



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB
IG/ IB/ IQ/ FACE-ECO/ CDS
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO DE ÁREAS URBANAS BRASILEIRAS E
SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS POR MEIO DA INTEGRAÇÃO
DOS ÍNDICES NTL E NDVI**

CÍNTIA ALVIM LAGE

BRASÍLIA – DF
DEZEMBRO/2016

CÍNTIA ALVIM LAGE

**AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO DE ÁREAS URBANAS BRASILEIRAS E SEUS
IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS POR MEIO DA INTEGRAÇÃO DOS ÍNDICES
NTL E NDVI**

Monografia apresentada ao curso de graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Brasília como requisito parcial para obtenção de grau de bacharel em Ciências Ambientais, sob orientação do professor Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista.

BRASÍLIA – DF
DEZEMBRO/2016

LAGE, Cíntia Alvim.

AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO DE ÁREAS URBANAS BRASILEIRAS E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS POR MEIO DA INTEGRAÇÃO DOS ÍNDICES NTL E NDVI.

Orientação: Gustavo Macedo de Mello Baptista.

42 páginas.

Projeto final em Ciências Ambientais – Consórcio IG/ IB/ IQ/ FACE-ECO/ CDS – Universidade de Brasília.

Brasília – DF, 2016.

1. NTL – 2. VANUI – 3. Crescimento Urbano – 4. São Paulo – 5. Rio de Janeiro – 6. Belo Horizonte.

**AVALIAÇÃO DA EXPANSÃO DE ÁREAS URBANAS BRASILEIRAS E SEUS
IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS POR MEIO DA INTEGRAÇÃO DOS ÍNDICES
NTL E NDVI**

Cíntia Alvim Lage

Prof. Orientador: Gustavo Macedo de Mello Baptista

Brasília – DF, 14 de dezembro de 2016.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista (Orientador)

Instituto de Geociências da Universidade de Brasília

Prof. Dr. Maurício de Carvalho Amazonas (Avaliador1)

Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília

**Dedico esse trabalho aos meus familiares e amigos, que
sempre me apoiaram.**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente ao meu professor e amigo Gustavo Baptista, por ter me aceitado desde 2014 em seu grupo de pesquisa e ter confiado no meu trabalho, me proporcionando ótimas oportunidades acadêmicas além de conversas muito frutíferas sobre a vida.

A Marcell Terra e ao Khalil Ganem, que me ajudaram imensamente a desenvolver essa pesquisa e sempre me apoiaram nos momentos de dificuldade e nas madrugadas sem dormir.

Ao Coordenador Pedro Zuchi por ter acreditado em mim, pelas palavras doces em momentos difíceis e pela ajuda e disposição.

A minha família e amigos pelo apoio e compreensão durante toda essa trajetória e por toda a vibração positiva nas minhas conquistas.

RESUMO

O presente estudo tem o objetivo de analisar o crescimento da mancha urbana nas regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, usando os dados do satélite DMSP (*Defense Meteorological Satellite Program*) que tem o sensor OLS (*Operational Linescan System*), combinados com os dados de NDVI do sensor MODIS. Cenas do período de 2001 a 2013 foram adquiridas para as três áreas metropolitanas e pelo uso de métodos de processamento remoto, tiveram o crescimento de suas manchas urbanas analisado. A saturação proveniente dos dados de luz urbana foi corrigida com o índice VANUI, que correlaciona os dados de vegetação com os de luz noturna. Os resultados mostraram uma tendência de crescimento nas três regiões metropolitanas estudadas, especialmente no caso de Belo Horizonte. Esses crescimentos foram mais observados nas bordas das metrópoles, indicando uma periferização desses centros urbanos. Conurbações entre os municípios também foram observadas. Esse estudo pode ajudar a prever mudanças futuras na paisagem assim como incentivar o uso de luz noturna para estudos futuros. Os dados de luz noturna se mostraram úteis em estudos relativos a áreas urbanas, quando os mesmos são aplicados com o índice VANUI.

Palavras-chave: NTL; VANUI; Crescimento Urbano; São Paulo; Rio de Janeiro; Belo Horizonte.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Mancha urbana vista por satélite da cidade de São Paulo	16
Figura 2 - O Espectro Eletromagnético e seus respectivos comprimentos de onda, dados em nanômetros	21
Figura 3 - Obtenção de Imagens por Sensoriamento Remoto	22
Figura 4 - Curvas Espectrais de Diferentes Alvos	23
Figura 5 - Demonstração das Operações Aritméticas Validando Pixel a Pixel	23
Figura 6 - Localização das áreas de estudo	24
Figura 7 - Fluxograma dos métodos aplicados	24
Figura 8 - Disposição das cenas MODIS	25
Figura 9 - Imagem NTL do planeta	27
Figura 10 - Legenda do fatiamento com os valores correspondentes aos pixels	28
Figura 11 - Variação temporal da mancha urbana na área metropolitana de São Paulo, por meio do índice VANUI	29
Figura 12 - Gráfico demonstrando o crescimento observado por todo o período - RMSP	29
Figura 13 - Variação temporal da mancha urbana na área metropolitana do Rio de Janeiro por meio do índice VANUI	30
Figura 14 - Gráfico demonstrando o crescimento observado em todo o período - RMRJ30	30
Figura 15 - Variação temporal da mancha urbana na área metropolitana de Belo Horizonte, por meio do índice VANUI	31
Figura 16 - Gráfico demonstrando o crescimento observado em todo o período - RMBH	32

ÍNDICE DE QUADROS E TABELAS

Tabela 1 - Características do sensor MODIS	26
Tabela 2 - Características do dados NTL	26

SUMÁRIO

1	Introdução	11
1.1	Objetivo Geral	12
1.2	Objetivos Específicos	12
2	Referencial Teórico	13
2.1	Urbanização e crescimento urbano	13
2.2	Metrópole	14
2.3	Processos de periferização	14
2.4	A dinâmica populacional brasileira	16
2.5	Conurbação e Mancha urbana	16
2.6	Desenvolvimento Sustentável.....	17
2.7	Sensoriamento Remoto	18
2.7.1	Índices Espectrais (NDVI, VANUI)	21
3	Área de Estudo	22
3.1	Região Metropolitana de São Paulo.....	22
3.2	Região Metropolitana do Rio de Janeiro	23
3.3	Região Metropolitana de Belo Horizonte.....	23
4	Material e Métodos	24
4.1	Aquisição das imagens.....	25
4.2	Pré-Processamento dos Dados.....	27
4.3	Processamento.....	27
4.4	Fatiamento das imagens.....	27
5	Resultados e Discussão	28
5.1	Região Metropolitana de São Paulo	29
5.2	Região Metropolitana do Rio de Janeiro	30
5.3	Região Metropolitana de Belo Horizonte	31
6	Conclusão	37
	Referências Bibliográficas	38

1 INTRODUÇÃO

A crescente urbanização resulta em elevadas taxas de supressão vegetal e traz consigo um intenso fluxo populacional, contribuindo para a formação das chamadas regiões metropolitanas. 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 predizer 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*) que produzem as imagens em 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.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a relação entre o Crescimento da mancha urbana e os seus impactos socioambientais utilizando dados de luz noturna pelo índice VANUI nas metrópoles de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar a mancha urbana e suas possíveis causas de acordo com a respectiva cidade;
- b) Comparar o crescimento populacional com o crescimento da mancha urbana nas cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 URBANIZAÇÃO E CRESCIMENTO URBANO

Grandes números de pessoas vivendo próximas, o que os sociólogos e demógrafos chamam de densidade populacional, é o marco para as chamadas áreas urbanas. A urbanização é a passagem do campo para o urbano e é um fenômeno que acontece no mundo inteiro, tendo seu marco inicial após a primeira revolução industrial. Com a industrialização dos países, ocorre o êxodo rural, que nada mais é do que o movimento de pessoas em busca de emprego do campo para a cidade. Esse processo desenvolve organismos urbanos que possuem uma gama de atividades que as áreas rurais não seriam capazes de oferecer ou duplicar (BLUESTONE et al, 2008).

A definição de áreas urbanas geralmente se baseia em um mínimo populacional, que pode variar entre limites mínimos de 200 a 20.000 habitantes, de acordo com a divisão estatística da ONU em 2008. Mas essa definição pode variar dependendo de cada governo e de suas designações estabelecidas, entre quantitativo e qualitativo. O urbano é um processo social e espacial, com elementos da cidade e do campo, e difere do adjetivo da cidade por esses motivos (Martine, 2012).

Crescimento urbano diferencia-se de urbanização, pois seu conceito diz respeito apenas ao crescimento físico e populacional e não ao fenômeno da urbanização causada pela industrialização e pelo êxodo rural. O crescimento urbano pode ocorrer quando pessoas que já vivem em cidades resolvem se mudar para cidades maiores ou mais economicamente atrativas, buscando oportunidades de emprego, estudo, etc.

