

O uso de sensoriamento remoto e geoprocessamento para análise multitemporal da expansão urbana no município de Petrópolis/RJ entre 1985, 1994 e 2011.

Rômulo Weckmüller¹
Raúl Sánchez Vicens¹
Pedro José Farias Fernandes²

¹ Universidade Federal Fluminense - UFF
Av. Litorânea s/n – CEP: 24.210-340 – Niterói – RJ, Brasil
weckmuller@gmail.com
rsvicens@id.uff.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1.758 – CEP: 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
pjf_fernandes@yahoo.com.br

Abstract. Studies about changes between land uses and land covers have been a growing field of research in recent decades, as they help the planning and management of the territory, serving as a basis for planning future actions. This paper aims to locate the urban expansions in relief, using three temporal scenarios (Landsat TM 5 images dated from 1985, 1994 and 2011) and a Digital Elevation Model (DEM) from SRTM. The studied area corresponds to the city of Petrópolis, in the highlands of the state of Rio de Janeiro, an area that historically suffers from disordered occupations and mass movements. Thematic maps were generated by remote sensing techniques, with an object-oriented classification, fuzzy modeling and hierarchy between classes. The urbanizations were mapped using geoprocessing tools for the intersection of these data. Subsequently, these trajectories were analyzed for their location in the relief, with the support of a DEM clipped to the studied area. 2628 hectares of changes were detected, being 1221 hectares corresponding to urban expansions (412 hectares between 1985 and 1994 and 799 hectares between 1994 and 2011). The forests were the most suppressed by urban areas, in a range of altitude between 800 and 1000 meters and in a slope of 10 to 20 degrees.

Palavras-chave: remote sensing, geoprocessing, temporal analysis, sensoriamento remoto, geoprocessamento, análise temporal.

1. Introdução

Nos últimos anos tem sido constantes os estudos de modificações entre os usos e cobertura da terra, através de mapeamentos e análises multitemporais. Segundo Abreu (2010), isso se deu, principalmente, pelo avanço de tecnologias em sensoriamento remoto que possibilitaram uma maior variedade de imagens disponíveis, tanto em nível aéreo quanto em nível orbital. Hoje em dia, o fácil acesso a esses tipos de dados, às vezes até de forma gratuita, ajuda a popularizar cada vez mais essas técnicas de mapeamento.

As análises multitemporais permitem a avaliação de diferentes dinâmicas espaciais (processos de urbanização, catástrofes naturais e outras alterações na paisagem), através da identificação de alterações na superfície terrestre, por meio da análise de imagens da mesma área coletadas em diferentes datas (Jianya et al., 2008; Beltrame et al., 2009). Existem muitas técnicas para a análise multitemporal e cada uma possui uma forma própria de lidar com a extração e com a classificação das mudanças. Os parâmetros de escolha dessas técnicas dependem do objetivo da pesquisa e/ou da preferência por parte do pesquisador por determinada ferramenta (Coppin et al., 2004; Jensen, 2009).

Este trabalho objetiva identificar processos de urbanização no município de Petrópolis entre os anos de 1985, 1994 e 2011, quanto à sua localização no relevo. Para tal será utilizado uma análise pós-classificação, que segundo Lu et al. (2004) consiste na classificação das datas em separado, para uma posterior detecção de mudanças na comparação dos mapas temáticos. Neste contexto, o uso de geotecnologias como o sensoriamento remoto, que serve como fonte

de dados recentes e históricos; e o geoprocessamento que possui importantes ferramentas de análise espacial são fundamentais para o êxito desta técnica (Seabra e Silva, 2011).

O município de Petrópolis possui um histórico de ocupações urbanas desordenadas, sobretudo na década de 1980, com a fragilidade das legislações atuantes e na década de 1990 com o grande aumento populacional. Segundo Gonçalves (1998), mesmo depois da criação da APA de Petrópolis e do Plano Diretor, ambos em 1992, a situação ambiental e habitacional na cidade continua bastante delicada. A falta de senso comum entre as diferentes instâncias do Poder Público (federal, estadual e municipal) não é capaz de controlar os desmatamentos e ocupações irregulares, devido à velocidade de ocorrência dos mesmos.

