



## IV-102 – ANÁLISE DA EXPANSÃO URBANA E DELIMITAÇÃO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO NA CIDADE DE PATROCÍNIO, MG

**Patrícia Antunes dos Reis<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade de Uberaba, Especialista em Geomática, Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia (PPGEC/UFU).

**Marcio Augusto Reolon Schmidt<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Cartógrafo, Mestre e Doutor em Ciências Geodésicas pela Universidade Federal do Paraná. Com experiência profissional na área de Geociências e Conservação, atuando em Geoprocessamento para planejamento regional, Visualização Cartográfica e Métodos inteligentes em Sensoriamento Remoto. Atua nas linhas de pesquisa de inteligência artificial através de sistemas especialistas para SIG e Cartografia, Visualização de dados espaciais e integração das tecnologias laserscanning e SIG. É professor da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1Y, Sala 1Y31 - Campus Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP: 38408-100 - Brasil - Tel: (34) 9919-6539 - e-mail: [p.antunesreis@gmail.com](mailto:p.antunesreis@gmail.com)

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Avenida João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1Y, Sala 1Y31 - Campus Santa Mônica - Uberlândia - MG - CEP: 38408-100 - Brasil - Tel: (34) 3230-9430 - e-mail: [marcio.schmidt@gmail.com](mailto:marcio.schmidt@gmail.com)

### RESUMO

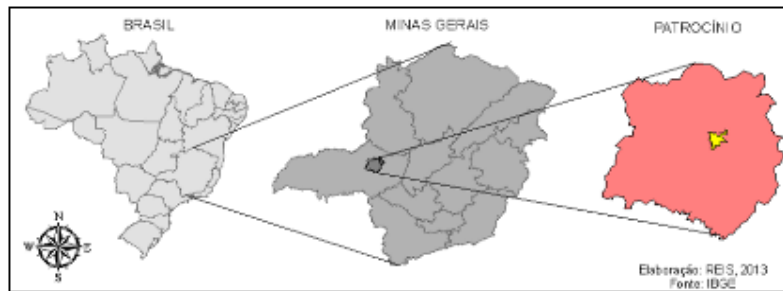
O estudo tem por objetivo analisar o crescimento da mancha urbana e seu impacto no aumento das ocorrências de enchentes e inundações na área urbana de Patrocínio, compreendido num período de 22 anos. O estudo foi realizado com o uso de Sistema de Informações Geográficas e de processamento digital de imagens oriundas de Sensoriamento Remoto com ferramentas disponibilizadas nos programas de geoprocessamento Quantum Gis e ENVI. Foram identificadas as áreas de risco de alagamentos e as áreas onde predominam os maiores fluxos de escoamento da chuva nos fundos de vale, por meio de dados altimétricos e hipsométrico, relacionados as informações de precipitação coletadas pelas Estações Pluviométricas da Agência Nacional das Águas. Como resultado direto do uso destas geotecnologias fundamentais, percebe-se a melhora potencial na eficiência da tomada de decisões por parte das equipes de planejamento territorial.

**PALAVRAS-CHAVE:** Expansão Urbana, Alagamentos, Geotecnologias, Sensoriamento Remoto, Planejamento Urbano.

### INTRODUÇÃO

As áreas urbanas, seguindo o critério de urbanização estabelecidos pela maioria das cidades brasileiras, ocuparam regiões próximas aos rios e fundos de vale, ocasionando diversos problemas que atingem diretamente a sociedade, dentre eles a questão dos alagamentos, consequência do agrupamento do ambiente construído, que conforme Mihelcic e Zimmerman (2012) salienta, a disposição das ruas em uma área afeta diretamente os recursos hídricos devido às superfícies pavimentadas. As enchentes são fenômenos naturais, e segundo Valente (2009) são resultados de comportamentos dos cursos d'água, enquanto que os alagamentos são acúmulos de água formados pelos escoamentos superficiais provocados por chuvas intensas que em ambientes mal planejados, impermeáveis e com falta de infraestrutura adequada podem causar catástrofes irreversíveis, e os centros urbanos são as áreas naturais mais afetadas por intervenções humanas.

