

UM ESTUDO EXPLORATÓRIO PARA OBTENÇÃO DE ÍNDICES DE QUALIDADE DE VIDA URBANA (IQV) UTILIZANDO IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO DO SATÉLITE IKONOS II

FERNANDO CAMILO PAES¹
SÉRGIO DOS ANJOS FERREIRA PINTO¹
LUCIANO VIEIRA DUTRA²

¹PUCMINAS – Programa de Pós-Graduação em Geografia – Tratamento da Informação Espacial
CEP- 30535-610 – Belo Horizonte - MG, Brasil
{fernando,sanjos}@pucminas.br

²INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
dutra@dpi.inpe.br

Abstract. This paper describes the use of Ikonos II satellite high resolution multispectral imagery to analyze urban area (Sao Jose dos Campos – S.P. Brazil) using supervised classification and, from the classification maps, the definition of two (2) types of life quality index. (LQI). In this study, six types of urban targets were selected : 3 types of residential roofs, water, vegetation and paved street. These targets were selected in the three types of urban districts, considering socio-economics conditions: rich, middle and labor classes. An index defining the proportion of green area over the built area showed an increasing behavior when one goes from poor to richer areas and at same time the proportion of larger projected built area over a fixed minimum standard area of 60m² also increases.

Keywords: remote sensing, image processing, , high resolution satellite images, urban areas classification.

1. Introdução

No Brasil, nas últimas décadas, a população urbana tem crescido de forma acentuada, devido especialmente ao êxodo rural. Conforme dados censitários, atualmente, cerca de 81% da população brasileira está concentrada nas áreas urbanas. (IBGE – 2002). Um exemplo típico deste processo ocorre em São José dos Campos (S.P.), onde a população urbana é de aproximadamente 98% do total do município.

Face à dinâmica do crescimento da ocupação urbana, torna-se necessário a criação e o aprimoramento de mecanismos que permitam melhor caracterizar e monitorar estas áreas, possibilitando avaliar as mudanças que, na maioria dos casos, ocorrem de maneira rápida e desordenada.

Até a disponibilização de imagens de alta resolução obtidas por satélites, no fim da década de 90, este monitoramento era realizado através da utilização de fotografias aéreas obtidas por levantamentos aerofotogramétricos, realizados à baixa altitude. Entretanto, estes aerolevantamentos não são realizados sistematicamente devido ao seu alto custo operacional e conseqüentemente não são economicamente acessíveis para a maioria das prefeituras dos municípios brasileiros.

Nos últimos dois anos, empresas internacionais, passaram a oferecer, em bases comerciais, imagens de alta resolução, obtidas por satélites, as quais vem se constituindo em importante ferramenta para o estudo temático dos setores intra-urbanos.

Trabalhos recentemente publicados têm enfatizado o potencial das imagens de satélites de alta resolução para o estudo de áreas urbanas, especialmente com vistas à identificação e classificação de alvos intra-urbanos. Dentre eles, destaca-se o trabalho de Forster e Forster (1998), que examinaram o potencial do mercado asiático para imagens de alta resolução que seriam obtidas por sensores a bordo de satélites então previstos ou em fase de lançamento.

Observaram que, quando comparadas à utilização de fotografias obtidas por aeronaves, estas imagens ofereceriam uma série de vantagens: menor distorção de escala, menor necessidade de pontos de controle no solo, fácil integração com sistemas de informação geográfica, menor custo de aquisição, rápida disponibilização e possibilidade de associação com dados multiespectrais para classificação e análise.

Jensen e Cowen (1999), sintetizaram de forma abrangente as características de resolução espacial, temporal e espectral que as imagens obtidas por satélite devem possuir, de maneira a se obter informações sobre a infra-estrutura urbana/suburbana e seus atributos. Concluíram que, embora existindo atualmente uma grande diversidade de sistemas sensores orbitais, eles não atendem de maneira satisfatória algumas situações encontradas na análise de ambientes urbanos, como, por exemplo, a precisa identificação do perímetro de edificações, sua área, altura e limites. Segundo eles, será necessário um maior refinamento da resolução espacial disponível nos atuais sistemas sensores em operação, para resolver estas questões.