O município de Petrópolis está a aproximadamente 60 quilômetros a norte da cidade do Rio de Janeiro e pertence à Região Serrana (Figura 1). Possui uma altitude média de 845 metros, abrangendo uma área de 79.500 hectares. Segundo dados do Censo de 2010 do IBGE, sua população é de aproximadamente 300.000 habitantes.

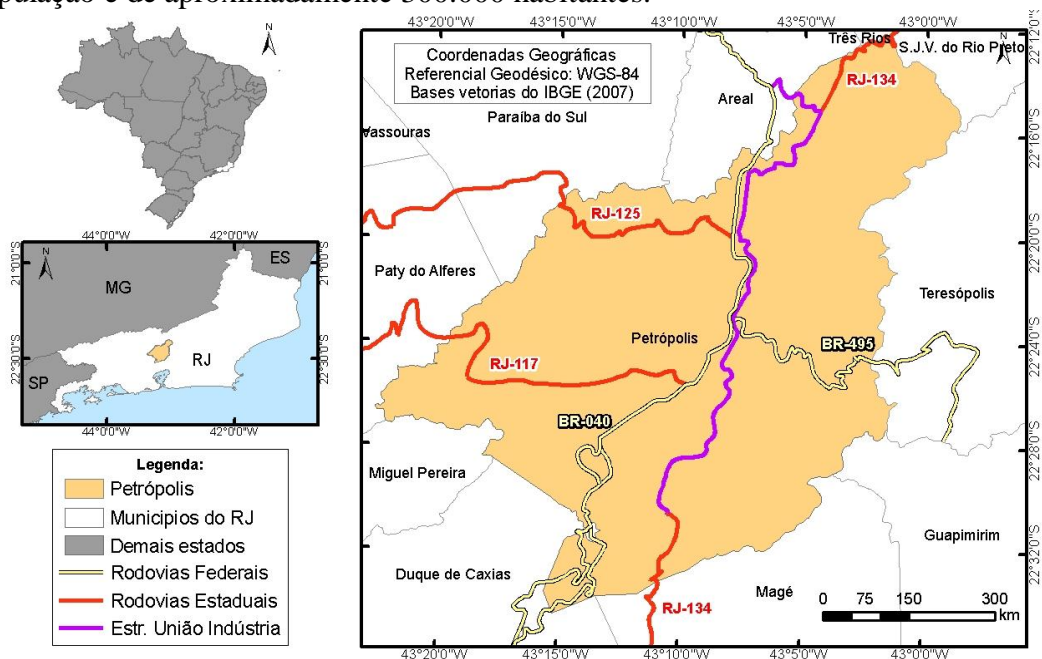


Figura 1. Localização do município de Petrópolis, RJ.

2. Metodologia de Trabalho

Aquisição e registro das imagens

Para a construção dos mapas de uso e cobertura da terra foram adquiridas, através do portal eletrônico do INPE, três imagens do satélite Landsat 5, sensor TM, datadas de 04 de julho de 1985, 10 de outubro de 1994 e 13 de agosto de 2011. Após a aquisição das imagens foi efetuado para cada cena o recorte da área de estudo e o seu registro (georrefenciamento), no software *Envi 4.5*, com um erro médio quadrático de 0,5 pixel (15 metros).

Mapeamentos de uso e cobertura da terra

Os mapeamentos de uso e cobertura da terra foram gerados por classificação orientada a objetos, implementada no software *eCognition Developer 8.0*, com base numa segmentação das imagens em vários níveis hierárquicos segundo critérios de heterogeneidade (*scale*) e descritores (*features*). Esta metodologia (Figura 2) foi adaptada de Cruz et al. (2007).

Foi dada ênfase à modelagem *Fuzzy* sobre descritores espectrais apoiada na seleção de áreas de treinamento. A análise *Fuzzy* fornece o grau de pertinência de um objeto para todas as classes definidas na legenda, numa lógica de probabilidades, cujos valores podem ser inseridos em novos contextos de classificação (Seabra e Silva, 2011).

Foi utilizado o algoritmo *multiresolution segmentation*, com parâmetro de escala 10 e os critérios 0.2 de forma e 0.8 de compacidade. Esse segmentador multirresolução possui um algoritmo que leva em consideração múltiplas características da imagem e que se fundamenta na técnica de crescimento de regiões (Baatz e Schape, 1999).

