

Avaliação da Expansão de Áreas Urbanas Brasileiras e seus Impactos Socioambientais por meio da Integração dos índices NTL e NDVI

Aluna: Cíntia Alvim Lage¹

Orientador: Gustavo Macedo de Mello Baptista¹

¹Universidade de Brasília – UNB

Abstract. The present study aims to analyze the growth of urban sprawl in the metropolitan areas of São Paulo, Rio de Janeiro and Belo Horizonte, using data from the Defense Meteorological Satellite and the Operational Linescan System sensor, combined with NDVI data from the MOD13A3 sensor. Scenes from 2001 to 2013 were acquired for the three metropolitan regions and by means of processing methods, had its urban sprawl analyzed. The saturation originated from the urban lights was corrected with the VANUI index, which correlates vegetation data with the nighttime light. The results showed a tendency of growth on all the studied sites, especially in the case of the metropolitan area of Belo Horizonte. This study can help predict future changes in the landscape as well as to use nighttime light data as a tool for more studies to come. The nighttime light data showed itself to be useful in studies concerned urban areas, when applied with the VANUI index.

Palavras-chave: NTL, NDVI; VANUI; São Paulo; Rio de Janeiro; Belo Horizonte.

1. Introdução

A crescente urbanização dos centros resulta em elevadas taxas de supressão vegetal e traz consigo um intenso fluxo populacional, contribuindo para a formação das chamadas regiões metropolitanas. No Brasil, os processos de urbanização tiveram início no século XX de acordo com Deak e Shiffer (1999). Nesse contexto, o conhecimento sobre o aumento da mancha urbana nas grandes cidades como São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte se torna fundamental, pois pode contribuir não só para o planejamento urbano como também para prever cenários futuros de crescimento dessas cidades.

A utilização de imagens de satélite para o mapeamento da área urbana sempre representou um desafio, pois os materiais empregados nas construções das cidades são muito diversos, o que acarreta em uma variedade de respostas espectrais, inclusive misturas, Baptista (2010).

Marc Imhoff, biólogo da NASA, percebeu que as imagens de satélite noturnas seriam uma saída para mapear como o crescimento urbano está mudando a paisagem da Terra, Weier (2000).

No campo do sensoriamento remoto, o sensor MODIS se destaca pela capacidade de coleta contínua e de alta frequência de dados sobre a superfície terrestre. Já as imagens noturnas do globo são criadas pelo *Defense Meteorological Satellite Program* (DMSP) com o sensor OLS (*Operational Linescan System*) NTL (*Night Time Light*). Ele captura imagens com baixa intensidade de luz, sendo capaz de imagear a face não iluminada do planeta apenas com a luz da Lua. O sensor consegue detectar luzes de diversas fontes, como ocupações humanas, incêndios, explosões de gás, raios e etc. Baptista (2015).

O índice VANUI (*Vegetation Adjusted NTL Urban Index*) se baseia na integração dos dados NTL com NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), e é utilizado para corrigir a saturação característica das imagens noturnas, que gera uma superestimação dos focos de luz, Zhang (2013). O NDVI é um dos produtos do MOD13A3, que contém um dado já processado do NDVI.

Assim, para o desenvolvimento do presente estudo buscou-se avaliar o crescimento da mancha urbana nas metrópoles de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte por meio do índice VANUI entre os anos de 2001 e 2013.

2. Caracterização da Área de Estudo

A Região Metropolitana de São Paulo – RMSP, foi criada pela Lei Complementar número 14/73 em 1973. Ela é composta por 39 municípios e possui área de 7.947 km². Sua população é de 19.683.975 habitantes, constituindo 47,7% do total estadual. A taxa de crescimento da população da RM de São Paulo, entre 2000 e 2010, foi de 0,97% ao ano, Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (2014)

A cidade de São Paulo é considerada a mais populosa e extensa do país, com 57% da população metropolitana residindo no município núcleo. Essa concentração de 11 milhões de pessoas no município de São Paulo torna a distribuição bastante desigual Nobre (2010).

Criada em 1974 pela Lei Complementar Federal número 20/74, a Região Metropolitana do Rio de Janeiro – RMRJ é composta por 21 municípios, com área total de 6.737 km², Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil (2014). Sua população é estimada em 11.945.976 milhões, correspondendo a 74,7% do total estadual e a sua taxa de crescimento da população entre 2000 e 2010 foi de 0,86% ao ano.

