

Estudo de Vulnerabilidade Ambiental nas Zonas em Expansão Urbana de São José dos Campos-SP, usando o método híbrido de classificação de imagens

Camila Andrade Abe¹
Filipe Altoé Temporim¹
Guilherme Gregório Silva¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{camila.abe, filipe.temporim, guilherme.gregorio}@inpe.br

Abstract: Empirical Analysis of Fragility of Natural Environments (EAFNE) gives support to the territorial planning of areas in the urban expansion process. Once the EAFNE method is sensitive to land use and land cover data, it is necessary that this type of mapping is highly accurate. Given the high level of accuracy that can be obtained on land use/land cover mapping by applying the hybrid method of digital images classification, in this paper we aimed to verify the effects of the hybrid method on EAFNE. The comparison between the maps of Potential and Emerging Vulnerability generated from a land use/land cover map classified by automatic classification (global accuracy: 88%) and the maps of Potential and Emerging Vulnerability generated from a land use/land cover maps classified using the hybrid method (global accuracy: 97%) shows that the use of the hybrid method for the classification of land use/land cover maps lead to different percentages of areas classified in levels of environmental instability, which can result in restriction of land use/land cover of some areas to be over or under estimated.

Palavras-chave: environmental fragility, vulnerability, urban expansion, remote sensing.

1. Introdução

O caráter dinâmico do planeta é resultado de uma intensa e constante relação entre processos de cunhos naturais e antrópicos (SILVA E COSTA, 2011). Porém, intervenções antrópicas intensas e sem planejamento têm afetado diretamente a paisagem e diversos ecossistemas, reduzindo conseqüentemente, a qualidade de vida de comunidades humanas estabelecidas em diferentes regiões.

Por outro lado, também se nota uma crescente preocupação em tentar reverter esse quadro. Para isso, Ross (2001) estabelece a Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais, tendo como produtos a definição de Unidades Ecodinâmicas Estáveis e Instáveis (áreas ainda não atropizadas e áreas em que o equilíbrio dinâmico natural foi quebrado devido a intervenções antrópicas, respectivamente) e as respectivas cartas de Vulnerabilidade Potencial e de Vulnerabilidade Emergente, relacionando fatores naturais do território e intervenções antrópicas, sendo ambas importantes para tomada de decisões e planejamento territorial. A análise proposta por Ross (200) ainda pode ser ampliada ao se atribuir graus de instabilidade às unidades ecodinâmicas, a saber: Instabilidade Muito Fraca, Fraca, Média, Forte e Muito Forte.

Como as unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis são determinadas principalmente com base em informações de intervenções antrópicas no ambiente, a análise de fragilidade se torna especialmente sensível aos dados de uso e ocupação do solo, o que exige grande exatidão de tais dados. Para atingir alta exatidão em uma classificação, Moreira (2011) recomenda a interpretação visual da imagem pelo usuário e aplicação do método híbrido de classificação, por meio da edição matricial.

Neste contexto, o presente estudo objetiva aplicar o método híbrido de classificação de imagens digitais associado ao método de Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e verificar seus efeitos na definição, quantificação e avaliação da vulnerabilidade ambiental das áreas em expansão urbana na zona sudeste de São José dos Campos, para o ano de 2015.

2. Materiais e metodologia

A metodologia aplicada neste trabalho se baseou em Ross (1994). As principais etapas são descritas nos tópicos a seguir.

2.1. Definição e descrição da área de estudo

A partir do mapa de divisão de Regiões Geográficas de São José dos Campos (bando de dados Cidade Viva), verificou-se a inserção do campus do INPE na região sudeste da cidade, tomando assim a delimitação de tal região como primeiro limitante da área elegível para o presente estudo.

Em seguida, foram tomadas imagens do sensor OLI/Landsat-8 (órbita/ponto 218/076), e elaborada uma composição colorida. Em tal composição, foi utilizada uma imagem da banda 4, referente a 25/08/2013, no canal do vermelho, a banda 4 de uma imagem referente a 12/08/2014 no canal do verde e a banda 4 referente a 31/08/2015 no canal do azul, possibilitando observar e delimitar as áreas de expansão urbana entre os anos de 2013 a 2015 na coloração azul/cyan na região delimitada anteriormente.

