

PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE LUZES NOTURNAS DMSP/OLS E SNPP/VIIRS PARA ANÁLISE TEMPORAL DA REGIÃO METROPOLITANA DO VALE DO PARAÍBA E LITORAL NORTE DE 2000 A 2017

Ana Carolina de Faria Santos¹, Antonio Miguel Vieira Monteiro¹, Silvana Amaral¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil

ana.faria@inpe.br; {silvana, miguel}@dpi.inpe.br

RESUMO

Os dados de luzes noturnas podem ser utilizados como alternativas que auxiliem em ações de planejamento territorial. Este estudo descreve, aplica e avalia dois métodos para o processamento de imagens dos sistemas DMSP/OLS e SNPP/VIIRS no contexto da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN). O objetivo foi estabelecer a viabilidade de uma composição das imagens derivadas destes sistemas sensores para uma série temporal de luzes noturnas para o período de 2000 a 2017. Para o sensor OLS, foi aplicado o método de Intercalibração seguindo de uma Composição intra-anual. Para o sensor VIIRS, foi utilizada uma Máscara para correção e geração das imagens anuais. Ambos os sistemas sensores apresentaram flutuações na série temporal, além do aumento dos valores de nível digital nas imagens DMSP/OLS. O produto gerado foi considerado adequado para análise de algumas dimensões envolvidas nas dinâmicas urbanas e para estudos da evolução das luzes noturnas.

Palavras-chave — DMSP/OLS, SNPP/VIIRS, Intercalibração, Composição Intra-anual.

ABSTRACT

Nighttime light data can be used as an alternative data to assist territorial planning actions. This study describe, applied and evaluated two methods for image processing of DMSP/OLS and SNPP/VIIRS data in the context of the Paraíba Valley and North Coast Metropolitan Region. The aim was establish the viability of both sensors of a time series of nocturnal lights from 2000 to 2017. For OLS data, the Intercalibration method was applied following by an intra-annual composition. For VIIRS data, a mask was used for correction and generation of the annual composite images. Both systems presented fluctuations in the time series, as well as the increase of digital numbers in DMSP/OLS images. The generated product was considered adequate for analysis of several dimension of urban dynamics and for continuous studies of nighttime lights evolution.

Key words — DMSP/OLS, SNPP/VIIRS, Intercalibration, Intra-annual composition.

1. INTRODUÇÃO

Os dados de luzes noturnas advêm de uma classe de satélites que permite o registro de luzes antropogênicas originadas principalmente da iluminação pública, decorrentes da infraestrutura das cidades e de atividades humanas [1]. Estes dados permitem aplicações tanto em escala global, quanto regional e local, como a estimação de densidade populacional [2] [3], análise do crescimento e expansão urbanos [5] [6], estimativas de consumo de energia elétrica [7] [8], entre outros. Podem ser também considerados indicadores espaciais de bens e serviços públicos de consumo coletivo, como as infraestruturas de transporte (inter e intra-municipal) e logística, atividades econômicas e assentamentos humanos e sua distribuição e conectividade no espaço regional.

O sensor mais utilizado nos estudos científicos referentes a luzes noturnas é o *Operational Linescan System* (OLS), a bordo da constelação de satélites de cobertura global *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP), com dados disponíveis de 1992 a 2013. Mas, a partir de 2011, seu sucessor, o sensor *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) a bordo do *Suomi National Polar-orbiting Partnership* (SNPP), de resolução espacial e radiométrica mais detalhadas permitem visualizar melhor a heterogeneidade espacial da emissão de luzes. As imagens de ambos os sistemas sensores são disponibilizadas pela agência *National Oceanic and Atmospheric Administration's National Geoscience Data Center* (NOAA/NGDC).

As imagens do sistema DMSP/OLS são disponibilizadas após um pré-processamento que gera um produto de luzes advinda principalmente de cidades [9]. A ausência de um sistema de calibração a bordo do satélite, e o fato de os produtos advirem de satélites diferentes, conferem instabilidades aos produtos, que não permitem sua utilização direta e afetam suas continuidade e comparabilidade [6]. Os produtos do SNPP/VIIRS disponibilizados são mosaicos mensais de imagens preliminares, que contém luzes advindas de cidades, combustão de gases, eventos temporários, como incêndios, vulcões e auroras, e ruídos, derivados da reflexão da superfície. A NOAA/NGDC disponibiliza um produto mensal cujo único pré-processamento refere-se à remoção de luz dispersa. Com isso, o uso direto deste produto também pode comprometer a precisão dos resultados e induzir a erros [10].