Kontoes (1999) estudando a utilização de imagens pancromáticas do satélite indiano IRS-1C (5,8m) e imagens obtidas pelo sistema russo KVR-1000 (2m), na análise da área urbana da cidade de Atenas (Grécia), concluiu que este tipo de imagem de alta resolução fornece dados úteis sobre a dinâmica do processo urbano e, à medida que novos sistemas sensores com melhor resolução espacial forem disponibilizados, será possível o acompanhamento desta dinâmica ao nível de edificações isoladas.

A integração de imagens de alta resolução do sistema indiano IRS-1C com sistemas de informação geográfica foi objeto de estudo desenvolvido por Pathan et al (1998), no qual enfatizam estas ferramentas como fontes de mapeamentos temáticos.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo utilizar imagens digitais do satélite IKONOS II para a caracterização de alvos intra-urbanos. Especificamente através da aplicação de classificadores digitais supervisionados, buscou-se a discriminação de tipos de coberturas de edificações, cobertura vegetal, pavimentação de ruas e corpos d'água. Através dos produtos resultantes da classificação, foram definidos 2 índices: um de proporcionalidade entre área verde total sobre área construída projetada (IVCp) em bairro homogêneo e outro índice normalizado de área construída projetada (INCp), também em bairros homogêneos, e aplicados conforme as categorias dos bairros selecionados (classes alta, média e operária). São denominados genericamente de índices de qualidade de vida urbanos (IQV).

2. Área de estudo

Cidade de São José dos Campos, localizada na porção paulista do Vale do Paraíba (**Figura 1**), com cerca de 539.613 habitantes (IBGE, 2000). Constitui importante pólo urbano regional, com variada atividade industrial. A escolha desta área foi também motivada pela disponibilização de dados oferecida pela cooperação da PUCMinas com a Divisão de Processamento de Imagens do INPE, imagem esta cedida pela Space Imaging do Brasil.



Figura 1 – Localização da área de estudo (Fonte: www.sjc.sp.gov.br)

3. Metodologia

Foi utilizada imagem de alta resolução do satélite IKONOS II, de 10/09/2000 (13:00 hs local), com ângulo de visada de 75 °. Esta imagem é uma composição colorida multispectral (RGB -321), com resolução espacial de 1m, resultante da fusão com a banda pancromática (aplicação da transformação IHS). Para o tratamento desta imagem, foi utilizado o software ENVI, versão 3.4, licenciado para uso no Laboratório de Sensoriamento Remoto do Programa de Pós Graduação em Tratamento da Informação Espacial da PucMinas.

Como suporte à localização e seleção dos bairros de estudo, utilizou-se o Mapa de Zoneamento Urbano da Cidade de São José dos Campos, editado em 30/12/1997, que se encontra disponível no site da prefeitura municipal de São José dos Campos. (www.sjc.sp.gov.br) , o Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado do município (PDDI) e a Lei Complementar nº 165/97 de 15 de dezembro de 1997, que trata da ordenação do território do município, definindo o parcelamento, o uso e ocupação do solo. Esta lei também está disponível, na íntegra, no site acima referenciado.

Para execução do trabalho foram considerados três tipos de bairros, conforme as categorias sócio-econômicas: classes operária, média e alta, sendo selecionados para análise quatro bairros de cada categoria, a saber: *bairros de classe operária* - Santana, Jardim da Granja, Vila Industrial e Jardim São Vicente/Nova Detroit; *bairros de classe média* - Vila Ema, Jardim Maringá, Vista Verde e Jardim das Indústrias; *bairros de classe alta* - Jardim Esplanada, Jardim Apolo, Jardim das Colinas e Esplanada do Sol. Para cada categoria, os bairros foram ordenados considerando o critério de antiguidade (do bairro mais antigo para o mais recente).