Após a execução desta classificação, obteve-se o mapa parcial de uso e cobertura da terra, com muitos ruídos e pequenos segmentos. Este mapeamento com elevado número de polígonos de pequena área foi submetido a filtros de generalização, no software *Erdas Imagine 8.5*. Foram utilizadas as ferramentas *Majority* (6x6 pixels), *Clump* (4 vizinhos) e *Eliminate* (4 hectares), para atender uma escala 1:100.000, de acordo com o conceito de área mínima mapeável, que define o tamanho da área que um determinado objeto deve conter para que seja representado num mapa ou carta geográfica (Martinelli, 1994). No software *ArcGis 9.3* foram realizadas algumas edições manuais com a verificação das próprias imagens, com o objetivo de corrigir as inconsistências e gerar os mapas finais de uso e cobertura da terra.

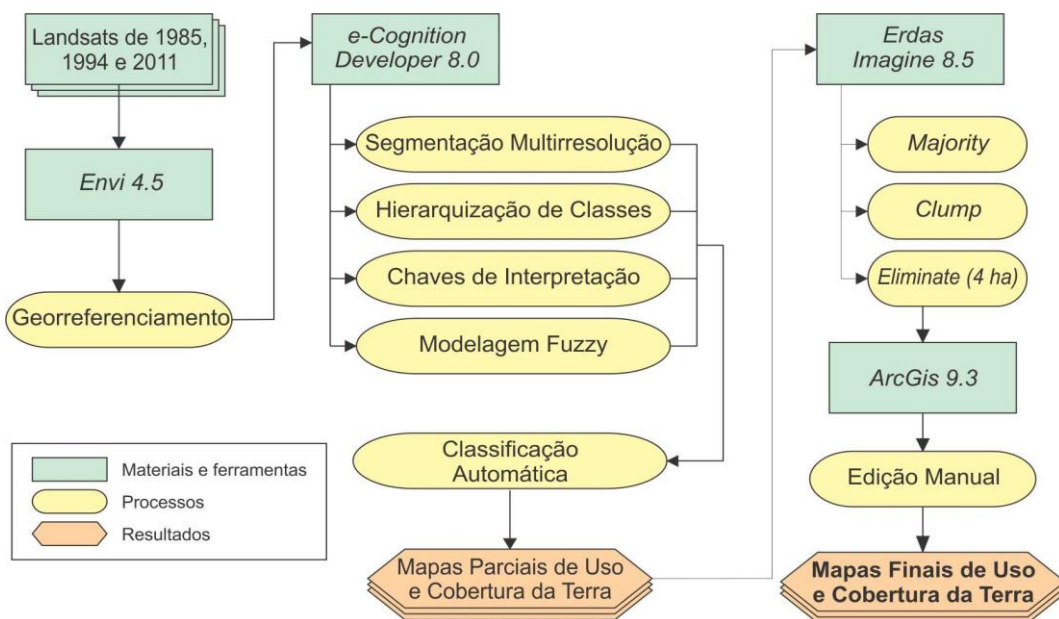


Figura 2. Fluxograma metodológico do mapeamento de uso e cobertura da terra.

Mapeamentos das expansões urbanas

Depois dos mapas de uso e cobertura da terra gerados, os mesmos foram inseridos em ambiente SIG, no software *ArcGis 9.3*, onde foram processadas análises e cruzamentos de dados, através da ferramenta *Intersect*, que forneceram subsídios para a compreensão e localização das expansões de área urbana ocorridas na área de estudo. A técnica utilizada foi a “*from-to*” que segundo Lu et al. (2004) corresponde a uma análise pós-classificação utilizando ferramentas de análise espacial em ambiente SIG, que possibilitou a espacialização e mensuração dos acréscimos de área urbana, assim como de quais classes estas se originaram (Seabra, 2012).

O padrão de distribuição espacial das expansões urbanas foi relacionado às características morfométricas do relevo, altitude e declividade, geradas diretamente a partir do MDE do SRTM ou no módulo *3D Analyst* do *ArcGis 9.3*. Posteriormente, através da ferramenta *Zonal Statistics as Table*, os valores de altitude e declividade foram extraídos de todos os polígonos das urbanizações (Figura 3). Histogramas com a distribuição das médias desses polígonos foram feitos para auxiliar a interpretação destes dados.