Para que dados de luzes noturnas possam ser alternativas para diagnóstico e monitoramento de atividades humanas, subsidiando ações de ordenamento e planejamento territorial, é fundamental que haja consistência e robustez nos produtos utilizados, para estudos de evolução temporal e observação de dinâmicas locais e regionais. Deste modo, deve-se compatibilizar a disponibilidade histórica dos dados DMSP/OLS com a perspectiva futura de dados SNPP/VIIRS.

Assim, para que se possa incluir o uso de dados de luzes noturnas no planejamento da Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte do estado de São Paulo (RMVPLN), este trabalho descreve as metodologias de processamento para o uso integrado de imagens dos sistemas DMSP/OLS e SNPP/VIIRS e avalia o resultado da aplicação destes métodos, no contexto da RMVPLN, para composição de uma série temporal de luzes noturnas para o período de 2000 a 2017.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

A área de estudo corresponde à Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte (RMVPLN) do estado de São Paulo (Figura 1) situada no eixo da Rodovia Presidente Dutra, ligando as Regiões Metropolitanas (RM) de São Paulo e Rio de Janeiro. A RMVPLN possui uma área total de 16.100 km² [11], e inclui a nascente e os municípios da porção paulista da Bacia do Rio Paraíba do Sul.

A RMVPLN foi instituída pela Lei Complementar nº 1.166 de 9 de janeiro de 2012, abrangendo 39 municípios do vale do Rio Paraíba do Sul e do litoral norte paulista. A região é dividida em cinco sub-regiões criadas para promover o planejamento regional integrado ao desenvolvimento socioeconômico de interesse comum [12].

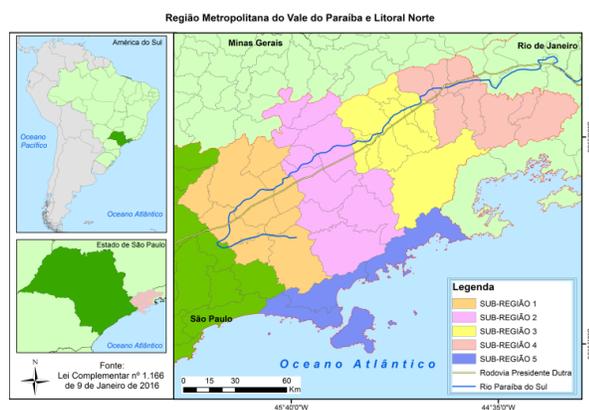


Figura 1. Área de estudo.

2.2. DMSP/OLS

Neste trabalho foi utilizada a Versão 4 da Composição Anual de Luzes Estáveis, disponibilizada pela NOAA/NGDC (<https://ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html>), que possui informações de cidades e outras fontes de luzes persistentes, como combustão de

gases. Foram utilizados os produtos dos satélites F14, F15, F16 e F18 de 2000 até 2011 (Tabela 1). As imagens correspondem a grades de 1 km² de resolução espacial e 6 bits de resolução radiométrica, livre de nuvens, e com a remoção de efeitos efêmeros, como queimadas, de forma a garantir que reflitam apenas as emissões de luzes persistentes.

Tabela 1. Dados da Composição Anual de Luzes Estáveis do DMSP/OLS no período de 2000 a 2011. (NOAA/NGDC)

ANO	SATÉLITE			
	F14	F15	F16	F18
2000	F142000	F152000		
2001	F142001	F152001		
2002	F142002	F152002		
2003	F142003	F152003		
2004		F152004	F162004	
2005		F152005	F162005	
2006		F152006	F162006	
2007		F152007	F162007	
2008			F162008	
2009			F162009	
2010				F182010
2011				F182011

Os dados DMSP/OLS foram processados em duas fases: a intercalibração de acordo com o método desenvolvido por Elvidge et al. [1] e a composição intra-anual proposta por Liu et al. [6].

