

Mapeamento de favelas usando classificação orientada a objeto – estudo de caso em Paraisópolis, São Paulo (SP)

Hermann Johann Heinrich Kux¹
Tessio Novack¹
Leila Maria Garcia Fonseca¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{hermann, tessio}@dsr.inpe.br, leila@dpi.inpe.br

Abstract. Since the 1980s the percentage of São Paulo citizens living in slums has strongly increased. On a global scale, one in every six persons lived in slums in 2006 as estimated by UN-HABITAT. This freighting scenario is, among other factors, caused by the lack of efficient housing policies and methodologies for database updating compatible with the constant changing dynamics of slums, also called “informal settlements”. With the increasing disposal of high spatial resolution imagery and the possibility of applying an object-based approach to analyze these data, remote sensing can be used for monitoring the dynamics of slums at a good cost-benefit relation and at almost any desired time interval. This paper presents an object-based methodology for the detection of blocks containing informal settlements utilizing the *Definiens Developer* system and data from the *QuickBird II* sensor. The test area is the Paraisópolis slum, the second largest in São Paulo. Based on a land cover classification, urban blocks were distinguished among the presence or absence of informal settlements at a higher classification level. In order to do that, customized and previously explored features were used. Their fuzzy membership functions were molded according to our cognitive judgments when visually interpreting informal settlements. The results obtained are encouraging in terms of the applicability of the proposed methodology.

Palavras-chave: slums, object-based classification, fuzzy logic, favelas, classificação orientada a objeto, lógica fuzzy.

1. Introdução

Nas últimas décadas, países em desenvolvimento sofreram um intenso processo de urbanização. Atualmente mais da metade da população mundial vive em áreas urbanas. Estima-se que em 2030 este valor aumente para 60% (Moore et al., 2003), e que o crescimento atinja especialmente os países em desenvolvimento (Kotter, 2004). O surgimento e expansão de assentamentos informais, mais conhecidos como “favelas” no Brasil, está diretamente relacionado ao aumento mundial da urbanização. As Nações Unidas estimaram que no ano de 2006, uma em cada seis habitantes do nosso planeta vivia em favelas. Este total poderá perfazer no ano de 2020 um total de 1,4 bilhões de pessoas (UN-HABITAT, 2006). Estas ocupações urbanas informais causam não somente a degradação social, mas também sérias implicações ambientais, devido ao seu caráter ilegal e da falta de serviços básicos de responsabilidade governamental (Taschner, 2000; Chougill, 2007).

Na Grande São Paulo, o percentual de moradores em ocupações informais tem aumentado fortemente desde os anos 1980 (Taschner, 2000; Marques et al. 2003). Este amedrontador cenário é causado parcialmente pela falta de políticas de habitação eficientes e pela inexistência de metodologias para a atualização de dados/informações compatíveis com a mutável dinâmica espacial e temporal das favelas (Sen al., 2003). Na cidade de São Paulo, a cartografia oficial de tais aglomerações tem sido feita por órgãos oficiais de planejamento urbano que adotam diferentes conceitos na definição de “favelas”. Os últimos dados disponíveis a respeito referem-se aos anos de 2000 e 2002 (IBGE, 2002; SEHAB, 2002). A falta de consenso entre os organismos públicos envolvidos e a inexistência de dados atualizados torna este problema cada vez mais crônico. Não obstante, com o aumento da disponibilidade de imagens tanto orbitais como sub-orbitais (Blaschke & Kux, 2007, Ehlers, 2007) bem como a possibilidade da classificação orientada a objeto (Araújo, 2006; Kux &

Araújo 2008) destes dados, permite que técnicas de sensoriamento remoto e SIG monitorem adequadamente estes assentamentos informais, numa boa relação custo-benefício e praticamente em qualquer intervalo temporal desejado.