Finalmente, analisou-se o Zoneamento Urbano da região. Sobrepondo a máscara de expansão urbana de 2013-2015 à máscara vetorial de zoneamento urbano da região, pôde-se detectar áreas de expansão urbana, para implantação de condomínios, que coincidiam com Zonas de Uso Estritamente Industrial – ZI.

Usando a mesma sobreposição de máscaras também foi possível verificar movimentação de terras, possivelmente direcionadas a loteamentos, entre a ZI e Zonas de Qualificação – ZQA (glebas e/ou terrenos sem infraestrutura, mas que possuem localização estratégica para o crescimento urbano e desenvolvimento municipal).

Portanto, a área de estudo delimitada apresenta constante movimentação imobiliária, sendo também propícia à expansão municipal, com grandes regiões vazias, de boa acessibilidade ou de fácil adequação e de alto valor venal (Figura 1).

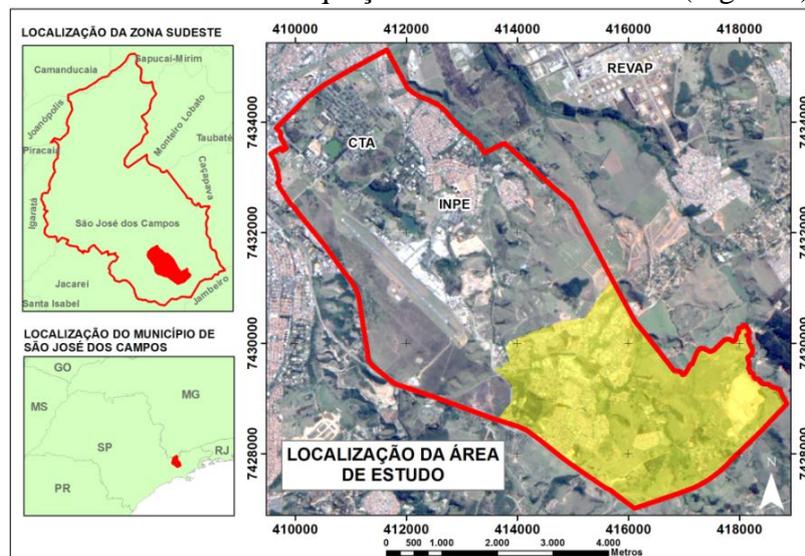


Figura 1. Localização da área de estudo destacada em amarelo. Fonte: Produção dos autores.

2.2. Fragilidade/Vulnerabilidade Ambiental

A determinação da fragilidade/vulnerabilidade ambiental segue uma análise integrada de variáveis de relevo, solo, uso e cobertura do solo. A superposição dessas variáveis hierarquizadas em cinco classes de vulnerabilidade (de ‘Muito Fraco’ a ‘Muito Forte’) define o grau de fragilidade/vulnerabilidade ambiental final da área.

A partir do mapa de uso e cobertura do solo, faz-se a individualização de Unidades Ecodinâmicas Instáveis e de Unidades Ecodinâmicas Estáveis, definidas

também nos cinco graus de instabilidade Emergente (quando a ação antrópica já desestabilizou o equilíbrio dinâmico natural) e instabilidade Potencial (quando não há ação antrópica), respectivamente (SPÖRL, 2007) (Figura 2).



Figura 2. Fragilidade/Vulnerabilidade Ambiental – Unidades Ecodinâmicas. Fonte: Adaptado de Nascimento e Souza, 2010.

Para obtenção da Instabilidade Ambiental Potencial, é necessário utilizar a declividade da área e a classificação pedológica na região. Para a obtenção da instabilidade ambiental emergente, utiliza-se a instabilidade ambiental potencial associada ao uso e cobertura do solo.