A intercalibração baseia-se na derivação empírica de coeficientes e aplicação de um Modelo Polinomial Quadrático (Equação 1) para cada imagem:

$$ND_{\text{calibrado}} = \alpha \times ND^2 + \beta \times ND + \gamma \quad (\text{Equação 1})$$

onde $ND_{\text{calibrado}}$ é o valor calibrado do número digital; α , β e γ são coeficientes de calibração e ND é o valor original do Número Digital.

Para obter os coeficientes de calibração, são necessárias referências de satélite/ano e local que correspondam aos maiores valores de ND da série temporal analisada [1]. Assim, utilizou-se o Satélite/Ano F182010 e a cidade de São José dos Campos respectivamente como dado e área de referência, conforme critério determinado por Elvidge et al. [1]

Para a composição intra-anual deve-se compatibilizar as informações dos diferentes satélites para um mesmo ano [6]. *Pixels* instáveis, aqueles detectados por apenas um satélite no mesmo ano, são identificados e removidos, tendo seu valor substituído por zero. Aos *pixels* estáveis é atribuído o valor de ND médio das imagens do mesmo ano. Este procedimento não foi necessário nos casos de imagem única por ano: F162008, F162009, F182010 e F182011.

2.3. SNPP/VIIRS

Foram utilizadas as imagens referentes ao período de 2012 a 2017 da Versão 1 da Série Mensal VIIRS *Day/Night Band* (DNB) que representa a média da radiância detectada no mês (https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html). As imagens possuem uma resolução espacial de 500 x 500 metros, uma resolução radiométrica de 14 bits e

são disponibilizadas numa configuração cujo único pré-processamento refere-se à remoção de luzes dispersas.

De modo a gerar as composições anuais, foram selecionadas as imagens mensais com melhor qualidade de dado para a área de estudo (Tabela 2). Posteriormente, as imagens foram corrigidas utilizando o método desenvolvido por Wu et al. [13] que utiliza a Composição Anual VIIRS de 2015 como máscara para corrigir as imagens mensais. O dado da Versão 1 da Composição Anual VIIRS de 2015 é a única composição anual disponibilizada na qual houve remoção dos outliers, fog e outros efeitos efêmeros.

Com isso, parte-se do pressuposto de que se um pixel em determinada posição geográfica tem valor zero na imagem anual de 2015, ele deverá permanecer zero em todas as imagens da composição mensal [13]. Aliado a isto, todos os pixels com valores de radiância negativos foram considerados ruídos e atribuído valor zero [13] [14]. Após a correção das imagens, foram calculados os valores de radiância anuais para compor a série temporal de 2012 a 2017 através da média geométrica dos valores mensais de cada ano.

Tabela 2. Produtos da Série Mensal do SNPP/VIIRS do período de 2012 a 2017 avaliada, sendo: S – Utilizada; N – Não utilizada; X – Não possui dado.

	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Janeiro	X	N	S	S	S	N
Fevereiro	X	N	S	S	S	S
Março	X	N	S	S	N	S
Abril	S	S	S	S	S	S
Mai	S	S	S	S	S	S
Junho	S	S	S	S	S	S
Julho	S	S	S	S	S	S
Agosto	S	S	S	S	S	S
Setembro	S	S	S	S	S	S
Outubro	S	S	S	S	S	S
Novembro	S	N	S	N	S	S
Dezembro	N	S	S	S	S	S

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi produzida uma série temporal de imagens de luzes noturnas de 2000 a 2017 utilizando os sistemas sensores DMSP/OLS e SNPP/VIIRS, exemplificada na Figura 2. A metodologia aplicada em ambos os sistemas auxiliaram na melhora da comparabilidade entre os anos.

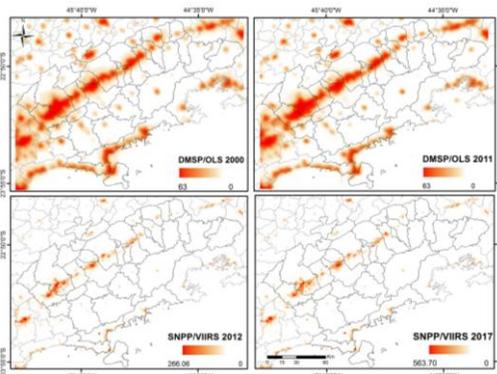


Figura 2. Imagens da série temporal de luzes noturnas.