A cidade de Patrocínio, objeto do estudo, se encontra inserida na mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Estado de Minas Gerais, com coordenadas centrais 18°56'25"S e 46°59'36"O, como ilustra a figura 1, e tem suas principais áreas ocupando fundos de vale, com rios canalizados e impermeabilização de áreas verdes conforme o crescimento da cidade se torna evidente ocupadas por moradias e pavimentação.



**Figura 1: Mapa de localização do município de Patrocínio, MG.**

Para análise da expansão da mancha urbana e identificação das áreas de alagamento da cidade foram utilizadas geotecnologias, entre elas o Sensoriamento Remoto, que consiste na captação de imagens por meio de modernos sensores em órbita, de alta resolução espacial, e o Modelo Digital de Elevação por meio do mapeamento altimétrico da cidade que, juntamente com softwares de geoprocessamento, são capazes de processar e analisar imagens, tornando possível estudos de análise espacial e modelagem. Esse conjunto de tecnologias formam o Sistema de Informação Geográfica, que permite estudos aprofundados, por meio do cruzamento e análises complexas de dados, úteis ao planejamento urbano, composto por informações precisas e detalhadas dos vários seguimentos que direcionam o processo de gestão administrativa.

O trabalho visa realizar um estudo espaço-temporal da expansão da mancha-urbana, estabelecendo uma relação entre o crescimento da cidade e o aumento das áreas de enchente e inundações, por meio de técnicas de classificação multiespectral de imagens dos satélites da série Landsat e avaliação de áreas com uso de sistemas de informação geográfica em 22 anos. A pesquisa visa destacar a importância do uso das geotecnologias como ferramenta de diagnóstico das alterações a nível espacial, fundamentais para o planejamento territorial.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo está pautada na abordagem quali-quantitativa usando como instrumentos de pesquisa referencial bibliográfico, levantamento documental e de dados, amostragem e estatísticas. Para avaliar a expansão urbana da cidade de Patrocínio, foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 5 do Sensor TM (Thematic Mapper), Landsat 7 do Sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) e Landsat 8 do Sensor OLI (Operacional Terra Imager), conforme tabela 1, disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e pela instituição United States Geological Survey – USGS. As imagens foram tomadas nos anos de 1991, 1996, 2001, 2006, 2011 conforme estudo publicado por Reis, (2013) e o ano de 2013. O uso destas permitiu avaliar as modificações ocorridas no ambiente no espaço de tempo de 22 anos, pois pode-se perceber as áreas urbanizadas em relação a áreas rurais nas datas das imagens. A escolha dos anos de 2011 e 2013 com um intervalo de tempo de 2 anos foi devido a intensificação da expansão urbana neste período.

**Tabela 1: Dados das imagens Landsat obtidas.**

Satélite	Sensor	Path/Row	Bandas	Data
LandSat 5	TM	220/073	3,4 e 5	26/07/1991
LandSat 5	TM	220/073	3,4 e 5	04/05/1996
LandSat 7	ETM	220/073	3,4 e 5	11/06/2001
LandSat 5	TM	220/073	3,4 e 5	16/05/2006
LandSat 5	TM	220/073	3,4 e 5	30/05/2011
LandSat 8	OLI	220/073	4, 5 e 6	21/09/2013

Na primeira etapa as imagens foram compostas em bandas com uso do programa ENVI, tendo a seleção das imagens obedecendo a critérios que dão qualidade a classificação, como por exemplo o período de captação das imagens, diferenciando estações seca e chuvosa e condições de iluminação, conforme descrito na tabela 1.