O crescimento urbano rápido pode levar a sobrecarga das cidades, gerando dificuldades para o desenvolvimento de infraestruturas necessárias, o que acarreta em consequências negativas no gerenciamento de recursos ambientais (UNEP, 2011).

No Brasil, a urbanização teve o seu pico na década de 70. Nesse período houve uma inversão em que a maioria da população que antes vivia no campo passou a viver nas cidades. A urbanização exerce pressões nos recursos essenciais como o fornecimento de água doce, o tratamento do esgoto e o acesso à saúde pública. Essas pressões afetam mais duramente a população de baixa renda, que

acaba sendo alvo de uma expansão socialmente separadora que se transforma em “periferização”(UNEP, 2011).

Haughton e Hunter (2003) acreditam que o futuro será predominantemente urbano e as preocupações ambientais da maioria das pessoas serão as relacionadas aos ambientes urbanos.

2.2 METRÓPOLE

O processo de urbanização resulta nas metrópoles, que são a forma mais contemporânea do urbano. As metrópoles podem ser caracterizadas pela centralidade e pela influência hierárquica sobre uma rede urbana. A metrópole é a cidade de maior porte que contém uma concentração de serviços e se torna centro de influência cultural, política e econômica (BLUESTONE et al., 2008).

De acordo com Bluestone e demais autores (2008) as áreas metropolitanas podem ser classificadas de duas formas: micropolitanas estatísticas (área urbana com pelo menos um aglomerado entre 10.000 e 50.000 habitantes) e metropolitanas estatísticas (grandes áreas urbanas com pelo menos um aglomerado com mais de 50.000 habitantes).

As áreas metropolitanas convergem natureza e cultura; espaços naturais e não edificados com espaços artificializados e construídos; coletivo e privado; numa heterogeneia homogênea (Martine, 2012). A região metropolitana é formada por um conjunto definido de municípios que funcionam de forma articulada, muitas vezes anulando fronteiras político-administrativas. Por esse motivo é possível encontrar desigualdades estruturais entre os municípios de regiões metropolitanas. A cidade principal de uma região metropolitana acaba ditando as regras da dinâmica populacional.

2.3 PROCESSOS DE PERIFERIZAÇÃO

As transformações urbanas acontecem a todo o momento. As cidades são organismos vivos e dinâmicos em suas contradições e disputas entre melhores lugares e valorizações. É possível perceber desigualdades estruturais entre os municípios de uma região metropolitana e essas desigualdades podem se transformar em injustiças nos limites territoriais. As populações mais carentes se dirigem para municípios que possuem uma terra mais acessível economicamente. Esses

municípios possuem terras mais baratas pelo fato de suas infraestruturas serem mais precárias e dessa forma suas habitações menos dignas. Essa vulnerabilidade socioambiental, proveniente das desigualdades socioespaciais, acarreta no processo de periferização (MARTINE, 2012).

A periferização é uma expansão desordenada de moradias precárias, que resulta em uma exposição maior de seus habitantes a riscos ambientais como enchentes, deslizamentos de terra e desmoronamentos. Isso ocorre porque geralmente as periferias são localizadas em áreas ambientalmente sensíveis, como topos de morros e encostas. Esses setores periféricos espalham-se por áreas inapropriadas e reúnem populações miseráveis que não tem acesso a padrões mínimos de bem-estar.

Brito e Souza (2005) analisaram o crescimento da população que vive nas periferias. Segundo eles, as periferias tiveram entre os anos 70 e 80 um crescimento chamativo que ainda se mantém alto, apesar de terem sofrido um declínio com o impacto da redução da fecundidade e das migrações. Os autores constataram que nas últimas décadas a velocidade do crescimento das periferias permaneceu em torno de 3%.

2.4 A DINÂMICA POPULACIONAL BRASILEIRA

A população mundial atingiu a marca de sete bilhões de pessoas em 2011, sendo que a maioria desses sete bilhões reside em áreas urbanas. É estimado que nas próximas quatro décadas as cidades absorvam praticamente todo o crescimento da população mundial. Porém, o processo de mudança de áreas rurais para as grandes cidades não ocorre uniformemente nas diferentes regiões do planeta (MARTINE, 2012).

Em 1940, um indivíduo em cada oito vivia em cidades. Já no século XXI, a média é metade da população do planeta vivendo em ambientes urbanos. Esse crescimento urbano é notável particularmente nos países em desenvolvimento. Isso se deve ao fato de que, nos países menos desenvolvidos, o êxodo rural e a transformação de áreas rurais em assentamentos urbanos são fatores determinantes para o aumento geral do número de moradores nas cidades.

O Brasil não foge à regra mundial observada. As taxas de crescimento urbano no Brasil são maiores que as de crescimento geral da população. Em 1940 apenas

30% dos brasileiros viviam em cidades enquanto nos anos 2000 esse percentual excedia 80% da população (BURSZTYN, 2012).

Como mostram Brito e Souza (2005) o caso brasileiro teve uma velocidade considerável no processo de urbanização, muito superior à dos países capitalistas avançados. Segundo os autores, a maior parte do crescimento demográfico urbano no Brasil foi por causa do intenso fluxo migratório rural-urbano. Dessa forma, definiu-se um novo perfil para a sociedade brasileira com a redistribuição da população favorável as cidades e especialmente as metrópoles. Os autores notaram uma certa tendência no processo de urbanização no Brasil, a simultaneidade da urbanização com metropolização. Existe uma notável tendência a um maior crescimento dos municípios periféricos comparados às grandes capitais.

2.5 CONURBAÇÃO E MANCHA URBANA

As cidades brasileiras crescem de forma muito característica ao crescimento encontrado na América Latina, horizontalmente. Elas crescem em área e população. Esse crescimento urbano resulta em uma conurbação, que é a união física entre cidades. O crescimento urbano resulta no crescimento da mancha urbana, pois é um crescimento horizontal que transforma áreas verdes e campos em vastas manchas acinzentadas (BLUESTONE et al., 2008).

De acordo com Anderson et al (1976), as manchas urbanas são áreas edificadas com alta e baixa densidade, sendo elas áreas comerciais, residenciais, industriais, espaços urbanos abertos e áreas não edificadas com usos vinculados às áreas urbanas.

De acordo com Fialho (2012), a expansão da mancha urbana intensifica os fluxos interurbanos, além de incrementar a densidade da área construída.



Figura 1 - Mancha urbana vista por satélite da cidade de São Paulo

Fonte: Google Earth.

2.6 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

O termo Desenvolvimento Sustentável se tornou amplamente utilizado para enfatizar a necessidade de uma conquista simultânea de desenvolvimento sem deixar de lado os objetivos ambientais (MITLIN & SATTERTHWAITTE, 1996). Ele é composto pela junção de três temas centrais que formam o tripé da sustentabilidade, sendo eles: economia, meio-ambiente e sociedade. De acordo com o relatório de Brundtland (1987), ele é concebido como o desenvolvimento que satisfaz a necessidade das gerações presentes, sem comprometer as gerações futuras.

Uma das grandes preocupações para se alcançar o desenvolvimento sustentável é o crescimento da população. A visão comum é de que o volume populacional é um desafio para se chegar a um desenvolvimento que possa ser sustentável. Porém essa visão pode ser considerada malthusiana, ou seja, o problema da falta de recursos no planeta estaria ligado ao crescimento da população e, especificamente, a população pobre. Essa visão não reflete todo o quadro da dinâmica populacional.

As relações entre população e meio ambiente são muito complexas para serem classificadas de uma só forma. O seu entendimento é de suma importância para que os problemas que impedem o desenvolvimento sustentável sejam abordados de forma correta.

O estudo do crescimento urbano e suas implicações são essenciais para garantir um crescimento sustentável das cidades, aonde exista um manejo consciente dos recursos, uma redução das desigualdades sociais e da vulnerabilidade socioambiental, assim como adoção de medidas de adaptação para as mudanças que vão ocorrer inevitavelmente ao longo das próximas décadas (MARTINE, 2012).

2.7 SENSORIAMENTO REMOTO

No final dos anos 60, a humanidade passou a ter um grande aliado para o entendimento da dinâmica terrestre: as missões espaciais e a implantação de um sistema de satélites para o sensoriamento remoto da Terra. Esse progresso possibilitou o monitoramento integrado dos vários processos atmosféricos e climáticos, o que providenciou uma nova visão do planeta sob uma perspectiva global (TEIXEIRA et al., 2009).