Tabela 1. Definição dos graus de dissecação, fragilidade e proteção da área. Fonte: Adaptado de Ross, 2001; e Spörl, 2007.

| Graus de Dissecação | Morfologia e Morfometria | Graus de Fragilidade à erodibilidade | Tipos de Solo |
|---------------------------|--|--|--|
| 1 - Muito Fraca | Superfícies planas, formas de topos de morro planos com drenagem de fraco entalhamento – Declividades entre 0 e 5% | 1 - Fraca | Latossolo vermelho-amarelo; latossolo vermelho escuro – textura argilosa, desenvolvimento litologia de sedimentos argilosos; Latossolo roxo e terra roxa – textura argilosa, desenvolvimento de litologias como gabro, diabásio, basalto. |
| 2 – Fraca | Formas de topos planos ou ligeiramente convexizados, com canais de drenagem de fraco entalhamento – Declividades entre 5 e 10% | 2 - Média | Podzólicos vermelho-amarelos – textura média argilosa, desenvolvimento na litologia de granitos, gnaisses e migmatitos em relevo acentuada declividade; Latossolo vermelho-amarelo – textura média argilosa – desenvolvimento de arenitos finos em associação com argilitos. |
| 3 – Média | Formas de topos convexos de pequena dimensão interfluvial e canais pouco entalhados e formas de topos convexos ou planos de dimensão interfluvial pouco maior e canais medianamente entalhados – Declividades entre 10 e 20% | | |
| 4 – Forte | Formas com topos planos a convexos e amplos com canais de forte entalhamento ou formas de topos planos ou convexos de pequena dimensão interfluvial e médio entalhamento dos canais – Declividades entre 20 e 30% | 3 - Forte | Cambissolos – desenvolvimento na litologia de granitos, vertentes com alta declividade ou ainda na litologia de siltitios; Latossolo textura média a arenosa, desenvolvimento na litologia de arenito friável; Areias quartzozas – desenvolvimento de arenitos; Hidromórficos. |
| 5 - Muito Forte | Formas de topos aguçados ou convexos de dimensões interfluviais de média a pequena e forte entalhamento dos canais – Declividades acima de 30% | | |
| Graus de Proteção do Solo | | Tipos de Cobertura do Solo | |
| 1 - Muito Alto | | Floresta/Mata | |
| 2 – Alto | | Reflorestamento | |
| 3 – Médio | | Pastagens e agricultura de ciclo longo | |
| 4 – Baixo | | Agricultura de ciclo curto – não aplicável | |
| 5 – Muito Baixo | | Solo exposto/Queimada | |

2.2.1. Graus de Dissecação do Relevo

A dissecação do relevo foi determinada a partir do DEM do programa SRTM da NASA, com resolução espacial de 30 metros. A partir desse dado e utilizando um SIG, gerou-se a declividade do terreno, sendo esta posteriormente fatiada em classes de dissecação apresentadas na tabela 1.

2.2.1. Graus de Fragilidade à Erodibilidade

Partindo do mapa pedológico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foi possível identificar os tipos de solos da região de estudo e representar tais tipos de solo em vetores classificados também conforme a tabela 1.

2.2.1. Graus de Proteção do Solo

Para a definição dos graus de proteção do solo na área de estudo, primeiramente foi feita a classificação do uso e cobertura do solo a partir de uma imagem óptica de alta resolução espacial, extraída do Google Earth (imagem GeoEye de 31/08/2015). Em seguida, a imagem classificada de uso e cobertura do solo foi reclassificada com base no ranqueamento descrito na tabela 1, para os Graus de Proteção do Solo.

Duas abordagens foram tomadas para a classificação do uso e cobertura do solo. A primeira foi utilizando apenas a classificação digital automática. Nessa abordagem, o classificador automático aplicado foi o de distância de Bhattacharyya, usando segmentação por crescimento de regiões. A segunda abordagem foi feita com a aplicação do método híbrido de classificação de imagens digitais, também utilizando a classificação automática de Bhattacharyya e a segmentação.

Durante a edição matricial porém, foram verificadas feições na imagem GeoEye que não eram de grande conhecimento dos autores. Assim, optou-se por realizar um trabalho de campo para verificar o tipo de uso e cobertura do solo em tais áreas. Após essa verificação da área, o trabalho de edição matricial foi retomado, levando a um mapa de uso e cobertura do solo mais detalhado e exato.