De acordo com Moreira (2005), para os satélites Landsat 5 e 7, a banda espectral 3 compreende uma resolução espectral adequada para visualizar corpos d'água e é utilizada em mapeamento de vegetação e onde ocorrem atividades antrópicas. A banda 4 (infravermelho) apresenta sensibilidade à morfologia do terreno e a banda 5 (Infravermelho Médio) apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas (ENGESAT, s/d). A escolha do satélite Landsat 8 é devido este apresentar imagens atualizadas para o ano de 2013. Estas bandas tem resolução espacial de 30m, o que corresponde a uma escala próxima a 1:50.000, adequada a análise de paisagens.

A configuração das assinaturas espectrais das feições identificadas na imagem se deu conforme nomenclaturas estabelecidas no Programa Corine Land Cover (2000), no qual as classes são definidas por territórios artificializados tais como área de ocupação agrícola, meios naturais e corpos de água, e assim produzir o mapa de uso do solo. A confecção do mapa se deu pelo método de Classificação Supervisionado Máxima Verossimilhança (MaxVer), que considera a ponderação das distâncias espectrais entre as médias dos valores dos pixels atribuídos a cada uma das classes, utilizando parâmetros estatísticos (INPE, 2008 apud MENEZES E ALMEIDA, 2012).

Após o processo de classificação supervisionada aplicou-se nas imagens o filtro passa-baixa de modo a atenuar ruídos na imagem final devido às altas frequências, que, segundo Lacerda e Santos (2010), podem prejudicar a análise dos dados e a partir da matriz de erro presente no programa ENVI obteve-se a estatística Kappa, avaliando a concordância dos dados resultantes da classificação automática.

Na segunda etapa de classificação, no ambiente QuantumGis, foram editadas as classes de uso e ocupação de solo que se confundiram no ano de 2013 e sobreposto às imagens de 1991 a 2011 avaliadas conforme pesquisa publicada pelo mesmo autor Reis (2013), identificando as áreas de expansão urbana ocorridas nos 22 anos proposto. O procedimento seguinte foi identificar as áreas de alagamento para relacionar aos dados obtidos.

A avaliação dos pontos de inundação da cidade foi realizada por meio da construção do Modelo Digital de Elevação - MDE, a partir da base cartográfica altimétrica da Secretaria de Urbanismo da Prefeitura Municipal de Patrocínio, com curvas de nível traçadas de 1 em 1 metro. Também, como base de informação foram usados o mapa cadastral da cidade com hidrografia, infraestrutura e a delimitação de lotes, quadras e bairros, disponibilizados em arquivos "DWG". O MDE foi construído no GIS com base nas informações de coordenadas e altitudes dos pontos existentes na base cartográfica altimétrica, pelo método de técnicas de triangulação (TIN) entre os pontos com cota conhecida, formando assim planos e consequentemente fornecendo as informações de altitude para os demais pontos da bacia.

Para a produção do mapa hipsométrico (elevação) foi estabelecido, primeiramente, as classes de altimetria que mais se adequam à área a ser mapeada, com intervalos de 100 em 100 metros, e confrontadas com as observações de campo realizadas nas visitas. A partir desses dados foram identificados os pontos de inundação e corredores de enchentes relatados por informações cedidas pelo Departamento de Água e Esgoto de Patrocínio – DAEPA, através da identificação da cota de inundação, e comparados aos dados de chuva disponibilizados pela Agência Nacional de Água – ANA, identificando picos de ocorrência.

A delimitação das áreas de alagamento e os pontos críticos de alagamentos da cidade de Patrocínio foram determinados conforme cota disponibilizada pelo DAEPa nos diferentes períodos analisados, e os resultados sobrepostos aos dados de expansão urbana para análise e interpretação das informações relacionadas.

## RESULTADOS

Na análise da expansão urbana, o trabalho dá continuidade aos dados apresentados por Reis (2013), onde foram analisados os crescimentos urbanos nos anos de 1991, 1996, 2001, 2006 e 2011, conforme tabela 2, acrescentando o ano de 2013, visto que este ano representa a expansão caracterizada pelo Programa de Moradia Popular estabelecido pelo Governo Federal no Brasil, facilitando o financiamento da construção civil, o que motivou a construção de novos conjuntos habitacionais na cidade.