As definições de Sensoriamento Remoto são diversas na literatura. Novo (2008) define Sensoriamento Remoto (SR) como sendo a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processar e transmitir dados colocados a bordo de aeronaves ou outras plataformas, visando estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta a partir do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações.

A captação das imagens de satélite é possível devido à interação da radiação solar com os alvos terrestres. Essa energia se propaga pelo vácuo na velocidade da luz através do campo eletromagnético. Ela pode ser definida como radiação eletromagnética (REM), que consiste em ondas eletromagnéticas de baixo comprimento de onda e altas frequências (ondas curtas). O espectro eletromagnético compõe os comprimentos de onda das radiações de raios gama a ondas de rádio e é dividido em bandas com seus intervalos de frequência (ROSA, 2009).

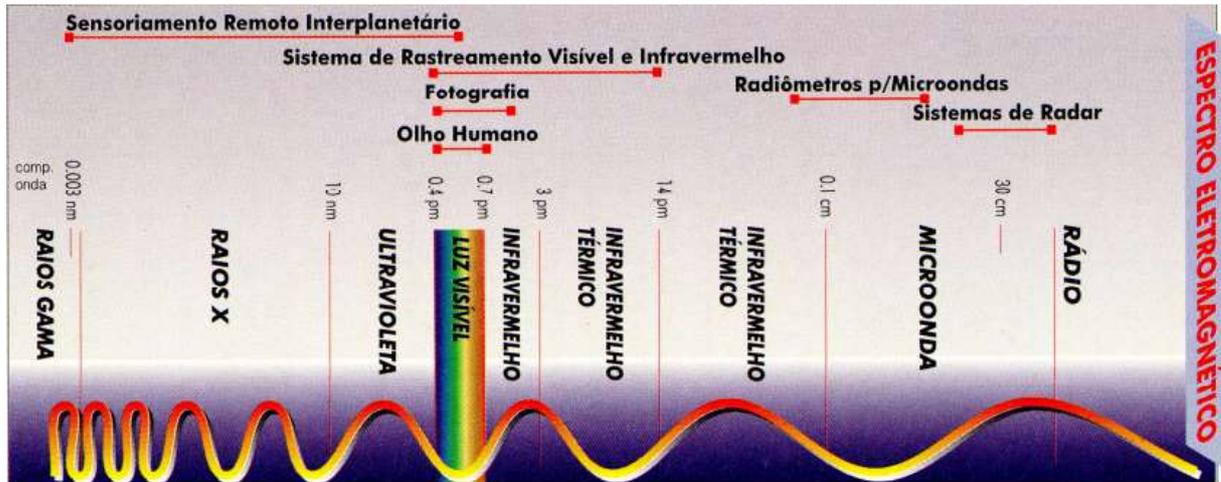


Figura 2 –O espectro eletromagnético com comprimentos de onda e suas representações.
Fonte: Moraes e Fiorio, 2002.

A atmosfera age como um filtro que absorve as radiações nocivas e partículas carregadas. Dessa forma, toda a radiação que chega à Terra sofre interferências da atmosfera.



Figura 3 – Obtenção de imagens por sensoriamento remoto.
Fonte: Florenzano, 2011.

As imagens de satélite têm características distintas a depender do seu satélite e sensor. Este trabalho utiliza dados da série histórica DMSP, que são obtidos pelo sensor OLS, um sistema que imageia com baixa intensidade de luz, podendo captar a face não iluminada da Terra apenas com a luz da Lua; e do sensor MODIS que foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para estes objetivos e uma cobertura global quase diária. (JUSTICE et al.,2002).

Curvas espectrais

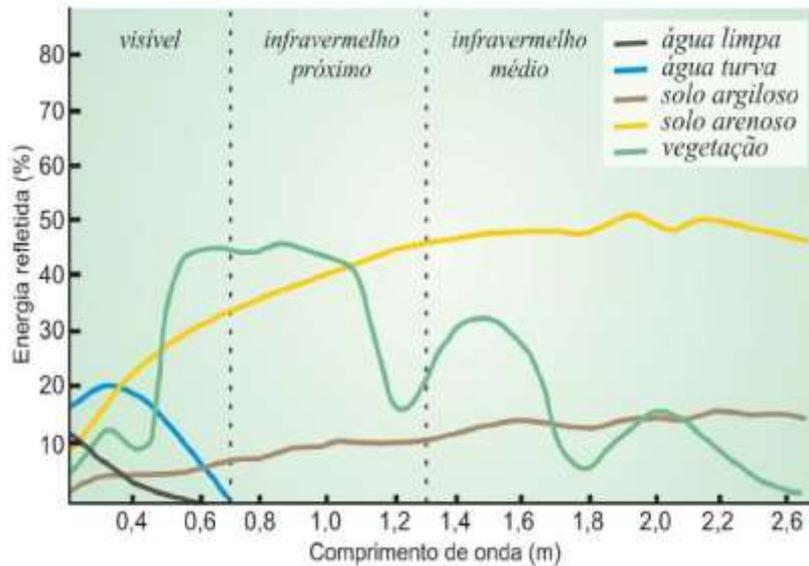


Figura 4 – Curvas espectrais de diferentes alvos.
Fonte: Florenzano, 2011.

O sensoriamento remoto se tornou uma ferramenta essencial para as pesquisas na geofísica por causa de sua abrangência nas várias áreas da ciência. O *software* ENVI[®], utilizado nessa pesquisa, é um *software* especializado no processamento das imagens de satélite. Nele é possível a realização de operações aritméticas com as diversas bandas das imagens.

As operações aritméticas são feitas através de formulações algorítmicas baseadas em transformações espectrais. Essas transformações são realizadas a partir da combinação de imagens e na geração de um produto distinto e acontecem *pixel a pixel* da imagem, ou seja, geram uma nova matriz de dados. É com as operações aritméticas que são aplicados os diversos índices, como índices de vegetação, de solo, de rochas a índices mais complexos como o VANUI.

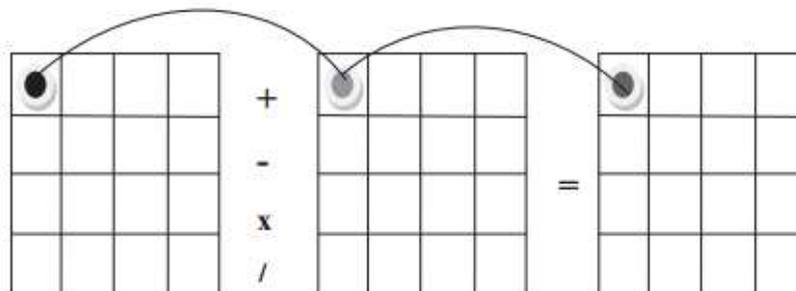


Figura 5 – Demonstração das operações aritméticas validando *pixel a pixel*.

Fonte: Meneses e Almeida, 2012.

2.7.1 ÍNDICES ESPECTRAIS

2.7.1.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – NDVI

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é o índice de vegetação mais utilizado atualmente, principalmente em análises temporais. Esse índice foi desenvolvido por Rouse em 1973 devido à necessidade crescente da época em análises espaciais da vegetação. O índice está diretamente relacionado com a atividade fotossintética das plantas, ou seja, sua capacidade de absorção de energia. Ele varia de -1 a +1 e quanto maior for o seu valor, maior o potencial produtivo da planta.

Rouse propôs a utilização das bandas 5 e 7 (banda do vermelho e infravermelho) de dados ERTS-1 (Landsat 1) para a quantificação das condições vegetais.

Para o cálculo do índice utiliza-se a fórmula a seguir:

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

Onde:

R_{NIR} = Banda do infravermelho próximo (*Near Infrared*).

R_{RED} = Banda do vermelho.

2.7.1.2 Vegetation Adjusted Normalized Urban Index – 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. O índice usa os dados de vegetação para corrigir a saturação proveniente das luzes noturnas. Ele é definido pela seguinte fórmula:

$$VANUI = (1 - NDVI) * NTL(2)$$

Onde:

NDVI = Índice de vegetação por diferença normalizada.

NTL = Night time light (Luz noturna).

3 ÁREA DE ESTUDO

A definição das áreas de estudo dessa pesquisa se deu em função de essas três regiões metropolitanas serem as mais populosas do Brasil, de acordo com os dados populacionais do censo de 2010, divulgado pelo IBGE.

Considerando a importância e a influência dessas áreas de estudo no território brasileiro, tanto em termos de crescimento urbano quanto em função dos impactos ambientais oriundos desse crescimento, foram descritas as características de maior relevância para essa pesquisa de cada Região Metropolitana (RM). Dessa forma, na descrição de cada RM consta sua área total, número de municípios, seu tamanho populacional e sua taxa de crescimento, assim como topografia e vegetação.