Em 2010, a RM do Rio de Janeiro possuía um grau de urbanização de 99%, a maior taxa do país, IBGE (2010). A cidade do Rio de Janeiro, capital do estado do Rio de Janeiro, é considerada a segunda maior cidade do Brasil, tanto em termos de densidade demográfica quanto em extensão territorial.

Criada em 1973 pela Lei Complementar Federal número 14/73, a Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH é formada, por 34 municípios com uma área total de 9.473 km². Ela é a terceira maior região metropolitana do país e sua população total é de 4.883.970 milhões de habitantes que correspondem a 24,9% do total estadual, de acordo com o Atlas do Desenvolvimento Humano nas Regiões Metropolitanas Brasileiras.

A RMBH teve um grau de urbanização de 98,1% em 2010, sendo que ¼ da população estadual habitava a RM. 48% do total de residentes da RM de Belo Horizonte vivem no município núcleo, Belo Horizonte, que é a capital do estado de Minas Gerais. Entre 2000 e 2010 a taxa de crescimento da população da RM foi de 1,15%.

3. Índices Espectrais

3.1 NDVI

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é o mais utilizado para estudos de comportamento de vegetação e foi desenvolvido por Rouse et al. (1973) Ele permite estimar a biomassa e tem como variáveis as bandas do vermelho (R_{RED}) e infravermelho próximo (R_{NIR}). O cálculo do NDVI é representado pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{(R_{NIR} - R_{Red})}{(R_{NIR} + R_{Red})} \quad (1)$$

3.2 VANUI

O índice VANUI (*Vegetation Adjusted Normalized Urban Index*), proposto por Zhang et al (2013) se baseia no fato da vegetação e das superfícies urbanizadas serem inversamente correlacionadas. A razão por trás do VANUI é o desenvolvimento de um índice espectral robusto que utiliza os dados sobre vegetação (NDVI no caso) para reduzir a saturação e aumentar a variabilidade interurbana nos valores de luminosidade noturna, de acordo com Zhang. Ele é definido pela seguinte fórmula:

$$\text{VANUI} = (1 - \text{NDVI}) * \text{NTL} \quad (2)$$

4. Metodologia

Para a realização deste trabalho utilizaram-se 468 imagens de satélite do produto MOD13A3 do sensor MODIS (156 imagens de cada cena) e 13 imagens noturnas do sensor OLS, ambas do período de 2001 a 2013. As imagens do TERRA/MODIS MOD13A3 possuem resolução espacial de 1km e já são disponibilizados em projeção sinusoidal, corrigidos para os efeitos atmosféricos com o NDVI e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) previamente calculados (USGS, 2016).

Para a região metropolitana do Rio de Janeiro, foi realizado o mosaico das cenas h14v11 com a cena h13v11 do produto MOD13A3 e para Belo Horizonte o mosaico foi feito com as cenas h13v10 com a cena h13v11. Para a região metropolitana de São Paulo foi utilizada a cena h13v11. Todas as imagens foram reprojatadas e redimensionadas e como o MOD13A3 possui imagens mensais, foi realizada a média anual do NDVI para se tornar compatível com os dados anuais do NTL.

Os dados anuais de NTL foram normalizados pela divisão das imagens por 63, para assim se tornar compatível com o VANUI. Após esse processo, as imagens foram redimensionadas de acordo com o *shape* da área metropolitana de cada região.

Após os devidos processamentos, os dados foram reduzidos a 13 imagens de média anual do NDVI, por cidade, totalizando 39 imagens, mais as 13 imagens de do NTL.

Os resultados foram avaliados primeiramente por fatiamento, utilizando 6 classes e o cálculo de área foi feito por meio da ferramenta *ROI TOOL*, que apresentou os valores em Km². Todos os processamentos foram realizados no software ENVI 5.1.

5. Resultados e Discussão

Foram obtidas 39 imagens (13 de cada cidade) com o índice VANUI e classificação com fatiamento como resultado.

Foi observado um padrão de crescimento nas três cidades, apesar da mudança visual ser pouco observável no caso do Rio de Janeiro. Isso pode ser devido a fatores como o Rio de Janeiro e São Paulo serem cidades antigas, logo sua área espacial já é muito comprometida para grandes crescimentos, fazendo essas cidades crescerem de forma vertical, não horizontal, o que não pode ser observado pela imagem de satélite noturna. Nadia Somekh e Guilherme Gagliotti (2013) mostram que de 2004 até 2011 a verticalização metropolitana de São Paulo ganhou força com a guerra de coeficientes da RMSP e os preços fundiários mais baixos.