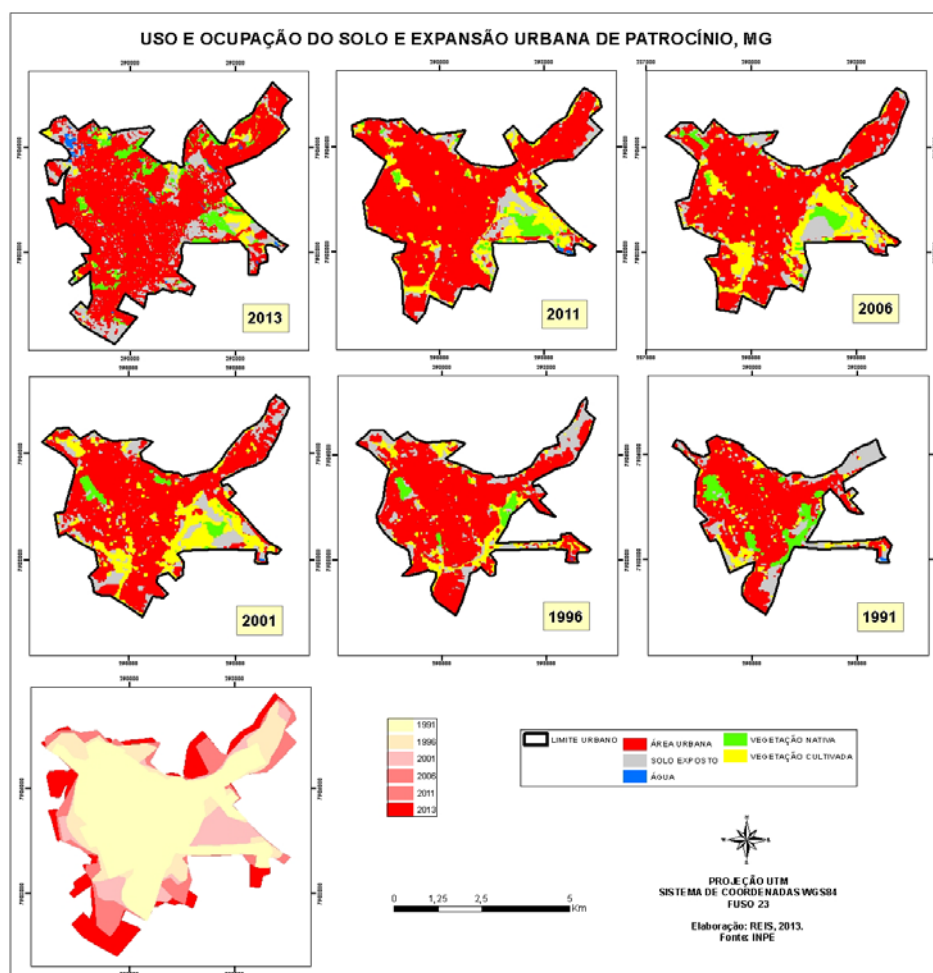
O índice estatístico Kappa obtido por meio da Classificação Supervisionada teve conceito muito bom, acima de 90% caracterizado por amostras bem precisas, próximas a realidade, representando muito bem o uso e

ocupação do solo da cidade. Por meio dessa classificação avaliou-se os resultados de crescimento da área urbana, sendo os anos de 2011 a 2013 o mais intenso, isso pelo fato de o período representar dois anos. Essa evolução em larga escala tem acontecido na maioria das cidades brasileiras atualmente, e mostra a necessidade de investimento em infraestrutura adequada a cada localidade e planejamento ocupacional.