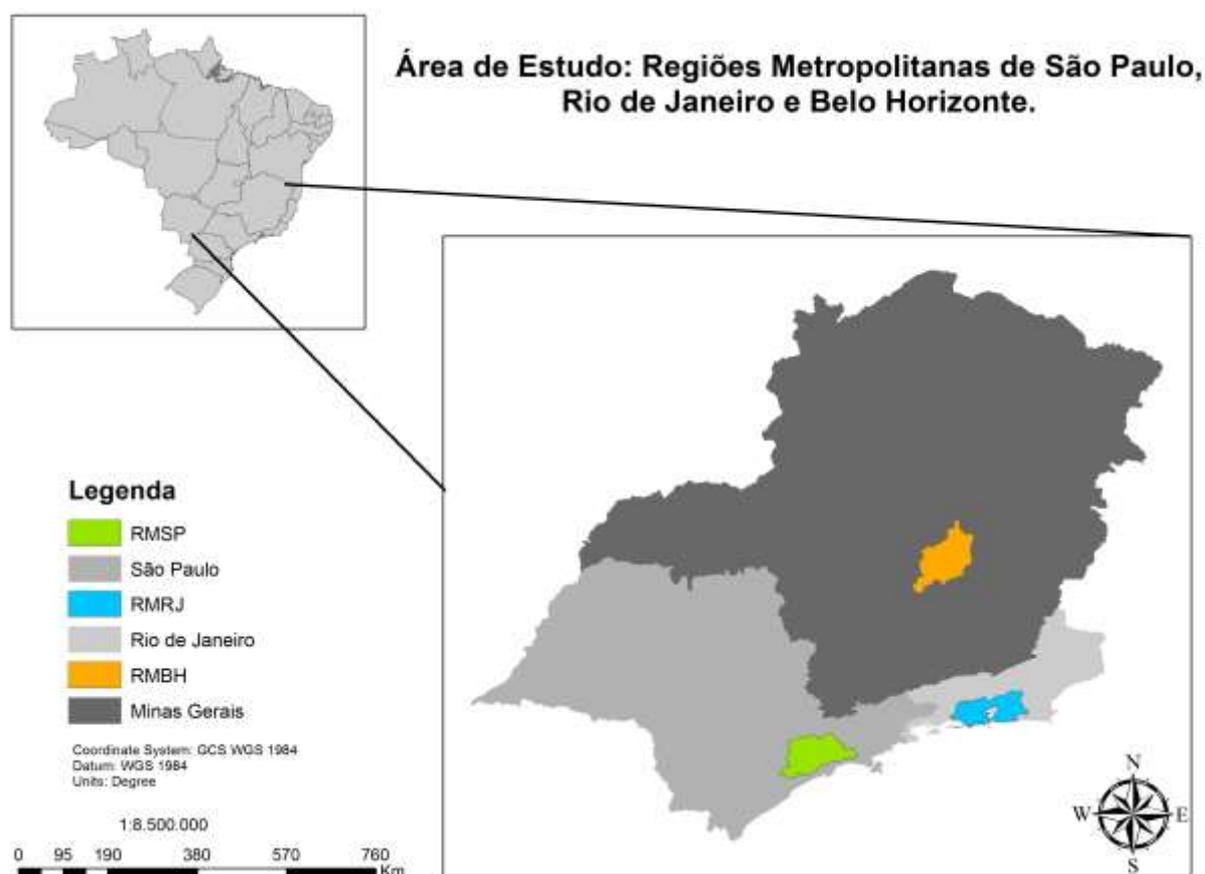


Figura 6 – Localização das áreas de estudo.

3.1 REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

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 (PNUD, 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).

São Paulo tem sua topografia marcada por colinas com alturas entre 600 e 900 metros. A cobertura vegetal no município, de acordo com o Atlas Ambiental desenvolvido pela Prefeitura Municipal de São Paulo, constitui-se, basicamente, por fragmentos da vegetação natural secundária, que ainda resistem ao processo de expansão urbana em diferentes localidades da região, por ambientes implantados em áreas urbanizadas e por terrenos isolados.

3.2 REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

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. 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 (PNUD, 2014).

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 é a capital do estado do Rio de Janeiro e é considerada a segunda maior cidade do Brasil, tanto em termos de densidade demográfica quanto em extensão territorial.

O município do Rio de Janeiro é caracterizado por sua topografia acidentada e extremamente diversa, com altos graus de declividade (DERECZYNSKIET al., 2008). Sua vegetação é composta por importantes fragmentos de Mata Atlântica.

3.3 REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

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 (2014).

A RMBH teve um grau de urbanização de 98,1% em 2010, sendo que $\frac{1}{4}$ 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%.

Belo Horizonte é uma cidade relativamente nova, com apenas 118 anos de idade. Sua importância tem aumentado ao longo dos anos no cenário brasileiro e da América Latina, podendo ser considerada um dos polos econômicos mais importantes do Brasil, atrás de São Paulo e Rio de Janeiro (BRITO & SOUZA, 2005).

A vegetação predominante em Belo Horizonte é característica do bioma Cerrado. A depressão de Belo Horizonte é caracterizada por colinas amplas e alongadas, variando entre 800 e 900 metros de altitude.

Em termos geológicos, cerca de 70% do território da capital mineira localiza-se na Depressão de Belo Horizonte, caracterizada pela existência de colinas amplas e alongadas em sua maior parte, em função do intenso processo de urbanização, o relevo original já foi bastante alterado por meio de escavações, aterros, construções de ruas e casas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O fluxograma a seguir sintetiza o que será explicado nos itens que seguem.



Figura 7 – Fluxograma dos métodos aplicados.

4.1 AQUISIÇÃO DAS IMAGENS

A obtenção das cenas do MOD13A3 foi realizada no *website* da NASA EOSDIS (*Earth Observing System Data and Information System*), *Reverb-Echo*. Esses dados são disponibilizados gratuitamente e contêm um índice de vegetação mensal com 1 km de resolução espacial. Eles são distribuídos em projeção sinusoidal, já corrigidos para os efeitos atmosféricos com os índices NDVI e EVI (*Enhanced Vegetation Index*– HUETE et al., 1997) já calculados.

As cenas do produto TERRA/MODIS MOD13A3 são disponibilizadas sem nuvens no formato a seguir:

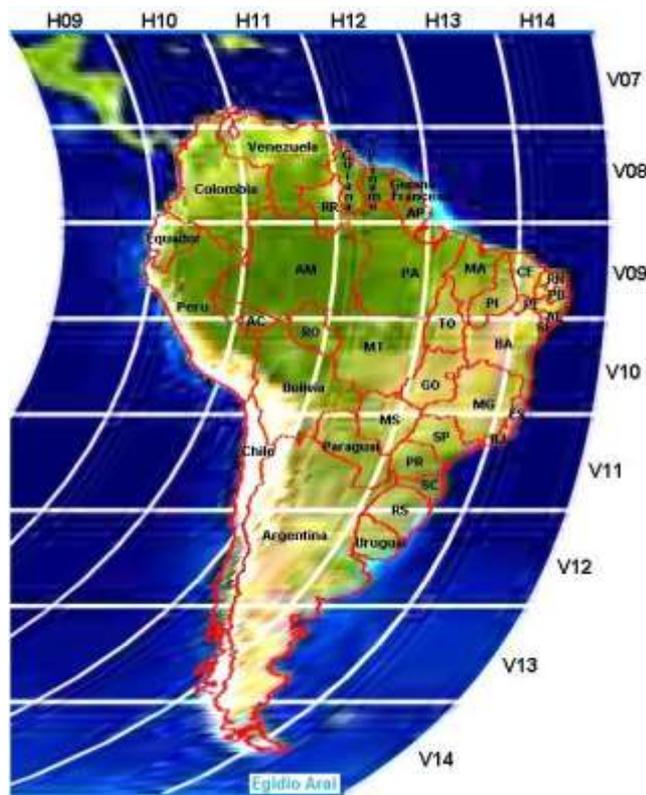


Figura 8 – Disposição das cenas MODIS

Fonte: INPE, 2015.

Para a realização dessa pesquisa, utilizaram-se 468 imagens de satélite do sensor MODIS, 156 imagens relativas a cada Região Metropolitana. Devido à disposição das imagens do produto MODIS, foi necessário realizar um mosaico das cenas para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro e de Belo Horizonte, pois apesar de serem áreas relativamente pequenas, as RMs se localizam bem na transição de duas cenas, no caso do Rio de Janeiro nas cenas V11/H14 e H13 e no caso de Belo Horizonte V10/H13 e V11/H13.

O sensor MODIS entrou em órbita em 18 de dezembro de 1999. Dessa forma, os dados mais antigos do sensor datam a partir de fevereiro de 2000. Isso restringiu a série histórica utilizada para o período de 2001 a 2013.