O objetivo deste trabalho é a detecção de um bairro contendo assentamentos informais, utilizando a classificação orientada a objeto. Para tanto se utilizou o software *Definiens Developer System*, na versão disponível para abaixar na Internet (Definiens 2008), bem como dados multi-espectrais do sistema sensor *QuickBird II* (Digitalglobe, 2005)

2. Área de estudo

A área de estudos está delimitada pelas coordenadas geográficas $23^{\circ} 38' 33''\text{S}$, $46^{\circ} 24' 47''\text{W}$ e $23^{\circ} 35' 58''\text{S}$, $46^{\circ} 41' 35''\text{W}$, envolvendo uma área de aproximadamente 25 km^2 na qual está contida a favela de Paraisópolis, a segunda maior em tamanho na cidade de São Paulo. Possui uma densidade populacional muito alta, com mais de 30.000 pessoas vivendo em aproximadamente 12.000 domicílios (Silva et al., 2006). Esta região é muito heterogênea em termos de objetos e paisagens urbanas, apresentando a área em volta da citada favela, diferentes tipos de uso do solo e padrões de construção (Figura 1). A área de Paraisópolis foi originalmente demarcada para ser loteada, contendo uma rede de ruas e quarteirões muito bem definidos. Isto torna pertinente e praticável a detecção de assentamentos informais ao nível da quadra urbana nesta região.

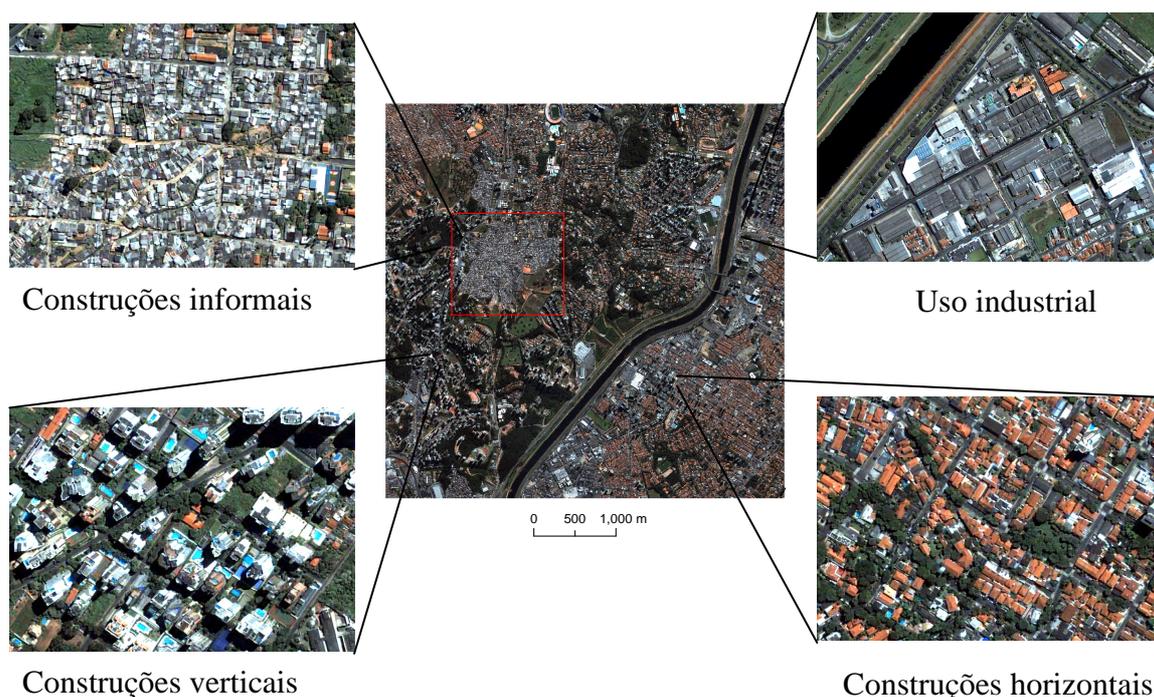


Figura 1. A área de estudo e seu entorno com diferentes usos do solo urbano. A favela Paraisópolis está contida na caixa vermelha.

3. Metodologia

3.1 Segmentação multi-resolução

A segmentação constitui o agrupamento de pixels em regiões ou objetos. Tais regiões são formadas com base num critério de heterogeneidade ou homogeneidade, dependendo do algoritmo. Este procedimento faz com que o número de elementos a serem analisados na cena diminua drasticamente, se comparado com o procedimento de classificação pixel-a-pixel (Meinel & Neubert, 2004; Haralick & Shapiro, 1985). O sistema *Definiens Developer* dispõe

da opção de segmentação multi-resolução, que consiste na estruturação em múltiplos níveis dos objetos da imagem (Definiens, 2008). Neste estudo foi aplicada uma segmentação em dois níveis. No nível denominado de ‘Quadra’ foi adotado um parâmetro de escala maior, de modo que os segmentos gerados pudessem coincidir com as quadras urbanas importadas para o projeto em formato vetorial. Após um processo de consulta à literatura e experimentação prática para se encontrar os parâmetros adequados, aplicou-se uma segmentação num nível inferior ao nível ‘Quadras’ cujos segmentos representaram bem os objetos de cobertura da terra da área de estudo. Este nível inferior foi designado de ‘Cobertura’ (Tabela 1).