**Tabela 2: Dados das imagens Landsat obtidas.**

Ano	Área (km <sup>2</sup> )	Área Urbana (%)	Área Rural (%)	Kappa (K)
1991	12,77	0,444	99,556	0,9723
1996	15,92	0,554	99,446	0,9765
2001	18,625	0,648	99,352	0,9627
2006	20,03	0,697	99,303	0,9686
2011	22,017	0,766	99,234	0,9557
2013	24,46	0,86	99,14	0,9558

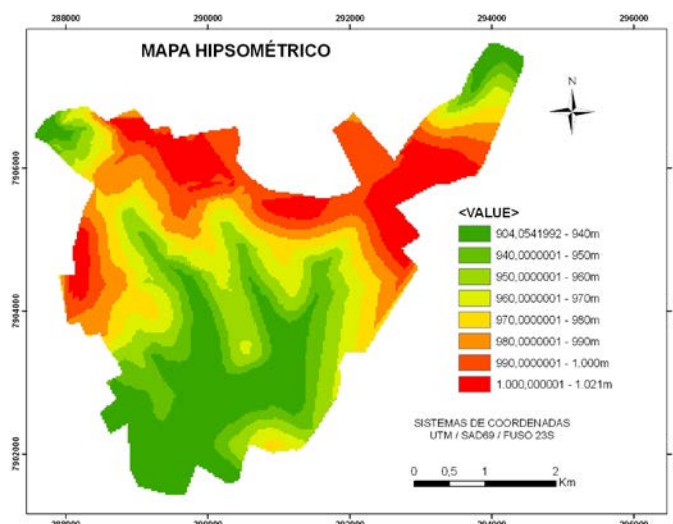
Na figura 2 são apresentados os mapeamentos referentes aos seis anos avaliados, e pode-se verificar melhor a ocupação espacial da cidade.



**Figura 2: Mapa de Uso e Ocupação do Solo e Expansão Urbana da cidade de Patrocínio.**

Além da expansão dos limites urbanos observou-se o adensamento do perímetro urbano, consequência da população que recorre às áreas livres ainda não ocupadas no interior da cidade. Esses dados demonstram o potencial da região, no qual a cidade é pautada na agroindústria principalmente culturas de café, soja e gado, que empregam muitos trabalhadores durante todo o ano, estimulando a população a crescer e fixar moradia.

Para estudo da superfície, a composição do mapa hipsométrico, figura 3, representa a elevação do terreno em cores, que segundo Alves (s/d) possuem uma equivalência com a elevação do terreno possibilitando conhecer a área de forma mais profunda, podendo ser avaliado o potencial de escoamento da água da chuva, fator importante para a composição das enchentes. Assim, o município de Patrocínio apresenta altitudes variando de 904m a 1021m, apresentando áreas planas a levemente inclinadas, com alguns pontos mais críticos. Este estudo possibilita a visualização espacial da região, facilitando o cruzamento com outras informações que possibilita o planejamento e tomada de decisão em qualquer localidade.



**Figura 3: Mapa hipsométrico da cidade de Patrocínio.**

Os impactos relacionados aos alagamentos, segundo Filho et. al. (2006), estão associados aos episódios de intenso volume de precipitação combinados a um curto espaço de tempo, e associado ao alto nível de impermeabilização do solo. A cidade de Patrocínio é caracterizado pelo clima tropical com estações bem definidas e as chuvas concentradas na estação de verão. Sendo assim, na tabela 3 disponibiliza os dados da estações meteorológica da Agência Nacional das Águas instaladas no município, apresentando os meses de maior precipitação nos anos avaliados. O registro da intensificação da chuvas na região deveria ser analisado por um período maior, devido os 22 anos analisados não apresentar variação nos picos registrados. Os eventos concentram-se nos meses de dezembro, janeiro e março, período característico de chuvas de verão.

**Tabela 3: Dados hidrológicos / Pluviométrico – Fonte: ANA.**

Ano	Estação Pluviométrica	Data	Precipitação Máxima Mensal (mm)
1991	1947006	01/03/1991	495,2
1996	1947006	01/12/1996	326,8
2001	1947006	01/12/2001	400,9
2006	1947006	01/12/2006	417,6
2011	1947006	01/12/2011	477,2
2013	1846002	01/01/2013	336,5

Mediante os dados pesquisados e informações cedidas pelo DAEPa o resultado é apresentado na figura 4 com o mapa de risco de alagamentos. Os estudo de campo identificaram que o risco concentra nas áreas abaixo da cota 915 metros, visto que são áreas de fundo de vale, próximas aos cursos fluviais componentes da paisagem da cidade.