2.2.2. Instabilidade Ambiental Potencial e Emergente

A partir dos mapas de graus de dissecação do relevo, fragilidade à erodibilidade e proteção do solo, gera-se os mapas de Instabilidade Potencial e Emergente, hierarquizados de acordo com os critérios apresentados na tabela 2.

Tabela 2. Classificação da Instabilidade Ambiental Potencial e Emergente. Fonte: Adaptado de Ross, 2001.

| Instabilidade Potencial | Variáveis do Meio Físico | | |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|---------------------------|
| | Graus de Dissecação | Graus de Fragilidade | Graus de Proteção do Solo |
| 1 - Muito Fraca | 1 - Muito Fraca | 1 - Fraca 2 - Média | 1 - Muito Alto |
| 2 - Fraca | 2 - Fraca | 2 - Fraca | 1 - Muito Alto |
| 3 - Média | 2 - Fraca | 2 - Média | 1 - Muito Alto |
| | 3 - Média | 1 - Fraca | |
| | 3 - Média | 2 - Média | |
| 4 - Forte | 4 - Forte | 1 - Fraca | 1 - Muito Alto |
| | 5 - Muito Forte | 2 - Média | |
| 5 - Muito Forte | 5 - Muito Forte | 1 - Fraca | 1 - Muito Alto |
| Instabilidade Emergente | Variáveis do Meio Físico | | |
| | Graus de Dissecação | Graus de Fragilidade | Graus de Proteção do Solo |
| 1 - Muito Fraca * | 1 - Muito Fraca | 2 - Média | 1 - Muito Alto |
| 2 - Fraca | 1 - Muito Fraca | 1 - Fraca | 3 - Médio |
| | 1 - Muito Fraca | 2 - Média | |
| | 2 - Fraca | 2 - Média | 2 - Alto |
| | 1 - Muito Fraca | 2 - Média | |
| | 3 - Média | 2 - Média | |
| 4 - Forte | 2 - Média | | |

| | | | |
|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|
| | 5 – Muito Forte | 2 - Média | 3 - Médio |
| | 2 - Fraca | 1 - Fraca | |
| | 4 - Forte | 2 - Média | |
| 3 - Média | 1 – Muito Fraca | 1 - Fraca | 5 – Muito Baixo |
| | 2 – Fraca | 2 – Média | |
| | 3 - Média | 1 - Fraca | |
| | 2 – Fraca | 2 – Média | 3 – Médio |
| | 3 - Média | 1 - Fraca | |
| | 3 - Média | 2 - Média | |
| 4 - Forte | 4 – Forte | 1 - Fraca | 3 - Médio |
| | 5 – Muito Forte | 1 – Fraca | |
| | 5 – Muito Forte | 2 - Média | |
| | 2 - Fraca | 1 - Fraca | |
| 5 - Muito Forte | 1 – Muito Fraca | 2 - Média | 5 – Muito Baixo |
| | 3 - Média | 2 - Média | |
| | 4 - Forte | 1 - Fraca | |
| | 4 - Forte | 2 - Média | |
| | 5 – Muito Forte | 1 - Fraca | 5 – Muito Baixo |
| | 5 – Muito Forte | 3 - Média | |
| | 5 – Muito Forte | 3 - Média | |

*Área equivalentes à classificação potencial.

3. Resultados e Discussão

3.1. Mapa de uso e cobertura do solo

Durante a elaboração da classificação de uso e cobertura do solo usando o método híbrido, observou-se erros de classificação pelo algoritmo automático e, na imagem GeoEye, áreas de identificação dúbias.

A maior parte dos erros de classificação ocorreu entre áreas urbanas consolidadas e áreas de solo exposto, uma vez que essas são áreas mais homogêneas e portanto, mais facilmente delimitáveis, foram criadas máscaras classificadas visualmente. Já as áreas dúbias tiveram sua classificação definida após a verificação da área em campo (Tabela 3).