Outro fator a ser levado em conta no caso do Rio de Janeiro é a geografia da cidade. A RMRJ se encontra numa área de serras e baixadas, o que muitas vezes impede a construção de prédios ou casas por não ser uma área propícia para tal. Isso pode

restringir o crescimento horizontal da cidade também. A pouca mudança visual também pode ser devido à resolução espacial, pois o pixel de 1 km não mostra com tanto detalhamento crescimentos sutis.

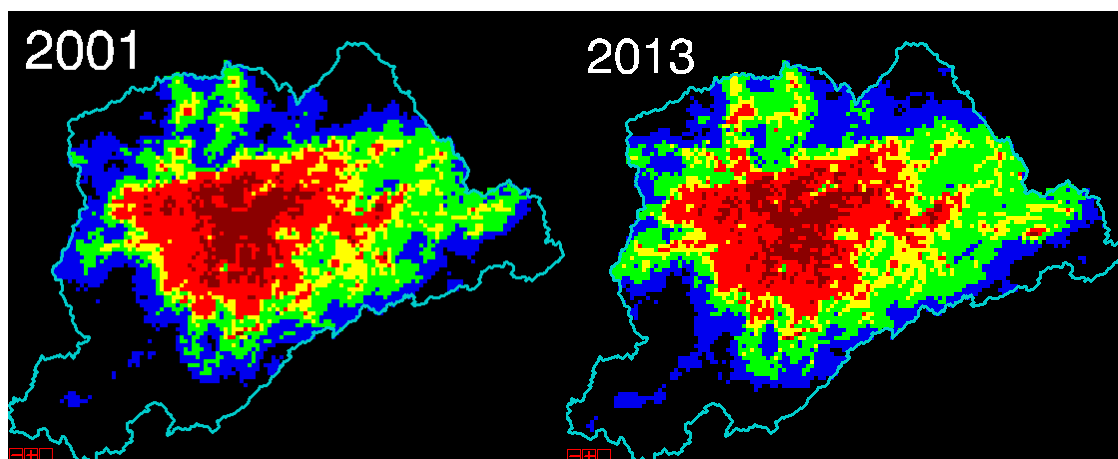


Figura 1 – Variação temporal da mancha urbana na Área Metropolitana de São Paulo, por meio do índice VANUI.

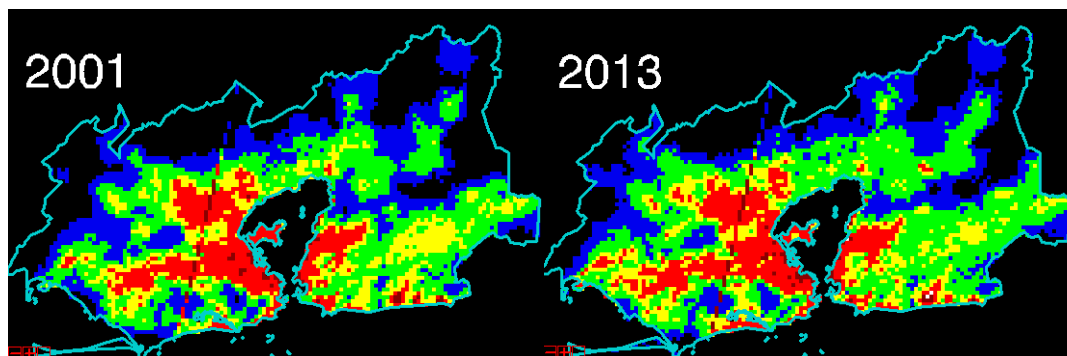


Figura 2 – Variação temporal da mancha urbana na Área Metropolitana de Rio de Janeiro, por meio do índice VANUI.