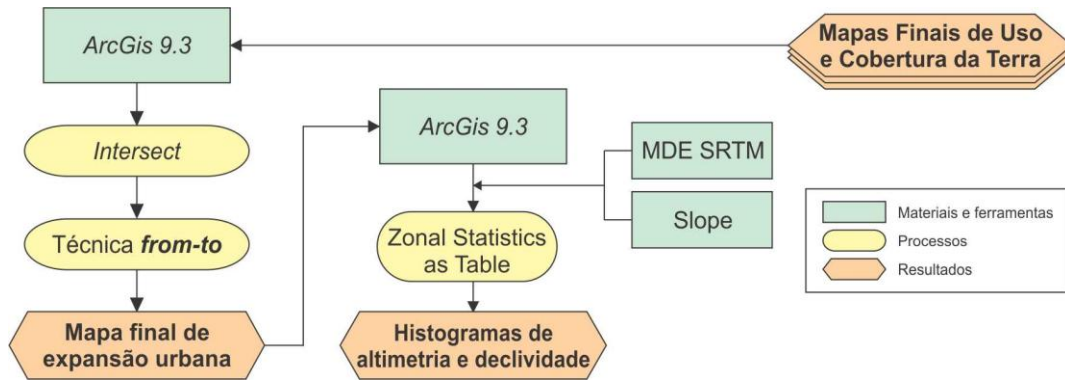


Figura 3. Fluxograma metodológico da análise espacial da expansão urbana.

3. Resultados e Discussão

Ao observar as classificações de uso e cobertura da terra de 1985, 1994 e 2011 realizados para o município de Petrópolis (Figura 4), percebe-se poucas mudanças entre os mapeamentos. Analisando a tabela de áreas (Tabela 1), constata-se que em números absolutos, as classes que mais sofreram alterações foram as áreas florestadas, com uma perda de 1.770 hectares e as áreas urbanas, com um acréscimo de 1.212 hectares. Porém, numa análise em números percentuais de variação para cada classe, a Vegetação em Estágio Inicial (VEI) se destaca, com um acréscimo de 38% de área, enquanto que a classe urbana aumentou em 16,81%. As Florestas perderam 3,78% de sua área total, nesses 26 anos de intervalo da pesquisa (Figura 5).