Tabela 3. Exemplos de áreas dúbias: (1) pasto antropizado; (2) cultivo de jabuticaba. Fonte: Produção dos autores.

| | Áreas dúbias | Foto |
|-----|---|--|
| (1) |  |  |
| (2) |  |  |

Os mapas de uso e cobertura do solo gerados a partir da classificação automática (Figura 3A) e método híbrido (Figura 3B). Ambos os mapas foram submetidos à validação, sendo que a exatidão global do mapa gerado a partir da classificação automática foi de 88%, e de 97%, para o mapa gerado por meio do método híbrido.

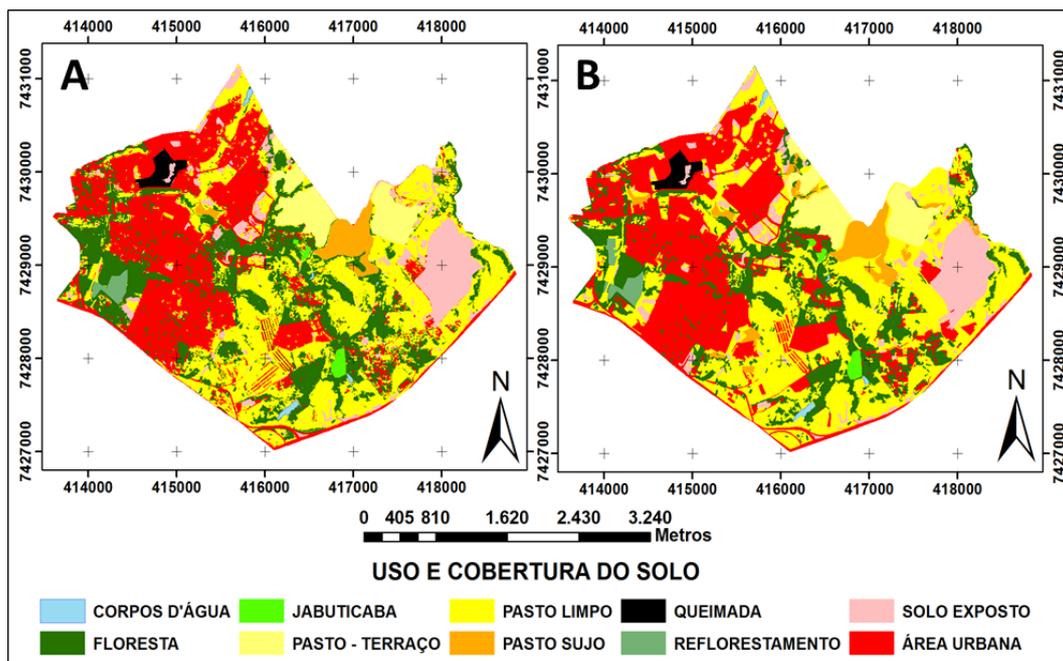


Figura 3. Uso e cobertura do solo: classificação automática (A) e método híbrido (B). Fonte: Produção dos autores.

Nota-se que o mapa gerado a partir do método híbrido (Figura 3B) apresenta áreas mais homogêneas, por exemplo, com menos erros de inclusão de áreas de floresta e pasto limpo em áreas que na realidade são urbanizadas. Além disso, os contornos dos polígonos que representam as classes do mapa gerado a partir do método híbrido são mais suaves em relação aos contornos dos polígonos do mapa gerado pela classificação automática.

3.2. Graus de dissecação do relevo, fragilidade à erodibilidade e proteção do solo

Quanto aos graus de dissecação do relevo, foram observados 20,48% da área classificados como Muito Fraco, 20,88% Fraco, 22,27% Média, 20,44% Forte e 15,94% Muito Forte. Já as proporções de área classificadas com os graus de fragilidade à erodibilidade foram de 8,61% Fraco e 91,39% Média. E por fim, as proporções de áreas com os graus de proteção do solo, no mapa gerado a partir do método híbrido, foram de 36,02% como Muito Baixo, 48,04% Média, 0,79% Alto e 15,15% Muito Alto, enquanto as proporções de áreas dos graus de proteção do solo, no mapa gerado a partir da classificação automática, foram de 44,21% como Muito Baixo, 35,57% Médio, 0,55% Alto e 19,67% Muito Alto.