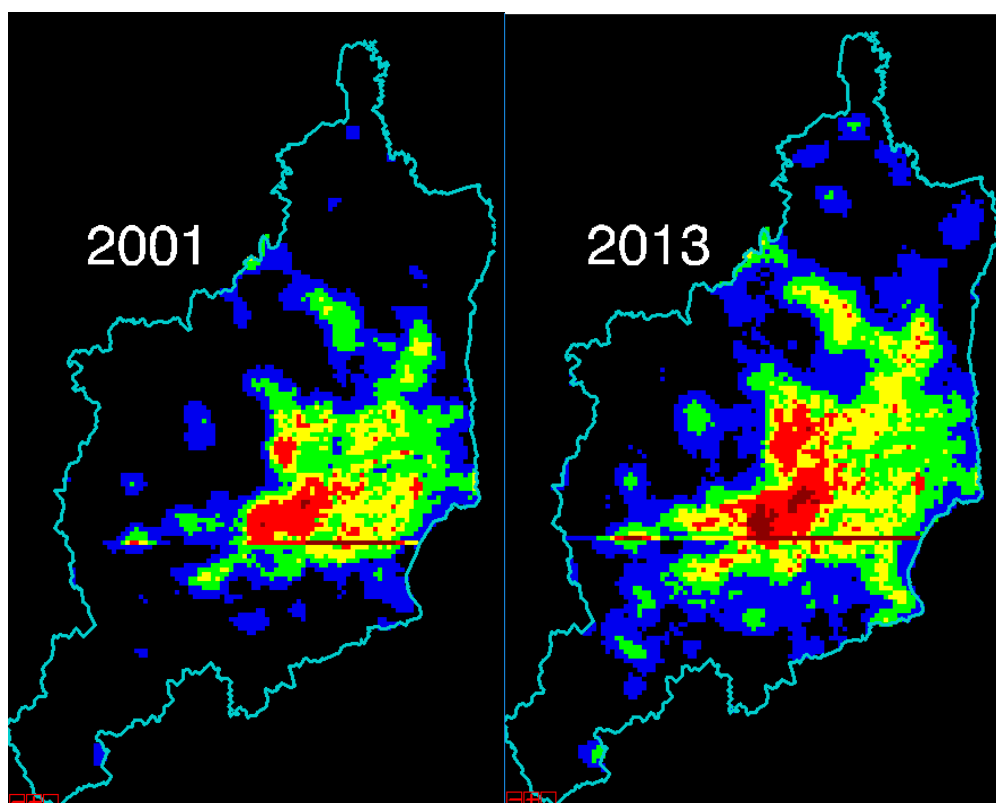


Figura 3 - Variação temporal da mancha urbana na Área Metropolitana de Belo Horizonte, por meio do índice VANUI.

Os crescimentos observados foram consideráveis para o período de 13 anos, principalmente no caso de Belo Horizonte. No processo de cálculo de área pela ferramenta ROI, São Paulo apresentou crescimento de 620 km² no período estudado, enquanto a Região Metropolitana do Rio de Janeiro mostrou um aumento de 386 km². Já a Região Metropolitana de Belo Horizonte apresentou um crescimento de 2.030 km², valor este que apresenta maior destaque comparado aos outros, o que pode ser explicado pelo fato de Belo Horizonte ser uma cidade relativamente nova, comparada com São Paulo e Rio de Janeiro. Isso faz com que o seu processo de urbanização seja mais recente e dessa forma, mais notável no período estudado, aliado à sua posição geográfica, que permite crescimento para todos os lados, já que não é uma cidade litorânea.



Figura 4 – Crescimento observado em todo o período - RMSP.