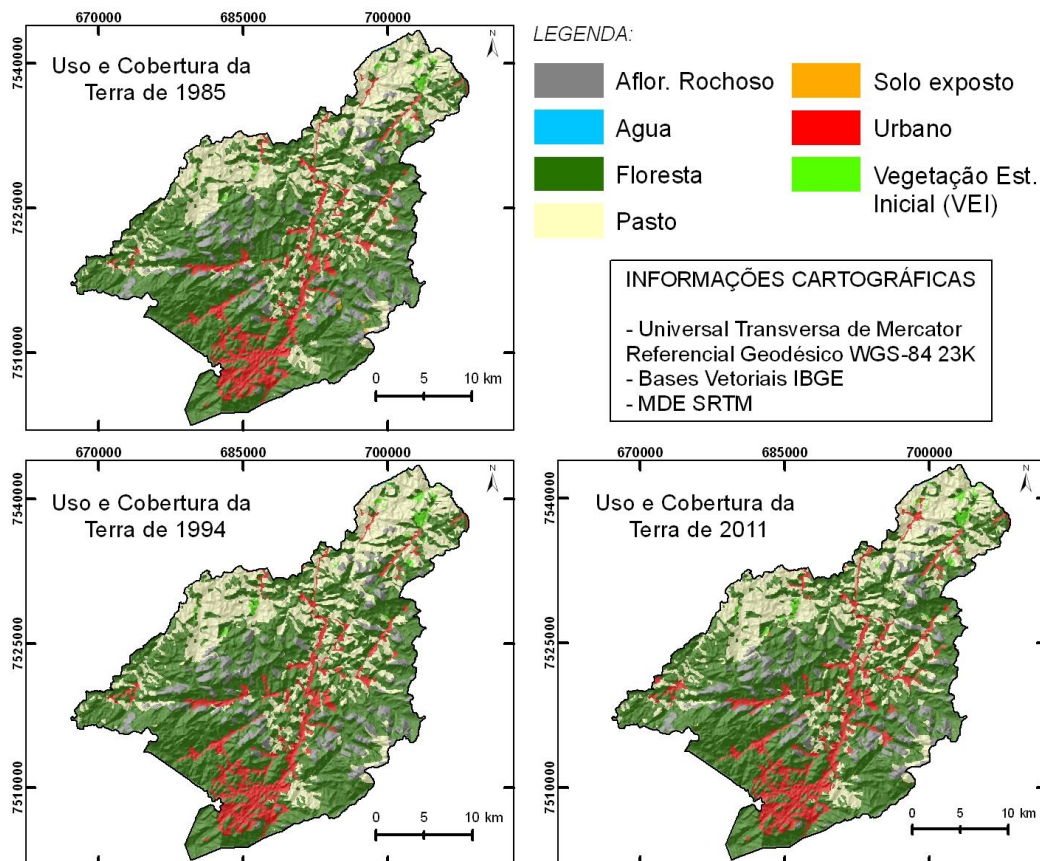


Figura 4. Mapeamento de uso e cobertura da terra no município de Petrópolis, nos anos de 1985, 1994 e 2011.

Tabela 1. Áreas das coberturas e uso da terra, no município de Petrópolis, entre os anos 1985, 1994 e 2011.

| Classes | 1985 | | 1994 | | 2011 | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | ha | % | ha | % | ha | % |
| Afloramento Rochoso | 6054 | 7,62 | 6054 | 7,62 | 6054 | 7,62 |
| Água | 42 | 0,05 | 42 | 0,05 | 42 | 0,05 |
| Floresta | 47233 | 59,43 | 46098 | 58,01 | 45463 | 57,21 |
| Pastagem | 18611 | 23,42 | 19217 | 24,18 | 18959 | 23,82 |
| Solo Exposto | 86 | 0,11 | 11 | 0,01 | 0 | 0 |
| Urbano | 6940 | 8,73 | 7352 | 9,25 | 8152 | 10,26 |
| Vegetação em Estágio Inicial (VEI) | 505 | 0,64 | 697 | 0,88 | 802 | 1,01 |

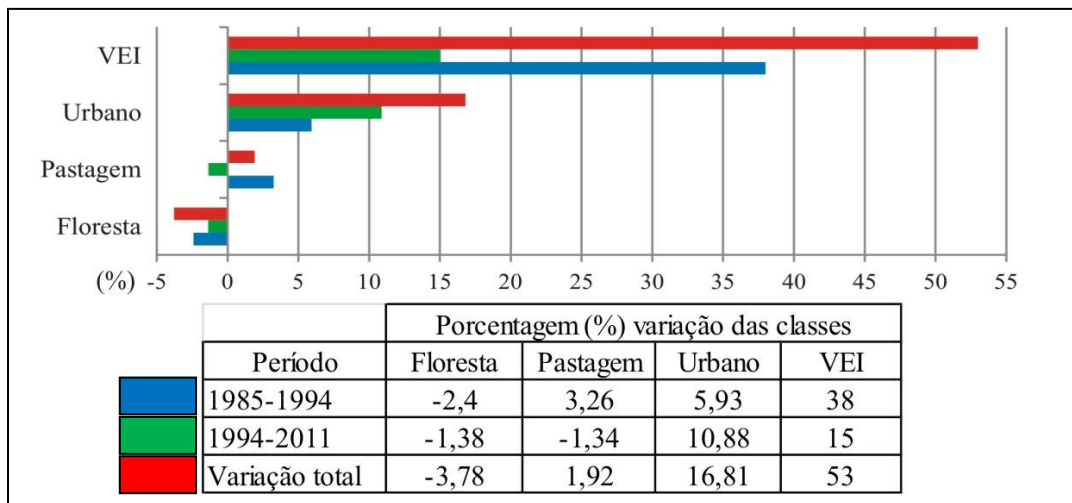


Figura 5. Comportamento das principais mudanças na cobertura e uso da terra.

Análise da expansão urbana (1985-1994-2011)

Após a interseção dos cenários temporais de uso e cobertura da terra de Petrópolis (1985, 1994 e 2011) constatou-se que houve mudança em 2.628 hectares da área total do município, correspondentes à 3,36% de sua área, ou seja, 96,64% da área do município se manteve invariante. Em relação às mudanças, aproximadamente 1.211 hectares correspondem a expansões urbanas. Estas urbanizações foram distribuídas de forma diferenciada em cada período. No primeiro período, de 1985 à 1994, 412 hectares foram urbanizados, enquanto que no segundo período, de 1994 à 2011, esta taxa aumentou para 799 ha (Figura 6).