A tabela a seguir mostra as características e as informações básicas desse sensor:

Cobertura Temporal	18 de Fevereiro de 2000 - presente
Área	~ 10 x 10 lat/long
Tamanho do Arquivo	~0,15 – 20 MB
Projeção	Sinusoidal
Formato do Dado	HDF - EOS
Dimensões	1200 x 1200 linhas/colunas
Resolução	1 quilômetro
Conjunto de Dados Científicos (SDS HDF)	11

Tabela 1 – Características do sensor MODIS.

O sistema operacional OLS (*Operational Lynescam System*) gera imagens globais tanto diurnas quanto noturnas. Elas se apresentam em duas faixas do espectro eletromagnético – o visível e infravermelho termal. Os dados NTL, produzidos pelo OLS, foram obtidos no *website* do *National Geophysical Data Center* do NOAA (*National Oceanic Atmospheric Administration*). Eles são obtidos gratuitamente e são compostos por imagens anuais, livres de nuvens com uma série temporal de 1992 a 2013. Os dados NTL também têm restrição temporal, pois eles só têm disponibilidade até 2013.

A tabela a seguir mostra as características dos dados NTL:

Cobertura Temporal	1992 a 2013
Área	-180° a 180° long e -65° a 75° lat
Projeção	Geográfica
Formato do Dado	WGS84 EGM96
Resolução Espacial	30 arcos segundo ~ 1 quilômetro

Tabela 2 – Características dos dados NTL.

Os dados são disponíveis de duas formas, como média dos dados de luz estável e como média multiplicada pelo percentual de frequência de detecção da luz. O conjunto de dados escolhido foi o da média multiplicada, pois ele apresenta uma normalização e minimização das variações de luz, podendo ser considerado um NTL sem saturação, de acordo com Zhang et al. (2013). Foram necessárias 13 imagens

noturnas do sensor OLS, respectivas ao período de 2001 a 2013, para a produção deste trabalho.

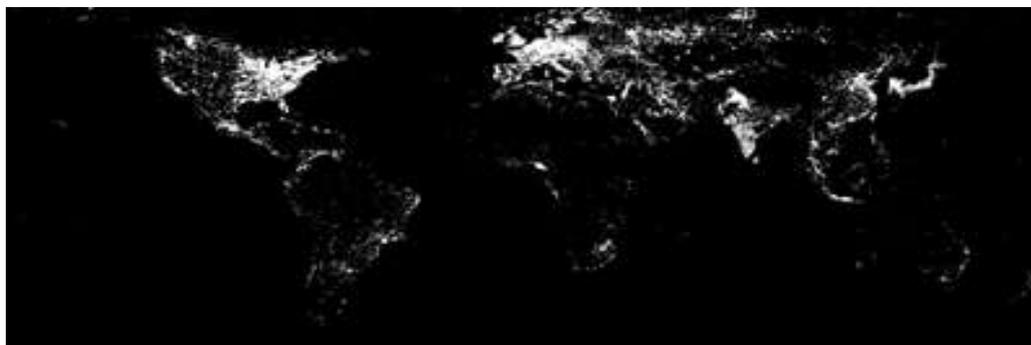


Figura 9 – Imagem NTL do planeta.

Fonte: NOAA, 2016.

4.2 PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS

Com as imagens escolhidas devem-se preparar os dados para iniciar o processamento. As etapas de pré-processamento realizadas foram o mosaico das cenas para as Regiões Metropolitanas do Rio de Janeiro e Belo Horizonte, seguido do corte da área de estudo que representa as RMs estudadas, pois as cidades se encontravam no meio de duas imagens, sendo necessário juntá-las.

4.3 PROCESSAMENTO

Os dados de NDVI são mensais, enquanto os de NTL são anuais. Para que a dimensão temporal trabalhada fosse a mesma, foi necessário fazer uma média aritmética anual dos dados MOD13A3, pelo *Bandmath* com o *software* ENVI. Esse mesmo procedimento foi adotado por Baptista (2015) e por Zhang e colaboradores (2013).

Os dados anuais de NTL foram normalizados pela divisão das imagens por 63, pois seus valores precisavam variar de -1 a 1, como os valores de NDVI, para assim se tornarem compatíveis com o VANUI. Após esse processo, as imagens foram redimensionadas de acordo com o *shape* da área metropolitana de cada região. O procedimento seguinte foi a aplicação do índice VANUI, descrito na equação 2, por meio do módulo *Bandmath* do ENVI®.

Após os devidos processamentos, os dados foram reduzidos a 13 imagens de média anual do NDVI para cada região metropolitana, o que constitui um total de 52 imagens.

4.4 FATIAMENTO DAS IMAGENS

Foi aplicada a ferramenta *Density Slice* para a classificação dos intervalos de valores dos *pixels*. Com essa ferramenta, são fixados valores de máximo e de mínimo, específicos para minimizar ruídos e captar o crescimento da série temporal. Após esse processo, foi designada uma cor para cada intervalo, correspondendo à legenda a seguir:

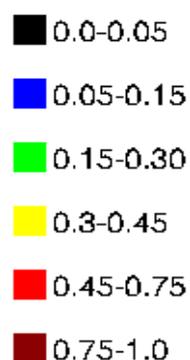


Figura 10 – Legenda do fatiamento com os valores correspondentes aos *pixels*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada cidade, será apresentado um mapa demonstrando o resultado do índice VANUI para os anos de 2001 a 2013, a título de comparação. Dessa forma é possível identificar como se deu a distribuição dos focos de luz noturna ao final do período analisado.

Além disso, um gráfico correspondente a cada Região Metropolitana estudada será mostrado, indicando a área total de focos de luz noturna identificados pelo índice por ano. Assim é possível avaliar melhor o crescimento em cada ano estudado.

Foi observado um padrão de crescimento nas três cidades, apesar da mudança visual ser pouco observável no caso do Rio de Janeiro. Em contrapartida, no caso RM de Belo Horizonte, a mudança visual foi bastante evidente. Outro comportamento comum verificado nas três regiões metropolitanas foi o padrão de crescimento centro-periferia, onde é possível perceber uma intensificação dos focos de luz noturna nesse sentido, com conseqüente ampliação da mancha urbana.

Pelo fato de as grandezas serem diretamente proporcionais, foi possível calcular por meio de estatística simples a porcentagem do crescimento de cada cidade.

5.1 REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO

Os resultados para a Região Metropolitana de São Paulo foram de crescimento da área total construída. Ao se analisar as imagens do período estudado e comparando os anos de 2001 e 2013, é possível perceber um crescimento considerável da mancha urbana. A parte em azul da imagem, que seria correspondente a regiões urbanizadas menos densas, em 2001 rodeava a mancha central com pequenos pontos isolados pelos municípios. Em 2013 a área em azul alcançou regiões que antes não eram “iluminadas”, por assim dizer.

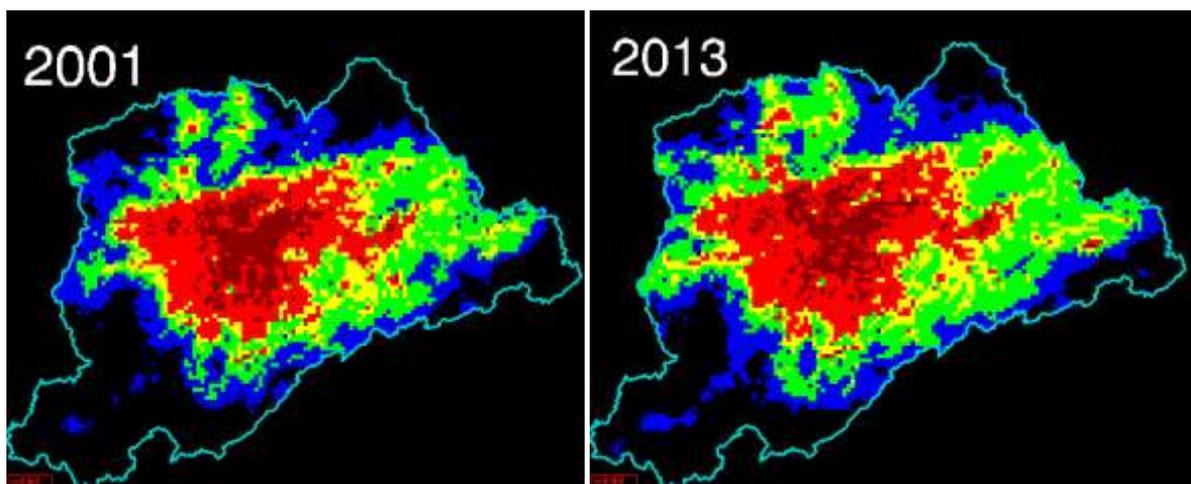


Figura 11 – Variação temporal da mancha urbana na Área Metropolitana de São Paulo, por meio do índice VANUI.