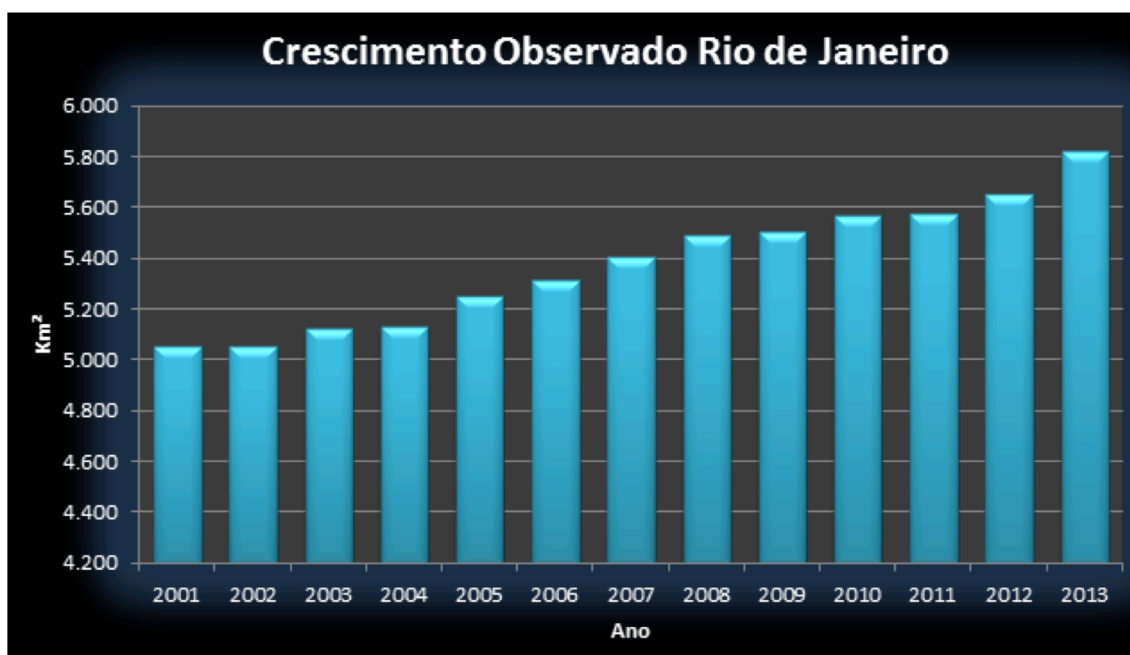


Figura 5 – Crescimento observado em todo o período – RMRJ.

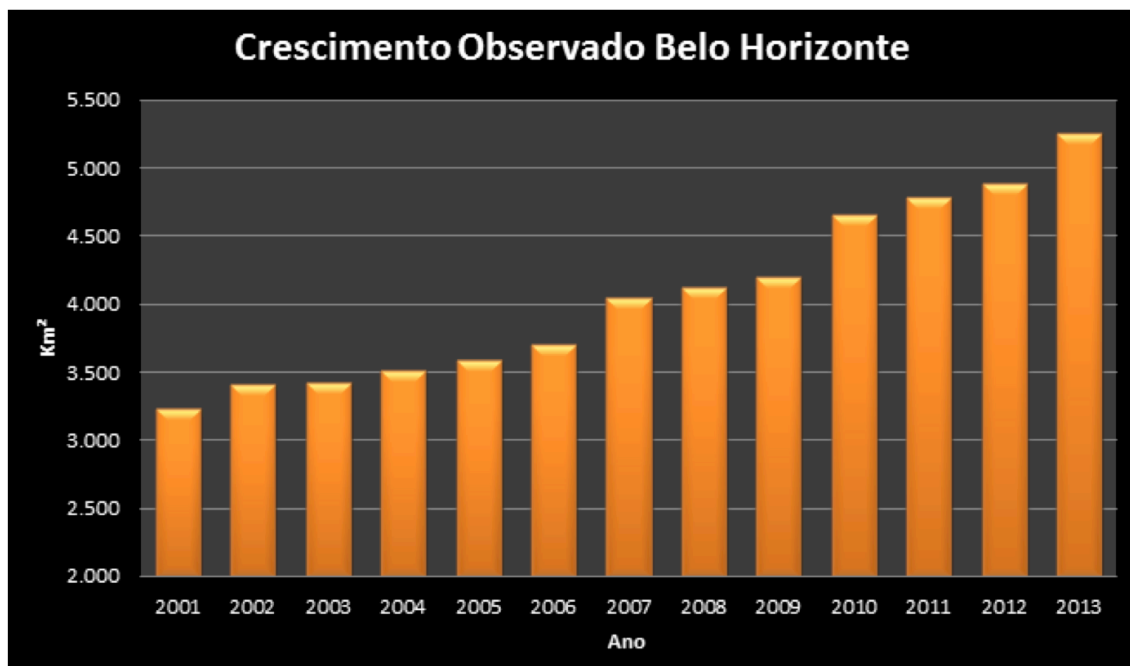


Figura 6 – Crescimento observado em todo o período - RMBH.

Vários aspectos devem ser levados em conta a partir desses resultados. Baptista e colaboradores (2015) observaram crescimento na cidade de Brasília por meio da aplicação do índice VANUI, em período semelhante ao dessa pesquisa. Porém, no caso de região metropolitana de Brasília, a história da cidade e do território analisado é bem diferente das cidades dessa pesquisa, pois Brasília é uma cidade muito nova e com alta taxa de urbanização por causa do crescimento de suas cidades satélites. Tânia Maria (2013) observou a evolução contínua da mancha urbana de Brasília entre os anos de 2000 e 2007, que ocorre de forma desorganizada e muitas vezes na ilegalidade.