O sistema de drenagem presente nas ruas da cidade não suporta o volume de água da chuva escoado, visto que os córregos são canalizados e não há áreas permeáveis suficientes para a infiltração da água. O volume



acumulado nessas regiões tem sido intensificado ao passar dos anos, o que marca a relação com o aumento das áreas impermeáveis que também sofreu ampliação.

Devido ao modelo de construção aplicado na cidade, a faixa azul identificada no mapeamento da figura 4 mostra a concentração dos alagamentos. Esses locais são áreas que apresentam relevo mais íngreme, caracterizando o fundo de vale, e no entanto área de escoamento natural das águas da chuva.

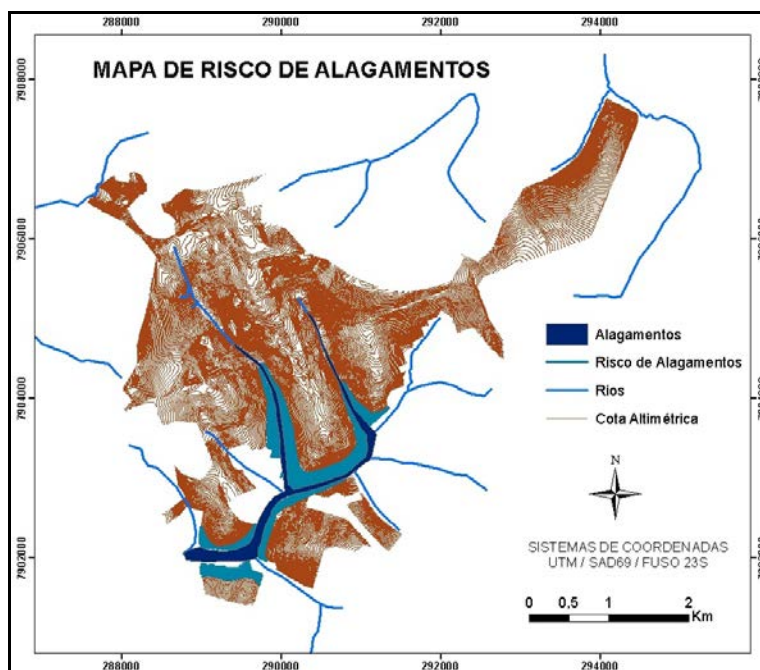


Figura 4: Mapa de Risco de Alagamento na Cidade de Patrocínio.

## CONCLUSÕES

Conclui-se através da pesquisa o quanto o uso do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Informações Geográficas são importantes na gestão pública urbana, possibilitando uma abordagem ampla de informações que auxilia na geração de planos diretores mais estruturados e confiáveis, com a implementação de técnicas de avaliação das relações plani-altimétricas e de fluxos de drenagem. Essas ferramentas, com o uso das imagens de satélites, são úteis ao monitoramento do uso e ocupação do solo, fundamentais para o planejamento territorial de áreas de ocupações futuras e na implantação de ações preventivas e mitigadoras, sendo de baixo custo, pois são distribuídas gratuitamente pelo INPE.

De acordo com os índices de crescimento urbano identificados, estes foram relacionados ao aumento de pontos de inundação nas porções mais baixas da cidade, conforme informações cedidas pelo DAEPA, e este foi positivo, visto que em 1991, há 22 anos, os alagamentos nos pontos baixos já ocorria mas em escala menor, ocupando as vias de acesso se acumulando nas rotatórias localizadas nas porções sudeste e sudoeste da cidade. Este confirma um sério problema relatado em diversos ambientes, onde há expansão das áreas impermeáveis vinculados a uma infraestrutura de drenagem insuficiente e/ou ausente e pouca área permeável.