Tabela 1. Parâmetros usados para a segmentação nos níveis ‘Quadra’ e ‘Cobertura’.

Nível Quadras	Ajustes de segmentação	
	Pesos das bandas multiespectrais	Todos de 1.0
	Parâmetro da escala	7000
	Composição do critério de homogeneidade	
	Forma	0.1
	Compacidade	0.5
Nível Cobertura	Ajustes de segmentação	
	Pesos das bandas multiespectrais	Todos de 1.0
	Parâmetro de escala	50
	Composição do critério de homogeneidade	
	Forma	0.1
	Compacidade	0.5

3.2 Classificação orientada a objeto

Tal como em Hofmann et al. (2006), efetuamos uma classificação da cena em dois níveis. No nível ‘Cobertura’ os objetos de cobertura do solo foram representados e no nível ‘Quadras’ as quadras urbanas foram diferenciadas quanto à existência ou não de ocupação informal. Com base no trabalho acima citado, o modelo de conhecimento explícito foi estruturado em duas redes hierárquicas associadas aos respectivos níveis de segmentação (Figura. 2). Para a classificação da cena, uma árvore de processos foi gerada ordenando cronologicamente as etapas da seguinte forma: (1) classificação no nível ‘Quadras’ considerando as classes ‘Rio’, ‘Sistema Viário’ e ‘Quadras Urbanas’, (2) classificação da cobertura do solo no nível ‘Cobertura’, (3) classificação no nível ‘Quadras’ considerando as classes com e sem ocupação informal e (4) correção de erros da etapa de classificação de quadras com ocupação informal (Figura. 3).

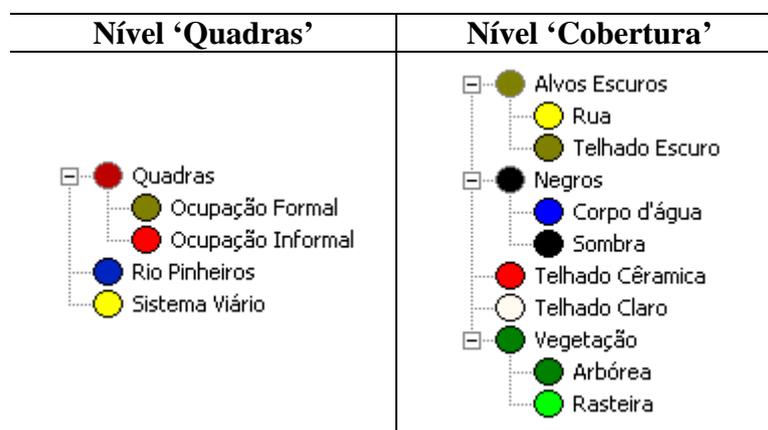


Figura 2. Hierarquia de classes definida para a classificação nos dois níveis de segmentação.

Esta estruturação dos procedimentos permitiu que as classes de cobertura do solo fossem descritas não só pela herança de atributos de classes mais gerais (da rede hierárquica associada ao seu nível), assim como por regras topológicas em relação à classificação anterior no nível ‘Quadras’ considerando as classes ‘Rio’, ‘Sistema Viário’ e ‘Quadras Urbanas’. A Tabela 2 apresenta os atributos usados para a descrição das classes nos níveis ‘Quadras’ e ‘Cobertura’ nas etapas 1 e 2 acima descritas.

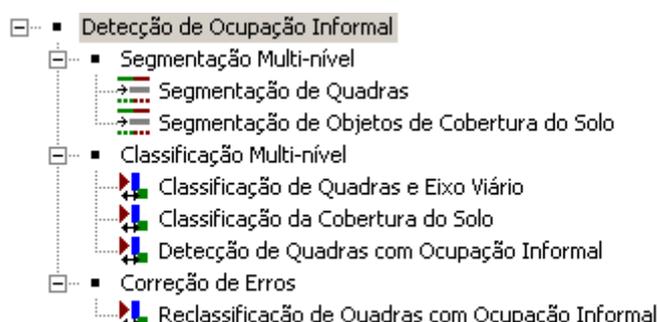


Figura 3. Árvore de processos para a classificação multi-nível da cena.