Figura 12 – Gráfico demonstrando o crescimento observado da área em todo o período – RMSP.

Foi observado também o fenômeno de conurbação dos municípios, pois as áreas antes construídas foram crescendo e se fundindo à mancha principal em vermelho. As partes em azul da imagem do ano de 2001 se transformaram em verde, o que indica uma incidência luminosa maior.

Nos cálculos para a RMSP, constatou-se que nesses 13 anos houve um crescimento de 19,68%. Este é um valor considerável, visto que São Paulo é uma das cidades mais antigas do Brasil e sua área já é bastante comprometida para crescimentos horizontais.

5.2 REGIÃO METROPOLITANA DO RIO DE JANEIRO

No caso do Rio de Janeiro, o crescimento urbano não foi tão aparente ao se comparar as imagens de 2001 e 2013. Porém, ainda assim é possível perceber um crescimento relevante ao se observar as bordas da mancha e principalmente a área em azul da imagem. Houve uma conurbação considerável entre os municípios Itaguaí e Paracambi.

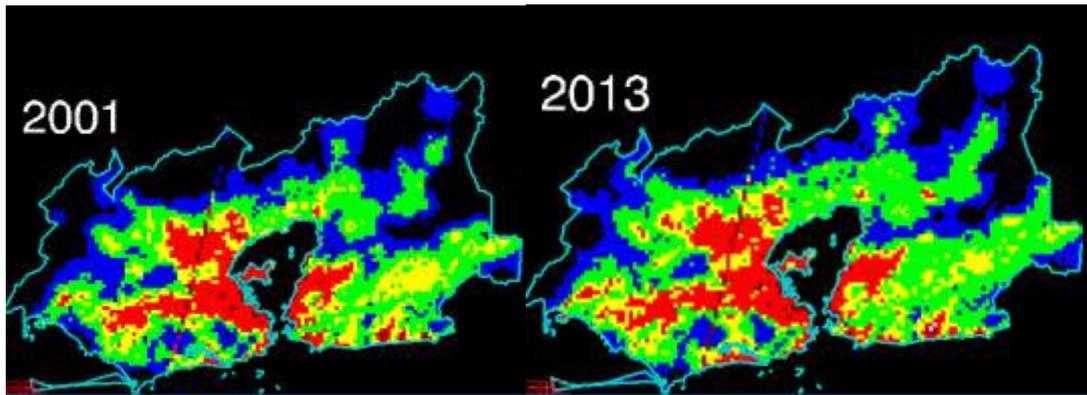


Figura 13 – Variação temporal da mancha urbana na Área Metropolitana de Rio de Janeiro, por meio do índice VANUI.



Figura 14 – Gráfico demonstrando o crescimento da área observado em todo o período – RMRJ.

Os cálculos estatísticos mostraram um crescimento de 15,10%. Esse crescimento é significativo para a RMRJ, visto que a cidade do Rio de Janeiro, assim como São Paulo, é uma cidade antiga, com pico de urbanização tendo acontecido antes de 2001. Outro fator que pode influenciar no crescimento horizontal da RMRJ seria a topografia dos municípios. 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.

5.3 REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

A análise dos resultados da RMBH também mostrou crescimento da mancha urbana, entretanto esse crescimento foi muito maior quando comparado com o crescimento das Regiões Metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro.

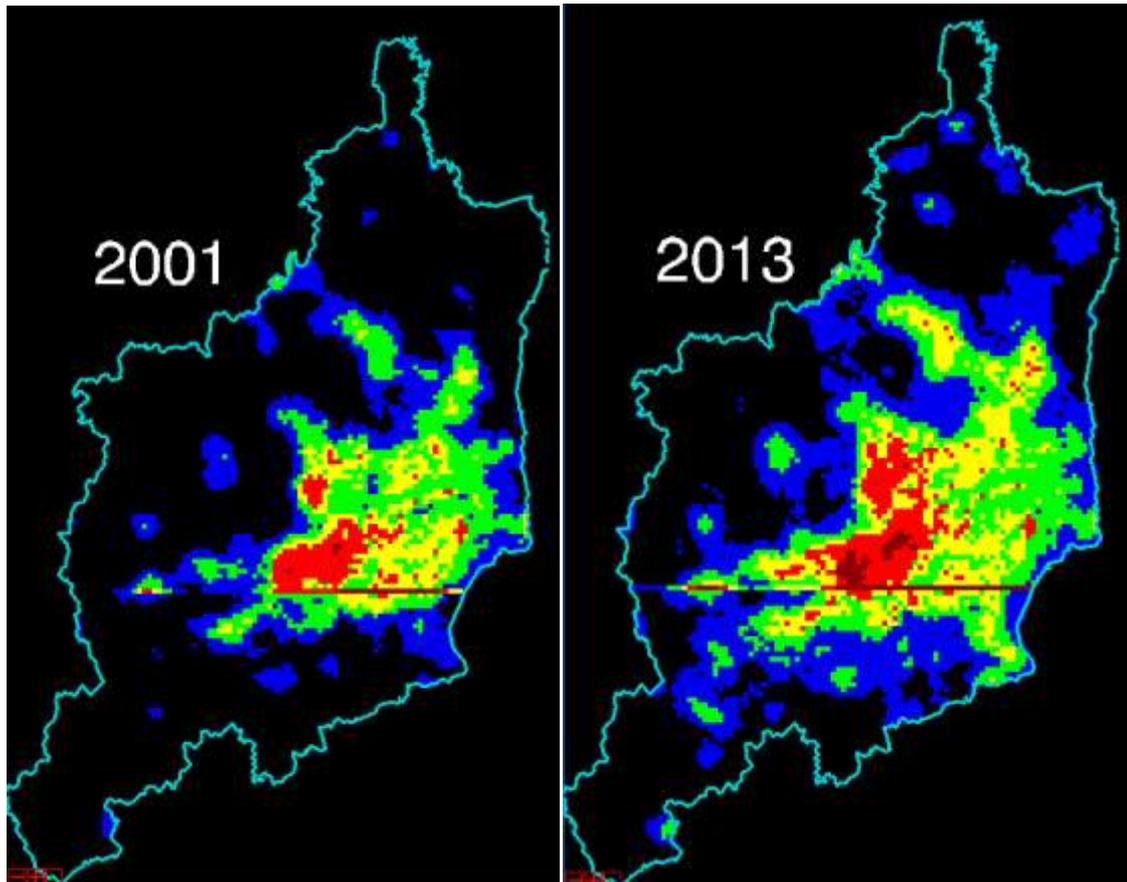


Figura 15 – Variação temporal da mancha urbana na Área Metropolitana de Belo Horizonte, por meio do índice VANUI.

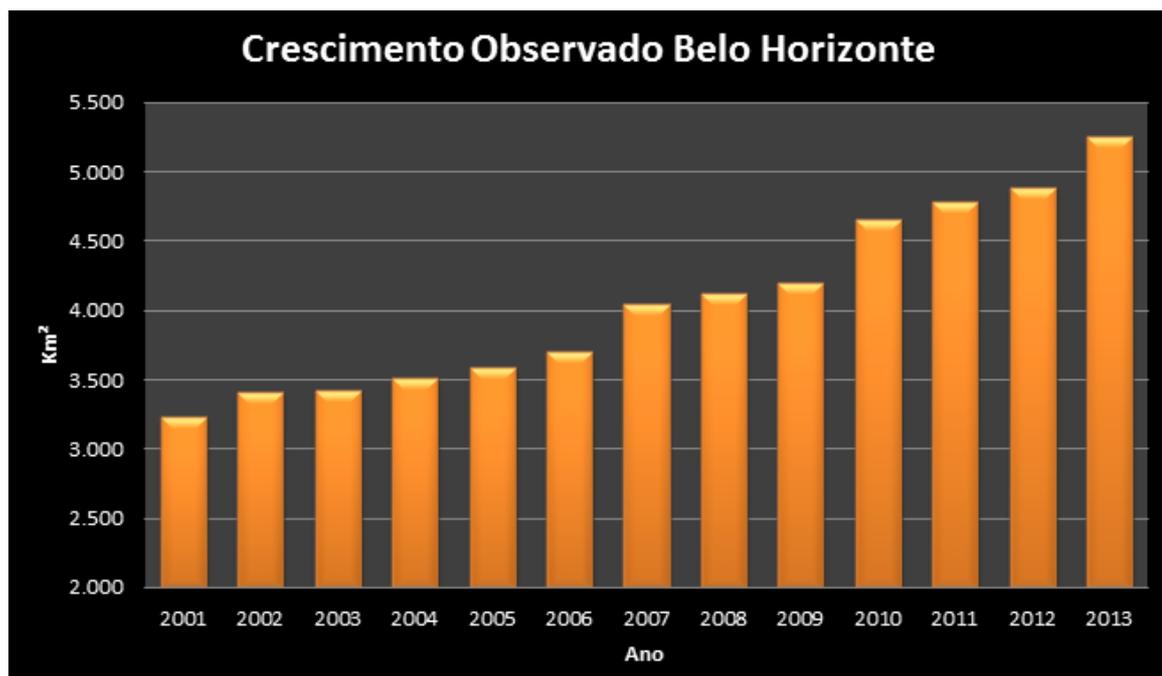


Figura 16 – Gráfico demonstrando o crescimento da área observado em todo o período – RMBH.