As áreas dos bairros, foram dimensionadas em módulos de 500 x 500 pixels, com exceção do bairro Jardim das Indústrias com módulo de 400 x 400 pixels, devido estar localizado no limite da imagem disponibilizada.. Estes módulos foram definidos considerando sempre a porção central da área do bairro, visando preservar a homogeneidade da amostra. Como a imagem possui resolução espacial nominal de 1m, estes módulos representam área de aproximadamente 2,5 km² no terreno.

Com base na análise interpretativa preliminar da imagem, foram definidas as seguintes classes temáticas: *cobertura das edificações* - telha cerâmica, cobertura de amianto/laje exposta e cobertura metálica; *vegetação, pavimentação asfáltica* e *corpos d'água*. A classe cobertura de amianto/laje exposta engloba dois tipos de cobertura diferentes que foram agrupadas por apresentarem resposta espectral similar. Quanto à classe vegetação considerou-se a cobertura rasteira de gramíneas, arbustos e árvores nos mais diversos estágios de crescimento, que ocorrem ao longo dos arruamentos, praças, quintais e terrenos desocupados. Por sua vez, a classe pavimentação asfáltica foi selecionada por ser predominante nos arruamentos de São José dos Campos, conforme indicado no PDDI. A classe corpos d'água, especialmente representada por piscinas, foi também considerada devido à sua significativa presença em diversos bairros da cidade.

É importante salientar que foram selecionadas áreas sem significativa presença de edifícios, para evitar o efeito de sombreamento de alvos de interesse.

Nos procedimentos de classificação digital, foram utilizados dois métodos de classificação supervisionada: *por máxima verossimilhança* e *por distância mínima*. Estes dois classificadores foram utilizados na busca da melhor separabilidade das classes selecionadas, em especial as áreas edificadas. Para a edição final dos produtos temáticos obtidos, foi realizado trabalho de verificação de campo, para eliminação de pontos de dúvidas. Detalhes deste procedimentos encontram-se descritos em Paes (2002).

4. – Resultados

4.1. Classificação pelo método da Máxima Verossimilhança

4.1.1 - Bairros de classe operária.

O resultado obtido por esta classificação digital (**figura 2**), mostrou a predominância da classe cobertura telha cerâmica sobre os demais tipos de cobertura. Porém, não foi possível individualizar as edificações com este tipo de cobertura, devido a relação proximidade das construções versus resolução da imagem e geometria de cena. Este fato é observado principalmente nos bairros mais antigos, que possuem maior densidade de edificações, com valores acima de 60%, conforme ilustrado na **Tabela 1**, que sumariza as diversas porcentagens de ocorrência das classes temáticas selecionadas. É importante ressaltar a ausência da classe água (piscinas).

Tabela 1 – Percentual de ocorrência das categorias de coberturas – bairros de classe baixa

Tipo de classe	Bairros			
	Santana	Jardim da Granja	Vila Industrial	J. S. Vicente/ Nova Detroit
Cobertura cerâmica	43,86%	40,19%	43,55%	29,91%
Cobertura amianto/laje exposta	18,44%	7,46%	9,15%	17,66%
Cobertura telha metálica	6,59%	13,20%	9,60%	14,15%
Vegetação	16,85%	13,64%	12,43%	16,68%
Pavimentação	14,26%	25,30%	25,27%	21,60%
Água	0%	0%	0%	0%
Não classificados	0%	0%	0%	0%
Total	100%	100%	100%	100%

4.1.2. – Bairros de classe média

Conforme também indicado na **Tabela 2**, nos bairros de classe média observa-se a predominância de edificações, porém com dois blocos distintos: um com cerca de 70% composto dos bairros Jardim Maringá e Vista Verde e outro na faixa de 55 a 60 % englobando os bairros Vila Ema e Jardim das Indústrias. A classe água aparece em três dos quatro bairros selecionados, porém em quantidades menores do que 1%.