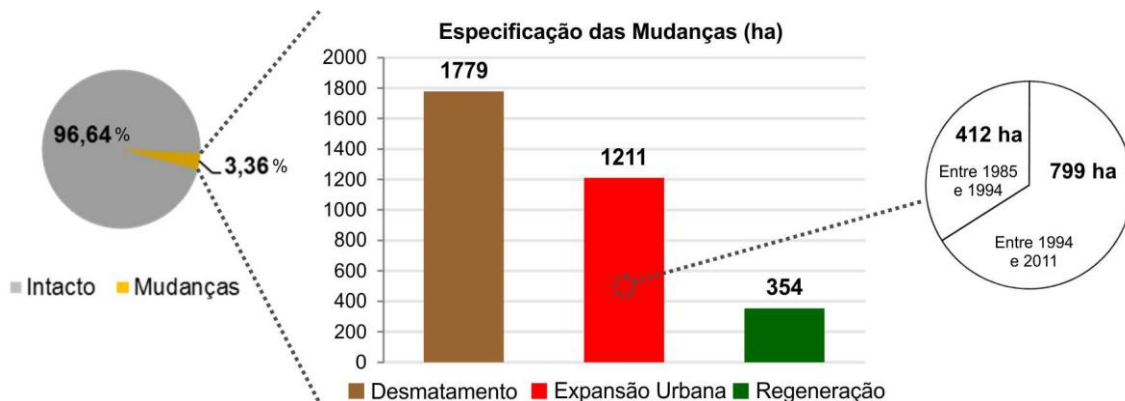


Figura 6. Área (em há) das principais mudanças na cobertura e uso da terra.

Outro resultado analisado, diz respeito à qual cobertura foi substituída para a implementação de áreas urbanas. De toda a área desmatada, apenas duas supressões de coberturas foram observadas: uma em áreas de pastagens e outras em florestas. Em área, 467 ha (39%) de pastagens foram urbanizadas, enquanto que 744 ha (61%) de áreas florestadas foram supridas por áreas urbanas (Figura 7).