Os valores da Soma dos ND das imagens DMSP/OLS apresentaram valores mais elevados para imagens corrigidas (Figura 3). Este fato pode estar associado ao critério de seleção da imagem de referência [1]. Seleciona-se aquela de maiores valores de ND para acomodar a saturação presente nos núcleos urbanos e derivados da combustão de gases. Todavia, na área de estudo há pouca saturação nos centros urbanos devido à pequena extensão da área urbana em municípios majoritariamente rurais. Adotar critérios baseados nas características socioeconômicas dos municípios poderia originar uma série com valores mais próximos aos originais [6].

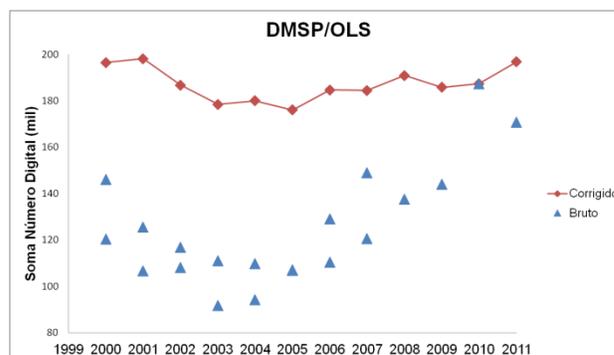


Figura 3. Soma dos Números Digitais das imagens DMSP/OLS brutas e da série temporal corrigida.

A série temporal das imagens corrigidas apresentou uma flutuação da Soma dos ND de forma que anos como 2005 apresentam valores menores em relação aos anos anteriores (de 2000 a 2004). Liu et al. [6] também observaram a mesma flutuação na fase da composição intra-anual, e realizaram uma correção inter-anual, que parte do pressuposto que as áreas urbanas crescem continuamente ao longo dos anos. Contudo, a RMVPLN, após a década de 1990 houve uma estabilidade socioeconômica de diversos setores, de forma que tais pressupostos não se aplicariam satisfatoriamente à dinâmica urbana da região em uma série temporal tão longa.

A Figura 4 apresenta a soma dos valores de radiância das imagens mensais e anuais corrigidas do SNPP/VIIRS. Assim como observado para dados DMSP/OLS, a série temporal gerada para o SNPP/VIIRS apresentou uma flutuação, na qual anos como 2015 e 2016, apresentaram valores menores em relação aos anos de 2012, 2013 e 2014. Contudo, pode-se notar que tais flutuações são derivadas do dado original, cujos meses de 2015 e 2016 já apresentavam valores mais baixos que os anos anteriores. Neste sentido, o processamento aplicado diminuiu as inconsistências referentes a ruídos e outros efeitos efêmeros presentes na área de estudo, mas ainda há necessidade de se avaliar métodos que melhorem a qualidade do dado [14].

Apesar da produção de uma série temporal contínua e com menos inconsistências, as imagens possuem diferenças derivadas das configurações de seus respectivos sistemas sensores, como: (1) a resolução espacial melhorada do

SNPP/VIIRS; (2) respostas espectrais; (3) período de passagem dos satélites; (4) detecção da radiância registrada; (5) saturação dos dados do DMSP/OLS; entre outros [15]. Muitos estudos buscam desenvolver técnicas para compatibilização dos dados e realizar estudos contínuos [5] [15]. Contudo, ainda há necessidade de se compatibilizar a série temporal de modo a não perder o detalhamento proporcionado por dados do sensor VIIRS.

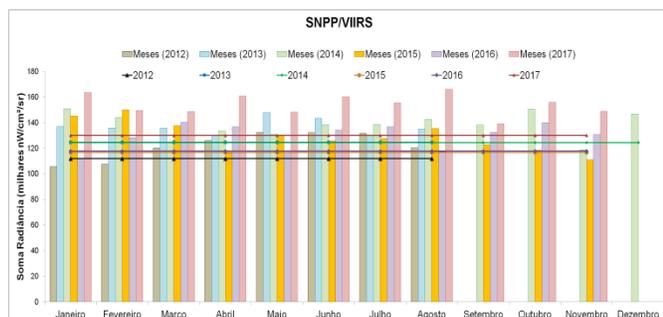


Figura 4. Soma da Radiância das imagens SNPP-VIIRS mensais e do produto anual corrigido.

