.; LAWRENCE, W. T.; STUTZER, D. C.; ELVIDGE, C. D. A technique for using composite DMSP/OLS "city lights" satellite data to map urban area. **Remote Sensing of Environment**, v. 61, p. 361-370, 1997.

LEE, T. E.; MILLER, S. D.; TURK, F. J.; SCHUELER, C.; JULIAN, R.; DEYO, S.; DILLS, P.; WANG, S. The NPOESS VIIRS day/night visible sensor. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 87, p. 191-199, 2006.

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.

MILLS, G. Cities as agents of global change. **International Journal of Climatology**, v. 27, p. 1849-1857, 2007.

MIRANDA, E. E.; GOMES, E. G.; GUIMARÃES, M. Mapeamento e estimativa da área urbanizada do Brasil com base em imagens orbitais e modelos estatísticos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 3813-3820. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.12.11.18>>. Acesso em: 16 abr.2013.

SCHNEIDER, A.; FRIEDL, M. A.; POTERE, D. A new map of global urban extent from MODIS satellite data. **Environmental Research Letters**, v. 4, n. 4, p. 1-11, 2009.

SMALL, C.; ELVIDGE, C. D. Mapping decadal change in anthropogenic night light. **Procedia Environmental Sciences**, v. 7, p. 353-358, 2011.

UN – UNITED NATIONS. **World urbanization prospects: the 2011 revision**. New York: United Nations, 2012.

URBISAMAZÔNIA. **Qual a natureza do urbano na Amazônia contemporânea? O urbano extensivo e os circuitos da economia: o papel das redes na construção dos lugares e na configuração multi-escala do urbano amazônico**. Projeto UrbisAmazônia, 49 p., 2011. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/urbisAmazonia/lib/exe/fetch.php?media=urbis:docs:projeto_urbisamazonia_dez_2011.pdf>. Acesso em: 20.abr.2013.

VÖRÖSMARTY, C. J.; GREEN, P.; SALISBURY, J.; LAMMERS, R. B. Global water resources: vulnerability from climate change and population growth. **Science**, v. 289, n. 5477, p. 284-288, 2000.

WELCH, R.; Monitoring urban population and energy utilization patterns from satellite data. **Remote Sensing of Environment**, v.9, p. 1-9, 1980.

WELCH, R.; ZUPKO, S. Urbanized area energy utilization patterns from DMSP data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 46, n. 2, p. 201-207, 1980.

XIONG, X.; CHIANG, K.; McINTIRE, J.; OUDRARI, H.; WU, A.; SCHWALLER, M.; BUTLER, J. Early assessment of VIIRS on-orbit calibration and support activities. In: 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012, Munich, Germany. **Proceedings...** Munich: IEEE, 2012, p. 7189-7192.

ZHANG, Q.; SETO, K.C. Mapping urbanization dynamics at regional and global scales using multi-temporal DMSP/OLS nighttime light data. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 2320-2329, 2011.