As imagens de 2001 e 2013 mostraram nitidamente esse crescimento, pois ao se analisar as cores azul e verde presentes na imagem, o seu aumento nesses 13 anos é bem aparente. Os cálculos estatísticos apresentaram um crescimento de 63%. Esse valor é bem alarmante para um período de apenas 13 anos, mas ao contrário de SP e RJ, Belo Horizonte teve sua urbanização mais tardia, e vem sofrendo várias mudanças ao longo desses últimos anos que podem explicar esse rápido crescimento.

Houve uma conurbação expressiva dos municípios da RM de Belo Horizonte no intervalo de tempo analisado.

5.4 DISCUSSÃO GERAL

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. No caso da Região Metropolitana de Brasília, a história da cidade e do território analisado é bem distinta das cidades estudadas nessa pesquisa, pois Brasília é uma cidade muito nova e com alta taxa de urbanização por causa do crescimento de suas cidades satélites. Freitas (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 três 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. Porém, o método utilizado por eles requer mais trabalho e conseqüentemente mais tempo.

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 as imagens de luz noturna têm um intervalo de tempo restrito, 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 em um espectro temporal maior.

Outro fato observado é a similaridade entre o comportamento do crescimento da mancha urbana e das ilhas de calor verificadas por Ganem e Terra-Oliveira (2014) para as cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte. Os autores constataram temperaturas mais elevadas no centro urbano das cidades, trazendo uma disposição centro-periferia como o visto nessa pesquisa. Os maiores focos de luz noturna que o VANUI identificou no centro corroboram com o padrão observado no estudo. É possível inferir que as maiores temperaturas indicam maior adensamento de construções e conseqüentemente maiores focos de luz noturna, sendo assim, um crescimento vertical notável.

O crescimento da mancha urbana das regiões analisadas é bem expressivo tendo em vista que o período temporal analisado compreende um intervalo de 12 anos. Terra-Oliveira e colaboradores (2016) observaram saturação nos dados de luz noturna ao aplicar o índice VANUI para a Reserva da Biosfera da Caatinga, fazendo a mancha parecer maior do que de fato era. Isso pode explicar uma possível superestimação dos dados para o crescimento da mancha urbana. Ainda assim, no caso da cidade de Belo Horizonte o crescimento é muito evidente nas imagens.

Belo Horizonte foi uma cidade planejada, com o seu crescimento esperado para até 200.000 habitantes, dentro de suas fronteiras. Entretanto, “a cidade cresceu sem planejamento em direção às áreas rurais e expandiu-se num ritmo muito acelerado por causa de contribuições políticas e decisões individuais” (PEREIRA COSTA, 2014). Brito e Souza (2005) mostraram que a expansão da capital de Belo Horizonte extrapolou suas fronteiras, invadindo os municípios vizinhos e metropolizando a segregação espacial da população de baixa renda.

Outro ponto a ser discutido é o aumento populacional das RMs ao longo desses 13 anos. Com os dados do censo de 2000 e 2010, foi possível perceber um aumento da população residente na RMSP de 1.805.272 habitantes. Com esse dado e o resultado obtido de crescimento de 19,68% da mancha urbana, é possível observar que grande parte desse crescimento físico foi verticalizado, já que para abrigar esse número de novos habitantes seria necessário mais área do que o que foi notado na pesquisa.

Somekh e Gagliotti (2013) adotaram um método para calcular a verticalização em São Paulo, sendo esse a quantificação de elevadores ao longo dos anos, com dados provenientes da prefeitura. Eles verificaram que até dezembro de 2011, a cidade de São Paulo contava com 63.893 elevadores e 26.621 edifícios, dos quais 2.873 foram construídos entre o período de 2004 e 2011. Sobre a RMSP, eles também observaram que “Desde o início dos anos 2000, percentualmente, a RMSP se verticalizou mais que a cidade de São Paulo, entre 2000 e 2011 houve um aumento de 319,79% no ritmo de verticalização na região”.

Ou seja, apesar do aumento populacional ter se aproximado de 2 milhões de pessoas na região, a verticalização acaba influenciando negativamente na captura de luz noturna pelo índice VANUI, uma vez que o índice não demonstra eficiência ao apontar o aumento da intensidade da luz noturna nas diversas regiões que sofreram

influência do fenômeno, já que não é possível obter uma informação precisa sobre essa verticalização com esse índice sozinho.

A verticalização de São Paulo expandiu-se pela Região Metropolitana sem produzir uma cidade compacta e o histórico processo de elitização do crescimento vertical não contribuiu para a redução de desigualdades (SOMEKH & GAGLIOTTI, 2013). Dessa forma, a criação de áreas urbanas de baixa densidade com restrições que impedem a verticalização fazem certas áreas ficarem muito inviáveis economicamente para fins habitacionais, estimulando ainda mais a elevação dos preços imobiliários nas áreas urbanas centrais mais disputadas, o que induz ao crescimento da mancha urbana (MARTINE, 2012). Com essas constatações infere-se que há um agravamento da periferização, pois essas áreas ficam mais disputadas e mais caras excluindo a população pobre.

Já no caso da RMBH, o crescimento populacional observado foi de 595.413 habitantes. Com os dados obtidos nessa pesquisa, esse crescimento populacional leva a crer que grande parte foi em forma de urbanização horizontal, já que ao longo dos anos observou-se claramente que houve um aumento dos focos de luz noturna, os quais podem ser observados em um padrão de espacialização horizontal.

O crescimento populacional na RMRJ durante o período de realização do último censo foi de 978.043 habitantes. De acordo com os dois modelos de segregação de Burgos (2005), São Paulo segue o modelo clássico, aonde os pobres são expulsos para as periferias enquanto o Rio de Janeiro é uma combinação da favelização das regiões centrais com a formação de um anel periférico.

Foi notável um crescimento desse anel periférico nas imagens da RMRJ, o que corrobora com Martine (2012) que mostrou que as taxas de crescimento populacional mais elevadas das últimas décadas foram mais elevadas nos municípios periféricos do que nos centrais.

A ocupação das bordas metropolitanas é um fenômeno que vem ocorrendo no Brasil (PEREIRA COSTA, 2014). Isso está de acordo com o que foi mostrado pelas imagens apresentadas nessa pesquisa, em que o crescimento da mancha urbana varia em função das grandes metrópoles. Nessas áreas de expansão urbana, o autor observou ainda vários tipos de ocupação, caracterizados pela heterogeneidade e segregação.

Grostein (2001) verificou um agravamento das condições de moradia da população pobre nas metrópoles, aonde ocorre a periferização. Esse crescimento

acompanha um aumento significativo nos índices de favelização, segundo ela, seguido de uma degradação ambiental em um grau devastador.

Um dos aspectos levantado pela autora é a dualidade encontrada nas metrópoles brasileiras, em que a significativa concentração da pobreza tem uma expressão de um espaço *dual*, uma cidade *formal* que concentra os investimentos públicos e o seu contraponto absoluto, a cidade *informal*, relegada dos benefícios equivalentes e crescendo exponencialmente na ilegalidade urbana, aumentando as diferenças socioambientais.

Apesar de muitos condomínios luxuosos e áreas nobres serem criados afastados de núcleos urbanos ou em suas bordas, é nítido que o crescimento urbano brasileiro é acompanhado da periferação e de desigualdades sociais, sendo justamente o contraponto da cidade *informal*, com suas desigualdades socioambientais cada vez mais nítidas.

Nos três casos analisados, foi possível observar que o crescimento que vem acontecendo nessas metrópoles não é planejado com viés social ou tampouco ambiental. Os planejamentos urbanos com uma face mais social são de suma importância, pois dessa forma é possível evitar o crescimento da periferação e dignificar as áreas desqualificadas de periferias e bairros pobres, com uma qualidade urbanística básica. Como mostra Andrade (2008) “uma cidade que pratica o planejamento urbano é uma cidade que prevê estratégias para o seu crescimento, tanto populacional quanto territorial”. Um urbanismo funcionalista importado é incapaz de reconhecer a informalidade urbana e a variedade das formas de apropriação dos espaços populares (MARTINE, 2012).