As imagens de luz noturna também foram utilizadas para a análise do crescimento da mancha urbana na China, por Z. Liu e colaboradores (2012), porém em sua pesquisa eles não usaram o índice VANUI e sim a correção das imagens de NTL por 3 passos, intercalibração, composição interanual e correção das séries. Os resultados obtidos demonstraram aumento na mancha urbana, revelando a eficácia do uso da luz noturna para pesquisas de crescimento urbano.

Zhang (2013) comprovou a eficácia do índice VANUI para a diminuição da saturação da mancha urbana, podendo ser aplicado como uma nova ferramenta na análise do crescimento urbano. Porém o acesso às imagens de luz noturna é restrito a poucos anos, tornando as comparações temporais longas impossíveis de serem feitas com o satélite OLS. Nos casos de cidades antigas como Rio de Janeiro e São Paulo isso pode comprometer a visualização do crescimento no espectro temporal maior.

6. Conclusão

O presente estudo demonstrou ser possível a utilização de dados de luz noturna do satélite DMSP-OLS para determinar o crescimento da mancha urbana ao ser aplicado o índice VANUI para diminuir a saturação das imagens.

Os dados apresentaram confiabilidade e é possível perceber crescimento das manchas urbanas nas três regiões metropolitanas analisadas, o que demonstra a eficiência do uso da luz noturna para tal.

A avaliação da mancha urbana de grandes cidades permite prever cenários de crescimento futuro. Mais pesquisas explorando a capacidade dos dados de luz noturna devem ser incentivadas.

7. Referências Bibliográficas

Baptista, G. M. M. **Geração de Cenários de Crescimento da Mancha Urbana da Área Metropolitana de Brasília por meio da Serie Histórica DMSP-OLS de Dados de Luz Noturna**. 2015. Monografia (Especialização em Inteligência de Futuro) – Núcleo do Futuro, Universidade de Brasília, Brasília – DF.

Conselho de Arquitetura e Urbanismo do Brasil. **CAU BR**. Disponível em:
<http://arquiteturaurbanismotodos.org.br/>

Da Veiga, José Eli. São Paulo Metrópole. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, n. 17, p. 160-161, 2005.

Deák, Csaba; Schiffer, Sueli Terezinha Ramos. **O processo de urbanização no Brasil**. Edusp, 1999.

Weier, John. **Bright Lights Big City**. Nasa, 2000. Disponível em:
<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Lights/>

Elvidge, C. D., Imhoff, M. L., Baugh, K. E., Hobson, V. R., Nelson, I., Dietz, J. B. (2000). **Nighttime Lights of the World: 1994-95**. vii, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 24

Freitas, Tânia Maria de. **A expansão urbana no Distrito Federal e a dinâmica do mercado imobiliário: o caso do Gama**. 2013.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **IBGE**. Disponível em:
<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=330455>

Liu, Zhifeng et al. 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.

Nobre, Carlos A. et al. Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: Região Metropolitana de São Paulo. **Embaixada Reino Unido, Rede Clima e Programa FAPESP em Mudanças Climáticas**, 2010.

Rouse, J. W.; Haas, R.H., Schell, J.A.; Deering, D.W. **Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS**. In: Proceeding of ERTS-1 Symposium. Anais... NASA, United States, n. 3. p. 309-317, 1973.

Somekh, Nadia; Gagliotti, Guilherme. Metrópole e verticalização em São Paulo: exclusão e dispersão. **Anais: Encontros Nacionais da ANPUR**, v. 15, 2013.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, PNUD. **Atlas do Desenvolvimento Humano nas Regiões Metropolitanas Brasileiras**. – Brasília: PNUD, Ipea, FJP, 2014.

USGS. **Vegetation Indices Monthly L3 Global 1 Km**. Disponível em:
https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table/mod13a3. Acesso em 02 de maio de 2016.

Zhang, Q., Seto, K. C. (2011). **Mapping urbanization dynamics at regional and global scales using multi-temporal DMSP/OLS nighttime light data**. *Remote Sensing of Environment*, 115, 2320–2329

Zhang, Qingling; SCHAAF, Crystal; SETO, Karen C. The vegetation adjusted NTL urban index: A new approach to reduce saturation and increase variation in nighttime luminosity. **Remote Sensing of Environment**, v. 129, p. 32-41, 2013.