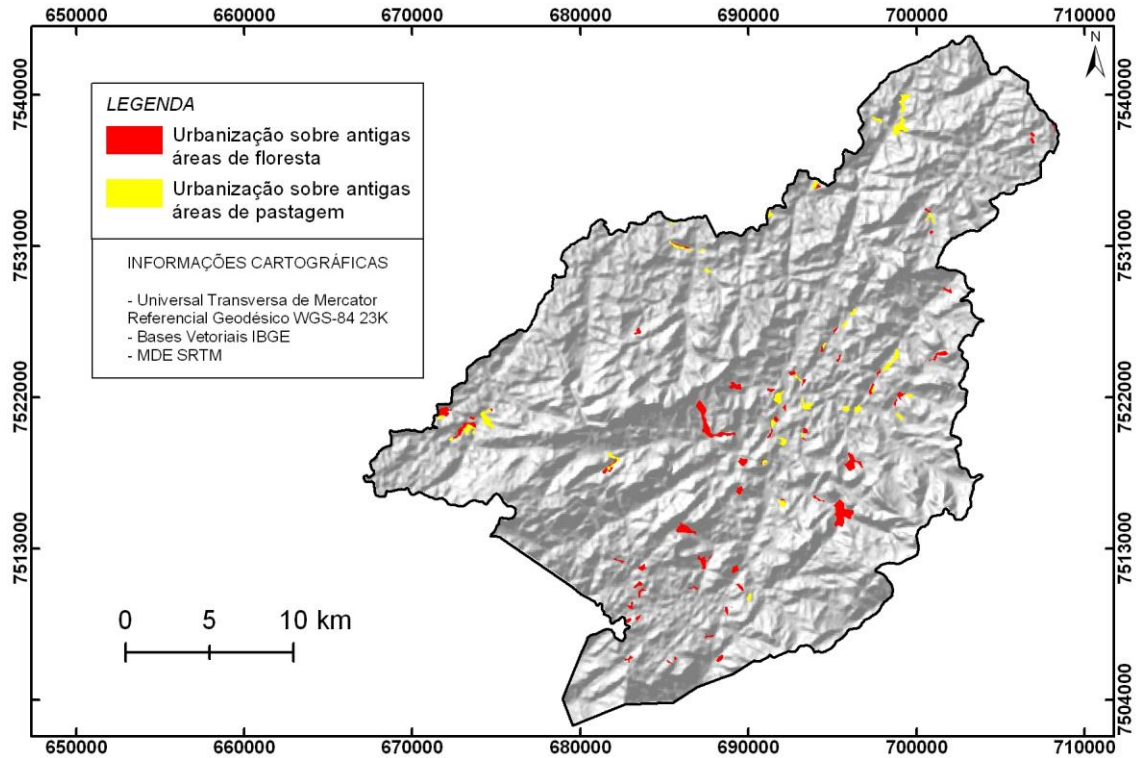


Figura 7. Distribuição da expansão urbana no município de Petrópolis entre 1985 e 2011.

É interessante observar a concentração de novas urbanizações em antigas áreas florestadas na porção mais montanhosa do município, próximas também às regiões mais centrais e historicamente mais povoadas. Nas regiões mais periféricas, onde se observa menos população e um relevo menos acidentado, novas áreas urbanas surgiram em antigas pastagens.

Numa análise da ocorrência das expansões urbanas no relevo, ainda levando em conta as coberturas que a precederam (pastagens e florestas), os histogramas de altitude e declividade mostraram algumas diferenças e semelhanças entre elas (Figuras 8 e 9).

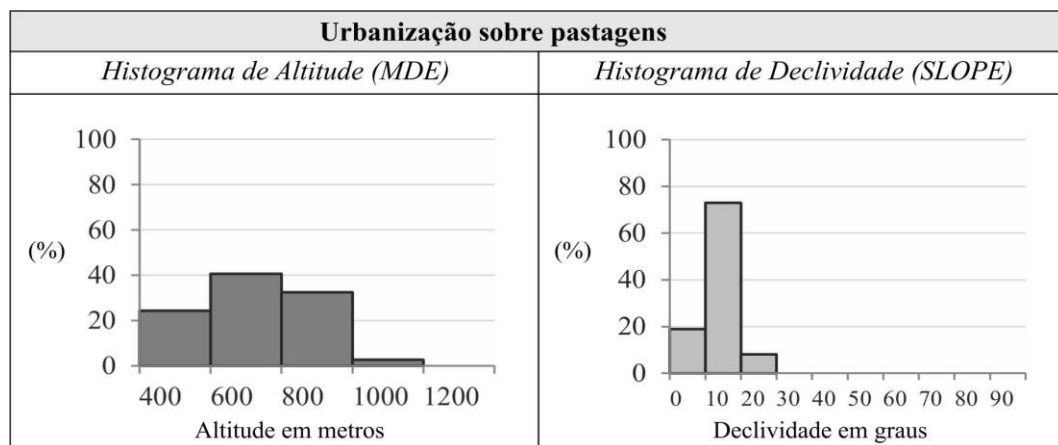


Figura 8 Histogramas de frequência por classes de altitude e declividade do crescimento urbano em áreas de pastagens.

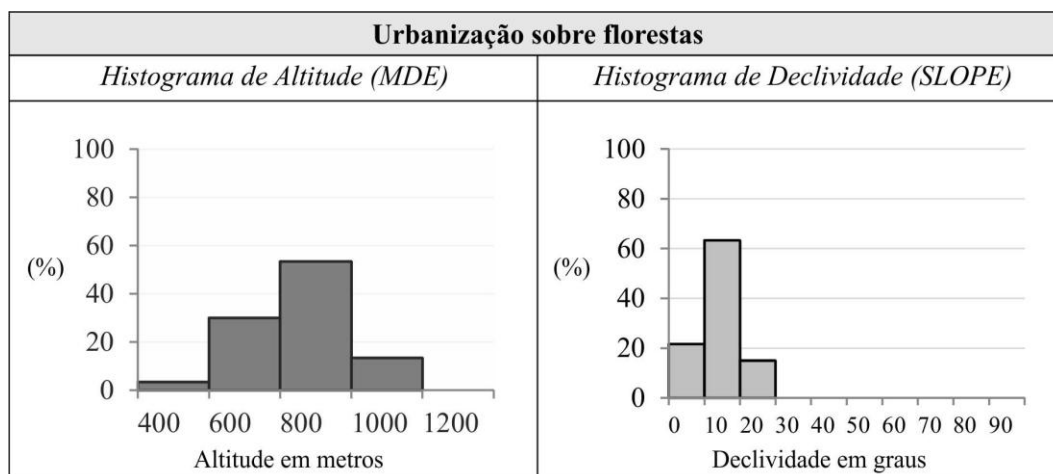


Figura 8 Histogramas de frequência por classes de altitude e declividade do crescimento urbano em áreas de florestas.