5. CONCLUSÕES

Este estudo avaliou os métodos propostos para correção de composições anuais de imagens de luzes noturnas dos sistemas DMSP/OLS e SNPP/VIIRS, de modo a se obter uma série temporal consistente para o período de 2000 a 2017 para a RMVPLN.

O método de intercalibração seguido da composição intra-anual aplicado para o sensor OLS apresentou flutuações na série temporal, além de elevados valores de ND para a área de estudo. Todavia, o produto gerado foi considerado satisfatório, considerando o contexto da RMVPLN.

A aplicação de uma máscara nas imagens do sensor VIIRS seguido da geração da série anual pela média geométrica dos valores das imagens mensais também se mostrou suficiente para a área de estudo. Desta forma, pode-se dar continuidade a estudos que avaliem a evolução histórica das áreas de luzes noturnas da RMVPLN com dados OLS, e a evolução recente e futura, com dados VIIRS. Todavia, ainda não se tem métodos estabelecidos e testados para a compatibilização da série temporal considerando as diferenças dos sistemas sensores. Este é um dos desafios atuais para os trabalhos com sensores tão promissores para estudos urbanos e planejamento territorial como são os sensores de luzes noturnas.

6. REFERÊNCIAS

[1] Elvidge, C. D.; Ziskin, D.; Baugh, K.E.; Tuttle, B.T.; Ghosh, T. Pack, D.W.; Erwin, E.H.; Zhizhin, M. A fifteen-year record of global natural gas flaring derived from satellite data. *Energies*, v. 2, pp. 595-622, 2009.

[2] Amaral, S. A.; Câmara, 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. *Environmental and Urban Systems*, v. 29, pp.179-195, 2005.

[3] Amaral, S. A.; Monteiro, A. M. V.; Câmara, 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, pp. 855-870. 2006.

[5] 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, pp. 2320-2329. 2011.

[6] 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, pp. 62- 72. 2012.

[7] 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, pp. 727-734, 1997.

[8] Letu, H.; Masanao, H.; Yagi, H.; Kazuhiro, N.; Tana, G.; Nishio, F.; Shuhei, O. Estimating energy consumption from night-time DMSP/OLS imagery after correcting for saturation effects. *International Journal of Remote Sensing*, v. 31, n. 16, pp. 4443-4458, 2010.

[9] Elvidge, C. D.; Limhoff, M.; Baugh, K.E.; Hobson, V.R.; Nelson, I.; Safran, J.; Dietz, J.B.; Tuttle, B.T. Night-time lights of the world: 1994- 1995. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 56, n. 2, pp. 81-99, 2001.

[10] Zhao, M.; Cheng, W.; Zhou, C.; Li, M.; Wang, N.; Liu, Q. GDP Spatialization and Economic Differences in South China Based on NPP-VIIRS Nighttime Light Imagery. *Remote Sensing*, v. 9, n. 7, pp. 673-693, 2017.

[11] Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A - EMBPLASA. *Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte. São Paulo: Imprensa Oficial do Governo do Estado de São Paulo*, 2012.

[12] SÃO PAULO. Lei Complementar nº 1166, de 9 de janeiro de 2012. *Cria a Região Metropolitana do Vale do Paraíba e Litoral Norte, e dá Providências Correlatas*.

[13] Wu, R.; Yang, D.; Dong, J.; Zhang, L.; Xia, F. Regional Inequality in China Based on NPP-VIIRS Night-Time Light Imagery. *Remote Sensing*, v. 10, pp. 240-258, 2018.

[14] Shi, K.; Yu, B.; Huang, Y.; Hu, Y.; Yin, B.; Chen, Z.; Chen, L.; Wu, J. Evaluating the Ability of NPP-VIIRS Nighttime Light Data to Estimate the Gross Domestic Product and the Electric Power Consumption of China at Multiple Scales: A Comparison with DMSP-OLS Data. *Remote Sensing*, v. 6, pp. 1705-1724, 2014.

[15] Li, X.; Li, D.; Xu, H.; Wu, C. Intercalibration between DMSP/OLS and VIIRS night-time light images to evaluate city light dynamics of Syria's major human settlement during Syrian Civil War. *International Journal of Remote Sensing*, v. 38, pp. 5934-5951, 2017.