3.3. Instabilidade Ambiental Potencial e Emergente

Em seguida por meio da sobreposição dos mapas, gerou-se as classificações de Instabilidade Ambiental Potencial e Emergente para ambos os mapas de uso e cobertura do solo gerados (Figura 4), atribuindo os valores de instabilidade potencial e emergente conforme a tabela 2.

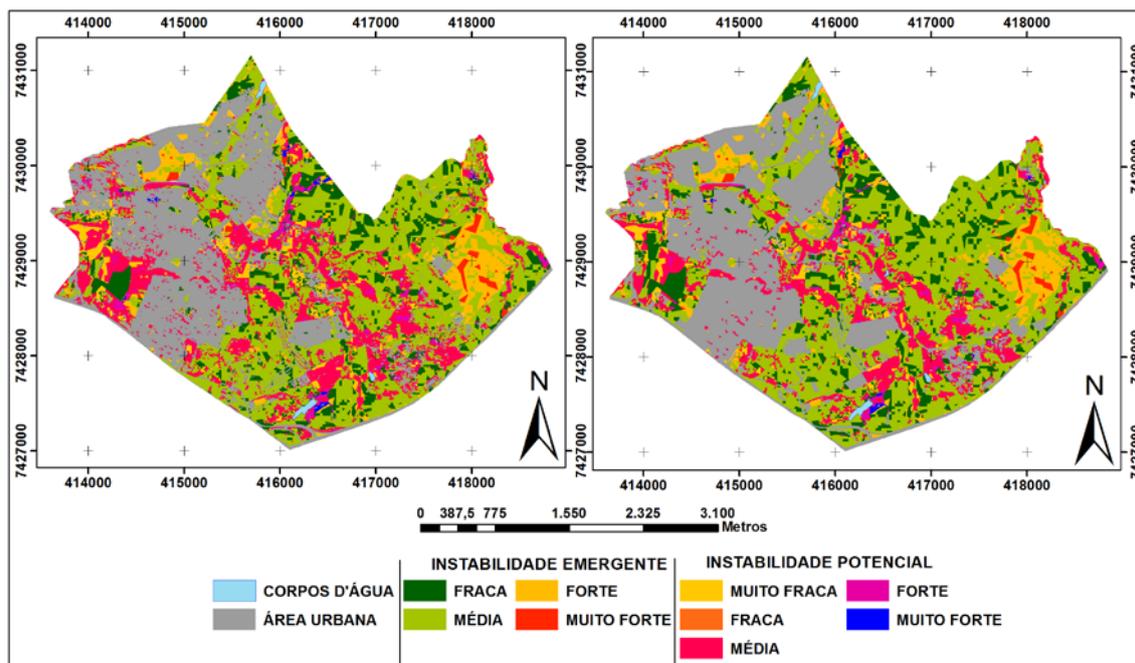


Figura 4. Mapas de Instabilidade Ambiental Potencial e Emergente, gerados a partir da classificação automática (A) e híbrida (B). Fonte: Produção dos autores.

As proporções de área classificadas com os graus de Instabilidade Ambiental Potencial e Emergente, geradas a partir dos mapas de uso e cobertura do solo, gerados pelo método híbrido e pelo método automático, são apresentadas na tabela 4.

Tabela 3. Porcentagem de áreas ranqueadas nos graus de instabilidade ambiental. Fonte: Produção dos autores.

| Grau de instabilidade Ambiental | Método Híbrido | | Método automático | |
|---------------------------------|----------------|---------------|-------------------|---------------|
| | Potencial (%) | Emergente (%) | Potencial (%) | Emergente (%) |
| Muito Baixo | 16,17 | - | 23,98 | - |
| Baixo | 0,50 | 28,42 | 4,69 | 24,66 |
| Médio | 74,51 | 28,45 | 24,01 | 25,12 |
| Alto | 7,65 | 23,93 | 24,00 | 25,13 |
| Muito Alto | 1,17 | 19,20 | 23,32 | 25,09 |

No método híbrido, apenas 8,82% da área é classificada com grau de alto a muito alto de instabilidade ambiental potencial, enquanto o método automático classifica 47,32% da área com esses graus de instabilidade. Isso demonstra, portanto, que se o resultado da análise de fragilidade obtido a partir da aplicação do método automático de classificação de imagem fosse usado para o planejamento da expansão urbana no município, algumas áreas teriam uso mais restrito do que realmente aplicável, segundo os resultados gerados usando o método híbrido de classificação.