Tabela 2. Descrição das classes utilizadas nas etapas 1 e 2.

Nível	Classe	Atributos/Regras	Limiares
'Quadras'	Quadras Urbanas	Identificador Temático	0 – 691
	Eixo Viário	Identificador Temático	691 – 693
	Rio Pinheiros	Identificador Temático	692 – 694
'Cobertura'	Ruas	Existência de super-objeto 'Eixo Viário'	0 – 1.1
	Rios	Existência de super-objeto 'Rio Pinheiros'	0, 1.1
	Negros	Brilho	0 – 33
	Sombras	O que não é Rios	-
	Telhados Brilhantes	Brilho	160 – 256
	Telhados de Cerâmica	Divisão da banda 3 pela banda 1	155 – 256
	Telhados Escuros	Existência de super-objeto 'Quadras'	0 – 1.1
		Não existência de super-objetos Rios	0 – 1.1
	Vegetação	Divisão da banda 4 pela banda 3	160 – 256
	Árvores	Brilho	0 – 115
	Gramma	O que não é Árvores	-
Objetos Escuros	O que não é Vegetação, Telhados de Cerâmica, Telhados Brilhantes, Objetos Escuros	-	

3.3 Detecção de quadras com assentamentos informais

Uma vez detectados os objetos no nível ‘Quadras’ referente às quadras urbanas e de posse da classificação da cobertura do solo no nível ‘Cobertura’, foi possível averiguar quais atributos seriam usados para a descrição de quadras com ocupação informal no nível ‘Quadras’. A classe de atributos explorada foi aquela nomeada no sistema *Definiens Developer* de atributos relacionados aos sub-objetos (*Relations to sub-objects*). Isto porque queríamos descrever quadras com existência de favelas a partir da estrutura dos segmentos e da classificação dos objetos quanto à cobertura do solo no nível inferior. Atributos customizados tais como a média e o desvio padrão da área dos objetos classificados como telhados brilhantes e telhados escuros foram criados. Isto porque uma das características mais proeminentes das ocupações informais na área de estudo é a abundância de telhados brilhantes e escuros de tamanho pequeno. Outros atributos previamente explorados por Hoffman (2006)

para o mapeamento de favelas no Rio de Janeiro também foram criados em nosso projeto. A capacidade de descrição de quadras com ocupação informal por parte destes atributos foi avaliada qualitativamente através da ferramenta visualização de atributos (*Feature View*). As funções de pertinência fuzzy para estes atributos selecionados foram moldadas intuitivamente procurando-se simular os critérios usados na interpretação por parte de um analista experiente. Assim, como se espera que em uma ocupação informal haja grande densidade de telhados claros e escuros e pouca vegetação, estes atributos tiveram suas funções de pertinências moldadas levando em conta estas considerações. Os atributos usados para a classificação de quadras com ocupação informal, assim como suas funções de pertinência são ilustrados na Tabela 3.

É importante mencionar que o operador utilizado para a definição de um único valor de pertinência para a classe ocupação informal, a partir da pertinência de cada atributo utilizado em sua descrição, foi o da média.

Tabela 3. Atributos e funções *fuzzy* para a descrição de quadras com ocupação informal.

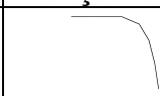
Atributo	Limiares	Função fuzzy
Porcentagem de 'Vegetação'	0 – 0.5	
Porcentagem de 'Telhado Escuros'	0 – 1.0	
Porcentagem de 'Telhados Claros'	0 – 0.75	
Número de Objetos da classe 'Telhado Claro'	20 – ∞	

4. Resultados

Após a seleção de atributos e calibração dos limiares e funções através de um processo iterativo de tentativa e erro, foram obtidos resultados preliminares com precisão satisfatória quanto à detecção de quadras com ocupação informal. Entretanto, apesar de estes primeiros resultados apresentaram muito poucos erros falsos positivos, alguns erros falsos negativos foram observados (Figura 4). Assim, um processo de pós-classificação foi efetuado. Verificou-se através da visualização que os atributos 'Distancia à classe Informal' e 'Pertinência à classe Informal' poderiam ser inseridos na descrição de quadras com ocupação informal. O primeiro atributo resume o fato de que quanto mais próximo a uma quadra com ocupação informal mais provável será que a quadra em questão possua também ocupação informal. Em vista disso, as quadras localizadas a menos de 800 m de um assentamento informal receberam pertinência máxima para este atributo. Quando este atributo é adicionado, a competição de pertinência à classe ocupação informal é alterada, tornando aquelas quadras mais próxima aos assentamentos informais mais pertinentes a esta classe e inversamente quadras distantes daquelas com ocupação informal diminuirão a sua pertinência a esta classe.