Os fenômenos estudados e os dados obtidos nessa pesquisa indicam que o crescimento da mancha urbana nessas três regiões metropolitanas vem acompanhado de conurbações e padrões de periferação em uma metropolização da pobreza. O crescimento físico não planejado das cidades acarreta em desequilíbrios sociais e ambientais, o que torna o desenvolvimento sustentável um processo distante nessas cidades. A adoção de medidas mais sustentáveis em um mundo que vem sofrendo uma urbanização cada vez mais rápida não pode ser negligenciada.

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 verificou-se um aumento da mancha urbana para as três regiões metropolitanas estudadas. Esse aumento foi bastante expressivo principalmente na RM de Belo Horizonte, que apresentou o crescimento mais elevado, de 63%.

O índice VANUI demonstrou-se eficaz para a análise proposta nesse trabalho. Porém, é importante salientar que os dados de luz noturna são dados com elevada saturação, o que pode de certa forma influenciar na obtenção de resultados mais precisos.

A avaliação da mancha urbana de grandes cidades permite prever cenários de crescimento futuro. Para trabalhos futuros, sugere-se a comparação do crescimento da mancha urbana por meio de dados VANUI com outro índice espectral que permita a avaliação do padrão de urbanização a partir da avaliação de outros parâmetros ambientais, tais como: NDBI (*Normalized Difference Built-up Index*), NDBSI (*Normalized Difference Bared Soil Index*), entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, James Richard. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. **US Government Printing Office, 1976.**

ANDRADE, MARIA ESTER LEMOS DE. Regularização fundiária de favelas: caso HBB. 2008.

ASSIS, W. L. Os Climas Naturais do Município de Belo Horizonte – MG. **ACTA Geográfica, Boa Vista, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, 2012, p. 115-135.**

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.**

BLUESTONE, Barry et al. The urban experience: Economics, society, and public policy. **OUP Catalogue, 2008.**

BRITO, Fausto; SOUZA, Joseane de. Expansão urbana nas grandes metrópoles: o significado das migrações intrametropolitanas e da mobilidade pendular na reprodução da pobreza. **São Paulo em Perspectiva, v. 19, n. 4, p. 48-63, 2005.**

BURGOS, Marcelo Baumann. Cidade, territórios e cidadania. **Dados, v. 48, n. 1, p. 189-222, 2005.**

BURSZTYN, Maria Augusta; BURSZTYN, Marcel. **Fundamentos de política e gestão ambiental: caminhos para a sustentabilidade. Garamond, 2012.**

CHEDIEK, J. **Atlas do Desenvolvimento Humano nas Regiões Metropolitanas Brasileiras–Brasília: PNUD.** Ipea, FJP, 2014.

CONSELHO DE ARQUITETURA E URBANISMO DO BRASIL. **CAU BR.** Disponível em: <http://arquiteturaurbanismotodos.org.br/>. Acesso em 10 de agosto de 2016.

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.

DELUISI, B. The Earth's Atmosphere. **National Oceanic and Atmosphere Administration – NOAA**. Figura Disponível em: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/outreach/carbon_toolkit/basics.html>. Acesso em 30 de novembro de 2016.

DEMPSEY, N.; JENKS, M. Future forms for city living. **Future Forms and Design for Sustainable Cities, 2005.**

DERECZYNSKI, Claudine et al. Clima e mudanças climáticas na cidade do rio de janeiro. 2008.

DRUMMOND, G. M., et. al. Biodiversidade em Minas Gerais. **Belo Horizonte: Biodiversitas, 2005. 2ª Edição**. Disponível em: <<http://www.biodiversitas.org.br/atlas/flora.pdf>>. Acesso em 14 de novembro de 2016.

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.

EPIPHANIO, J. Satélites de Sensoriamento Remoto. **INPE. São José dos Campos. 2002.**

FIALHO, E. S. Ilha de Calor: Reflexões acerca de um conceito. **ACTA Geográfica, Boa Vista: Ed. Esp. Climatologia Geográfica, 2012, PP. 61-76.**

FLORENZANO, T. Iniciação em sensoriamento remoto. **São Paulo: Editora Oficina de Textos, 3ª Edição, 2011.**

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

GANEM, Khalil Ali; OLIVEIRA, Marcell Terra de. Análise sazonal da relação entre sequestro florestal de carbono e ilhas de calor urbanas nas metrópoles de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Brasília. 2016.

GROSTEIN, Marta Dora. Metrópole e expansão urbana: a persistência de processos "insustentáveis". **São Paulo em perspectiva, v. 15, n. 1, p. 13-19, 2001.**

HAUGHTON, GRAHAM; HUNTER, COLIN. Sustainable cities. **Routledge, 2004.**

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – BGE. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/english/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_da_populacao/resultados_do_universo.pdf>. Acesso em 15 de novembro de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Disponível em: <cidades.ibge.gov.br>. Acesso em 15 de novembro de 2016.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/redeipea/images/pdfs/governanca_metropolitana/rel1_1_ridef.pdf>

JUSTICE, C. O. et al. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote sensing of Environment, v. 83, n. 1, p. 3-15, 2002.**

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.**

MARTINE, George et al. População e sustentabilidade na era das mudanças ambientais globais: contribuições para uma agenda brasileira. **Campinas: ABEP, 2012.**

MENESES, P.; ALMEIDA, T. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. Brasília: CNPQ, 2012. Disponível em: <<http://cnpq.br/web/guest/livro-eletronico>> Acesso em 22 de outubro de 2016.

MITLIN, Diana; SATTERTHWAITE, David. Chapter one sustainable development and cities. **Sustainability, the environment and urbanization**, p. 23, 1996.

MORAES, E. C., FIORIO, P. R. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 2002.** Disponível em: <http://www.ler.esalq.usp.br/disciplinas/Topo/LEB5838/Peterson/Fundamentos_energia_pos.pdf>. Acesso em 26 de novembro de 2016.

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.**

NOVO, E. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. **São Paulo: Editora Blucher, 3ª Edição, 2008.**

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU, 2014: <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects2014.html?utm_term=United+Nations,+DESA,+Social,+Economic&utm_content=DESA+assists+countries+in+agenda-setting+and+decisionmaking+with+the+goal+of+meeting+their+economic+social+and+environmental+challenges.&utm_source=twitterfeed&utm_medium=twitter>. Acesso em 12 de novembro de 2016.

PEREIRA COSTA, Staël de Alvarenga; PERNA, Stefânia de Araújo. The continuous expansion of Brazilian cities: the case of the city of Belo Horizonte. **Journal of Urbanism: International Research on Place making and Urban Sustainability**, v. 8, n. 1, p. 57-81, 2015.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. Disponível em: <http://portalbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pldPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=estatisticaseindicadores&tax=20381&lang=pt_BR&pg=7742&taxp=0&>. Acesso em 13 de outubro de 2016.

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/riotur/exibeconteudo?id=106717>>. Acesso em 13 de outubro de 2016.

ROCHA, E. A.; ABJAUD, T. T. A metropolização de Belo Horizonte e sua relação com as áreas verdes e o turismo: Parque das Mangabeiras x Parque Sete. **Observatório de Inovação do Turismo – Revista Acadêmica. Rio de Janeiro: Vol. VII, nº 3, 2013.**

ROSA, Roberto. Introdução ao sensoriamento remoto – 7. Ed. **Uberlândia : EDUFU, 2009.**

ROUSE, J. W.; HASS R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. **Remote Sensing Center, Texas A&M, University, College Station, Texas. Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I, 309-317, 1973.**

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

STEFFEN, C. Introdução ao sensoriamento remoto. **INPE**. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>>. Acesso em 13 de outubro de 2016.

TEIXEIRA, Wilson et al. Decifrando a terra. **Editora Nacional, 2009.**

TERRA-OLIVEIRA, M.; TAKAHASHI, R.S.; GANEM, K.A. Y BAPTISTA, G.M.M. Mapeamento da reserva da biosfera da caatinga, por meio do índice VANUI. **Simpósio SELPER, 2016.**

TROTTER, G. M.; WHITEHEAD, D.; PINKNEY, E. J. The photochemical reflectance index as a measure of photosynthetic light use efficiency for plants with varying foliar nitrogen contents. **INT. J. Remote Sensing, 2002, vol. 23, no. 6, 1207–1212.**

UNEP 2011, Towards a green economy: Pathways to Sustainable Development and poverty eradication, 2011.

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.

WEIER, John. Bright Lights Big City. **Nasa, 2000**. Disponível em: <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Lights/>. Acesso em 30 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.**