O mapa hipsométrico permitiu classificar os intervalos de altimetria de acordo com os anseios do usuário, possibilitando a visualização das áreas de ocupação dos alagamentos através do perfil dos pontos vulneráveis, estabelecendo aptidão à urbanização quando combinada com outros fatores de análise, permitindo conhecer as áreas potencialmente inundáveis.

As cheias são impeditivas ao bom funcionamento do tráfego de carros e pedestres em fluxo normal, e através dos dados resultantes da pesquisa recomenda-se o estabelecimento de soluções baseadas nas características da macro-drenagem local e nas condicionantes naturais e antrópicas do processo de alagamento, para um



planejamento territorial estruturado e pautado em medidas ambientais necessárias ao bom funcionamento hidrológico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, A.O. Criando Mapa Hipsometrico a partir de dados SRTM. Disponível<  
[http://pessoal.utfpr.edu.br/ligia/material/cartografia/tutorial\\_hipsometria\\_srtm.pdf](http://pessoal.utfpr.edu.br/ligia/material/cartografia/tutorial_hipsometria_srtm.pdf)> Acesso em: 13 mar 2014.
2. Agência Nacional das Águas. Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível<  
<http://hidroweb.ana.gov.br/>> Acesso em: 11 fev 2014.
3. BLASCHKE, T.; KUX, H. Sensoriamento Remoto e SIG Avançados: novos sistemas sensores e métodos inovadores. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
4. CHAVES, M. A. Modelos Digitais de Elevação hidrologicamente consistentes para a Bacia Amazônica. Disponível em:  
<[http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/322/108161\\_c.pdf?sequence=2](http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/322/108161_c.pdf?sequence=2)>. Acesso em: 05 jul 2013.
5. ENGESAT. Landsat 5 TM – Ficha Técnica Resumida. Disponível em:  
<<http://www.engesat.com.br/?system=news&action=read&id=528>>. Acesso em: 09 maio 2013.
6. ALVES, A.O. Criando Mapa Hipsometrico a partir de dados SRTM. Disponível<  
[http://pessoal.utfpr.edu.br/ligia/material/cartografia/tutorial\\_hipsometria\\_srtm.pdf](http://pessoal.utfpr.edu.br/ligia/material/cartografia/tutorial_hipsometria_srtm.pdf)> Acesso em: 13 mar 2014.
7. FILHO, A. P.; M, S. H. V. L.; ORSI, L.; VICENTE, A. K.; VICENTE, L. E. Monitoramento e Gerenciamento de Bacias Urbanas associados a inundação: Diagnose da Bacia do Ribeirão Quilombo na Região Metropolitana de Campinas utilizando Geotecnologias. Disponível<  
<http://citrus.uspnet.usp.br/rdg/ojs/index.php/rdg/article/view/24>> Acesso em: 13 mar 2014.
8. FLORENZANO, T. G. Iniciação em Sensoriamento Remoto. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.
9. GLOBAL LAND COVER FACILITY. Land Cover. 2000. Disponível em: <  
<http://www.landcover.org/index.shtml>>. Acesso em: 12 abr 2013.
10. LACERDA, A. F.; SANTOS, C. Avaliação da Expansão Urbana no Município de Belo Horizonte e Região Metropolitana utilizando imagens de satélites. 2010. Disponível em:  
<<http://mundogeo.com/blog/2010/12/15/avaliacao-da-expansao-urbana-no-municipio-de-belo-horizonte-e-regiao-metropolitana-utilizando-imagens-de-satelite/>>. Acesso em: 12 abr 2013.
11. MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. de. Introdução ao Processamento de Imagem de Sensoriamento Remoto. 2012. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em: 22 abr 2013.
12. MOREIRA, Maurício Alves. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologia de aplicações. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005.
13. VALENTE, O. F. Reflexões hidrológicas sobre inundações e alagamentos urbanos. Disponível<  
<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/minhacidade/10.109/1839>> Acesso em: 13 mar 2014.