Este atributo reduziu o número de erros falso-negativos gerando resultados mais satisfatórios. Os poucos erros falso-negativos ainda restantes foram corrigidos por um limiar no atributo 'Pertinência à classe Informal' já que existiam quadras com ocupação informal que não atingiram a pertinência mínima para serem incluídas nesta classe (> 0.5). Mais uma vez a visualização de atributos foi usada e todas as quadras com pertinência a classe ocupação informal com pertinência maior do que 0.35 foram atribuídas a esta classe (Tabela 4). O resultado final apresenta nenhum erro falso-negativo e alguns poucos erros falso-positivos (Figura 4). Estes últimos, inevitáveis, podem ser corrigidos por classificação manual.

Tabela 4. Atributos adicionados após a classificação preliminar para a descrição de quadras com ocupação informal.

Atributo	Limiares	Função fuzzy
Distância de quadras classificadas como 'Ocupação Informal'	0 – 980	
Pertinência a classe 'Informal'	3,5 – 1.0	–

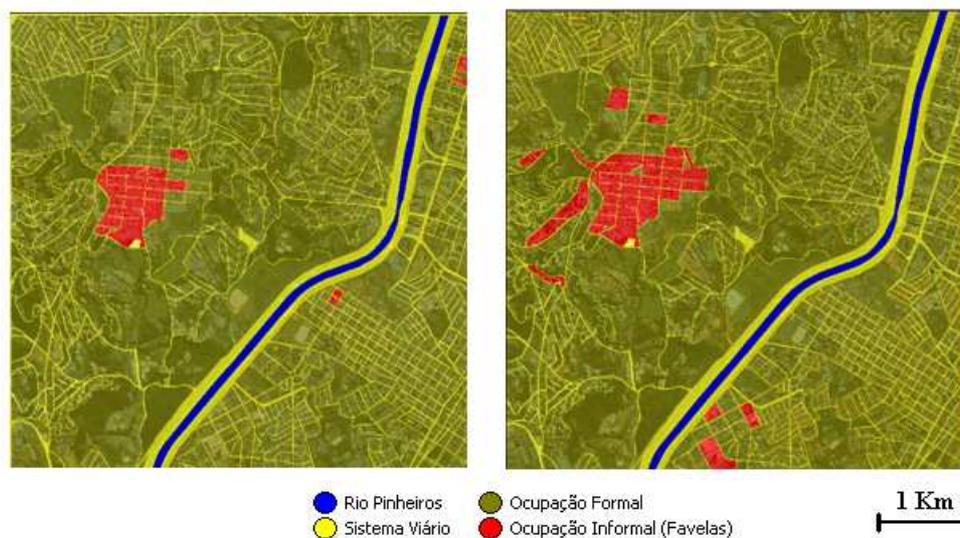


Figura 4. Resultados obtidos antes (esquerda) e após a correção de erros por novos atributos (direita).

5. Conclusão

Este trabalho mostrou a aplicabilidade da abordagem orientada a objetos para a detecção de quadras urbanas com ocupação informal. Assim, como em experiências anteriores no Rio de Janeiro, a segmentação e classificação em dois níveis hierárquicos é uma estratégia viável para a detecção de favelas em nossa área de estudo. Não obstante, os resultados preliminares mostraram que um controle de erro é necessário. Atributos como a pertinência a classe ocupação informal e distância de um objeto classificado como sendo desta classe foram usados para a correção de erros falso-negativos. Com base na metodologia aqui apresentada, os autores estão desenvolvendo um trabalho de dissertação de mestrado para a classificação da cobertura e uso do solo urbano cujas classes contemplam o uso informal do solo pelas favelas. Tal tarefa está sendo realizada utilizando o sistema de classificação baseada em conhecimento *InterImage*. A metodologia exposta neste artigo serve de referência para o modelo de classificação em desenvolvimento no software aplicativo *InterImage* e para futuros trabalhos na área.