Observa-se que o avanço da área urbana sobre pastagens estão bem distribuídos entre os intervalos mais baixos de altitude, tendo um pouco de destaque na faixa entre 600 e 800 metros. As novas urbanizações em antigas áreas florestas predominam em altitudes mais elevadas, especialmente entre 800 e 1000 metros. A declividade deste fenômeno em ambos os casos concentram-se, em sua maioria, em relevos suavemente ondulados (10 a 20 graus). É importante destacar que ocupações urbanas em relevos suavemente a fortemente ondulados (20 a 30 graus) também foram observadas, fato este que pode acarretar novas tragédias com movimentos de massa na cidade.

4. Conclusões

A utilização de cenários temporais de uso e cobertura da terra para os anos estudados (1985, 1994 e 2007), utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, mostrou-se satisfatória para avaliação e análise das modificações e identificação das expansões urbanas.

No período analisado, o município manteve a maior parte da sua área invariante. Das mudanças observadas, o desmatamento é o mais expressivo, seguido da área urbana e da regeneração da cobertura vegetal. Mas da metade da expansão urbana ocorre sobre áreas de floresta, principalmente em áreas mais elevadas. O restante ocorre sobre antigas pastagens a altitudes menores.

Fica a necessidade de estudos mais aprofundados com relação a essa temática, que possam, a partir das contribuições do presente trabalho desenvolver futuras pesquisas analisando, elaborando e propondo medidas que possam minimizar as pressões antrópicas que a cada ano vem aumentando no município de Petrópolis.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Geografia Física (LAGEF), da Universidade Federal Fluminense (UFF); ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais ESPAÇO, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ); à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio a esta pesquisa.

Referências Bibliográficas

Abreu, M.B. Análise Espaço-temporal da Cobertura e Uso da Terra no Estado do Rio de Janeiro de 1994 até 2007. 2010. 134 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

Baatz, M.; Schape, A. Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. AGIT-Symposium Salzburg, Karlsruhe, 1999.

Beltrame, E.; Bittencourt, H.R.; Jansen, S.L. Uma proposta para a detecção de mudanças pós-classificação. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, RN, Brasil. INPE, p. 1261-1269, 2009

Coppin, P.; Jonckheere, I.; Nackaerts, K.; Muys, B.; Lambin, E. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v. 09, n° 05, p. 1565-1596, 2004.

Cruz, C.B.M.; Vicens, R.S.; Seabra, V.S.; Reis R.B.; Faber, O.A.; Richter, M.; Arnaut, P.K.E.; Araújo, M. Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, SC, Brasil. INPE, p. 5691-5698, 2007.

Cruz, C.B.M.; Vicens, R.S.; Rosário, L.S.; Abreu, M.B.; Almeida, P.M.M.; Cronemberger, F.M. Classificação orientada a objetos na geração do mapa de uso e cobertura do estado do Rio de Janeiro. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Natal, RN, Brasil. INPE, p. 7789-7796, 2009

Gonçalves, L.F.H. Avaliação e diagnóstico da distribuição espacial e temporal dos movimentos de massa com a expansão da área urbana em Petrópolis - RJ. 1998. 170 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Lu D.; Mausel, P.; Brondizio, E.; Moran, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n° 12, p. 2365-2407, 2004.

Martinelli, M. Cartografia Ambiental, Uma Cartografia Diferente? **Revista do Departamento de Geografia - USP**, v. 07. p. 61-80, 1994.

Seabra, V.S. Análise Geocológica dos Remanescentes Florestais de Mata Atlântica do Rio de Janeiro - uma contribuição metodológica para as estratégias de conservação e recuperação. 2012. Tese (Doutorado em Geografia) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Seabra, V.S.; Silva, F.P. O uso do sensoriamento remoto para análise da evolução das manchas urbanas no município de Maricá entre os anos de 1975, 1990 e 2008. **Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Curitiba, PR, Brasil. INPE, p. 6426-6433, 2011.