O contrário ocorre nas áreas classificadas com graus de instabilidade ambiental potencial de Muito Baixo a Baixo, quando os resultados gerados pela aplicação do método híbrido mostram que 16,67% da área é classificada com esses graus de instabilidade, enquanto 28,67% são assim classificadas nos resultados gerados pela aplicação do método automático de classificação. Ou seja, neste caso, o uso do método automático para tal análise levaria a menores restrições de uso de algumas áreas, quando essas deveriam ter uso mais restrito.

Não há áreas classificadas com grau de instabilidade ambiental emergente Muito Baixo, uma vez que tais áreas que possuem alto grau de proteção do solo, ainda que antropizadas, são consideradas nos graus de instabilidade ambiental emergente. De modo geral, as proporções de área entre os resultados gerados por ambos os métodos não apresentaram grandes diferenças entre si, sendo a maior diferença observada entre as áreas classificadas com grau de instabilidade ambiental emergente Muito Alto. Assim, nota-se novamente, que se o método automático de classificação fosse usado na análise de fragilidade ambiental para o planejamento territorial, algumas áreas teriam maiores restrições de uso do que realmente aplicável, sendo os resultados gerados usando o método híbrido de classificação.

4. Conclusão

Dado que a Análise de Fragilidade Ambiental é importante para o planejamento territorial e definição de restrição de uso das áreas de expansão urbana, o método híbrido de classificação de imagens pode levar a resultados mais exatos nessas análises, evitando que algumas áreas tenham suas restrições de uso e ocupação sub ou superestimadas.

Conclui-se que a área sudeste de São José dos Campos apresenta grande atividade de expansão urbana de 2013 a 2015 localizadas em zonas extritamente industriais, sendo que, aproximadamente, 75% da área analisada é classificada como grau de Instabilidade Ambiental Potencial médio. Assim, sugere-se um maior cuidado na ocupação dessas áreas.

5. Referências bibliográficas

- CEREDA JUNIOR, A. *Análise de Fragilidade Ambiental com Métodos Multicritério – Críticas e Proposta Metodológica*. 2011. 148 p. Tese (Doutorado) Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, UFSCar, São Carlos. 2011.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de Aplicação**. Viçosa: Editora UFV, 2011. 422 p. ISBN 978-85-7269-381-3. Disponível em: <editora@ufv.br>. Acesso em: 28 nov. 2015.
- NASCIMENTO, M.D.; SOUZA, B.S.P. Fragilidade ambiental e expansão urbana da Região Administrativa Nordeste da sede do município de Santa Maria-RS. **Ciência e Natura**, UFSM, 32 (2): 163 - 181, 2010.
- ROSS, J.L.S. Análise Empírica da Fragilidade de Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v.1, n.8, 1994.
- ROSS, J.L.S. *Geomorfologia: ambiente e planejamento*. 8ª Ed., 1ª Reimpressão. Editora Contexto. São Paulo – SP, 2001.
- SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. *Lei Complementar n.º 428, de 09 de agosto de 2010*. Estabelece as normas relativas ao parcelamento, uso e ocupação do solo em São José dos Campos, e dá outras providências.
- SILVA, G. A.; COSTA, R. A. *Paisagem e fragilidade ambiental natural da bacia hidrográfica do ribeirão São Lourenço, Ituiutaba/Prata – MG*. Instituto de Geografia – UFU. Caminhos da Geografia, v.12, n. 39. Set/2011. P. 151-166.
- SPÖRL, C. *Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais*. 2007. 185 p. Tese (Doutorado Geografia Física) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.