Referencias bibliográficas

ARAÚJO, E.H.G. Análise multi-temporal de cenas do satélite *QuickBird* usando um novo paradigma de classificação de imagens e inferências espaciais: estudo de caso Belo Horizonte (MG), 159 p., 2006 - Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), INPE, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <http://mtc-m13.sid.inpe.br/rep-/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/07.24.19.43>. Acessado em 28 de fevereiro de 2008

BLASCHKE, T.; KUX, H. (editores) **Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas e sensores inovadores**, 2ª. Edição, São Paulo: Oficina de Textos, 2007, 304 p.

CHOGUILL, C.L.; The search for policies to support sustainable housing. **Habitat International**, v. 31, p.143-149, 2007.

DEFINIENS eCognition: Disponível em: <<http://www.definiens-imaging.com/down/ecognition>>. Acessado em 28 de fevereiro de 2008.

DIGITALGLOBE. QUICKBIRD imagery products – products guide. 2005. Disponível em: <http://www.digitalglobe.com> Acessado em 28 de fevereiro de 2008.

EHLERS, M. Sensoriamento Remoto para usuários de SIG – Sistemas sensores e métodos: entre as exigências do usuário e a realidade, pp. 19-38, in BLASCHKE, T.; KUX, H. (editores) **Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas e sensores inovadores**, 2ª. Edição, São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

HARALICK, R. & SHAPIRO, L. Image segmentation techniques. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, v. 29, p. 100-132, 1985.

HOFMANN, P.; STROBL, J.; BLASCHKE, T.; KUX, H.; Detecting informal settlements from QuickBird data in Rio de Janeiro using an object based approach, 2006. Disponível em: http://www.commission4.isprs.org/obia06/Papers/05_Automated%20classification%20Urban/OBIA2006_Hofmann_et_al.pdf. Acessado em 28 de fevereiro de 2008.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico de 2000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2002. CD-ROM.

KÖTTER, T.; Risks and opportunities of urbanization and megacities. **Proceedings of the FIG Working Week: The Olympic Spirit of Surveying**, p. 9, 2004.

KUX, H.J.H., ARAÚJO, E.H.G. Object-based image analysis using QuickBird images and GIS data, case study Belo Horizonte (Brazil). In: T. Blaschke, S. Lang, G.J. Hay (editors) *Object-based image analysis – spatial concepts for knowledge-driven Remote Sensing Applications*, SPRINGER Verlag, Berlin-Heidelberg, 2008, pp. 571-588.

MARQUES, E. C.; TORRES, H.; SARAIVA, C.; Favelas no Município de São Paulo: estimativas de população para os anos de 1991, 1996 e 2000. Secretaria de Habitação do Município de São Paulo (SEHAB), 2003. Disponível em: http://www.centrodametropole.org.br/pdf/anpur2003_RBEUR.pdf. Acessado em 28 de fevereiro de 2008.

MEINEL, G.; NEUBERT, M. A Comparison of segmentation programs for high resolution remote sensing data. **Int. Arch. of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, p. 1097-1102, 2004.

MOORE, P. GOULD, AND B. S. KEARY. Global urbanization and impact on health. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 206, pp. 269- 278, 2003.

Secretaria Municipal de Habitação (SEHAB). Disponível em: <http://www2.prefeitura.sp.gov.br/secretarias/habitacao>. Acessado em 28 de fevereiro de 2008.

SEN, S.; HOBSON, J.; PRATIMA, J. The Pune Slum Census: creating a socioeconomic and spatial information base on a GIS for integrated and inclusive city development. **Habitat International**, v. 27, p. 595-611, 2003

SILVA, E. N.; PESQUERO, C.; RIBEIRO, H.; ASSUNÇÃO, J. V.; Qualidade do ar na favela Paraisópolis, SP, e possíveis implicações à saúde. **Revista do Departamento de Geografia**, v.18 p. 60-66, 2006.

TASCHNER, S. Degradação ambiental em favelas. In: TORRES, H.G. E COSTA, H. **População e Meio Ambiente: debates e desafios**. São Paulo: Editora do Senac, p. 241- 300, 2000.

UN-HABITAT, 2006. Disponível em: <http://www.unhcs.org/programmes/guo/statistics.asp>. Acessado em 28 de fevereiro de 2008.