Tabela 2 – Percentual de ocorrência das categorias de coberturas – bairros de classe média

Tipo de classe	Bairros			
	Vila Ema	Jardim Maringá	Vista Verde	Jardim das Indústrias
Cobertura cerâmica	34,92%	49,31%	48,12%	32,84%
Cobertura amianto/laje exposta	18,39%	11,96%	11,87%	14,84%
Cobertura telha metálica	6,53%	7,32%	6,15%	6,11%
Vegetação	21,79%	16,84%	22,38%	23,99%
Pavimentação	17,86%	14,58%	11,45%	21,39%
Água	0,51%	0%	0,03%	0,82%
Não classificados	0%	0%	0%	0%
Total	100%	100%	100%	100%

4.1.3. – Bairros de classe alta

Nos bairros de classe alta também existe uma predominância de edificações, (**Tabela 3**), com ocorrência total inferior a 55% da área classificada. Observa-se que a vegetação é a classe que apresenta maior expressão em área para os bairros Jardim Esplanada, Colinas e Apolo, sendo menos expressiva para o bairro Esplanada do Sol, devido este ser de implantação mais recente. Neste bairro, as áreas vegetadas ainda se encontram em estágio inicial de crescimento, conforme observado em trabalho de verificação de campo. Por sua vez, a classe água está presente em todos estes bairros com ocorrências significativas em relação aos bairros de classe média e baixa.

Tabela 3 – Percentual de ocorrência das categorias de coberturas – bairros de classe alta

Tipo de classe	Bairros			
	Jardim Esplanada	Jardim Apolo	Jardim das Colinas	Esplanada do Sol
Cobertura cerâmica	27,80%	28,14%	27,82%	29,90%
Cobertura amianto/laje exposta	12,57%	15,44%	18,42%	10,72%
Cobertura telha metálica	9,44%	4,63%	6,82%	5,11%
Vegetação	32,93%	30,00%	29,48%	24,74%
Pavimentação	16,69%	18,56%	16,06%	28,39%
Água	0,58%	3,23%	1,40%	1,14%
Não classificados	0%	0%	0%	0%
Total	100%	100%	100%	100%

Como complemento deste procedimento de classificação digital, foram confrontadas graficamente as ocorrências das classes cobertura total das edificações e vegetação para todos os bairros analisados. A figura 3 mostra o comportamento daquelas classes, indicando a maior distinção dos índices dos bairros de classe alta em relação aos demais, através do menor percentual de área construída e as significativas ocorrências de área vegetada. Define-se o índice de proporcionalidade entre área verde total sobre área construída projetada (IVCp) como $IVCp = \text{area_verde}(\%) / \text{area_projetada}(\%)$ que mostra nítido aumento para áreas mais ricas. O gráfico deste índice também aparece na figura 3.

É importante ressaltar que a individualização das edificações, conforme as classes de coberturas, não pode ser obtida de maneira satisfatória nos produtos temáticos resultantes do procedimento de classificação digital por máxima verossimilhança. Assim sendo, foi aplicado também, o classificador por Distância Mínima, com o objetivo de tentar individualizar as edificações, e, com isto obter outros indicadores para caracterização e separação dos bairros conforme suas categorias sócio-econômicas.

4. 2. – Resultados da classificação por Distância Mínima

Os resultados obtidos com o classificador por distância mínima estão mostrados na **figura 2**. Através destas figuras verifica-se que este classificador permitiu individualizar a cobertura utilizando telha cerâmica. O INCp (índice normalizado de área construída projetada) foi definido como a razão entre o número de áreas existentes entre 60-120m², 120-180m², 180-240m² e 240-300m², tomando-se como referência o número de blocos de área construída projetada entre 0-60m² existentes no bairro analisado. A escolha da dimensão de área construída de até 60m² foi definida a partir de testes com diversos blocos de áreas edificadas individualizadas, especialmente nos bairros de classe baixa. A figura 4 ilustra a variação das

diferentes razões, conforme os bairros. As razões 120/60 e 180/60 são as que melhor expressam a variação de dimensão dos blocos de áreas construídas considerando a cobertura por telha cerâmica, indicando que bairros de classe baixa possuem tamanhos de blocos menores enquanto que os bairros de classe alta possuem maior número de blocos de dimensões significativamente maiores. Os bairros de classe média apresentam uma mistura de áreas de blocos existentes tanto nos bairros de classe baixa como nos de classe alta.

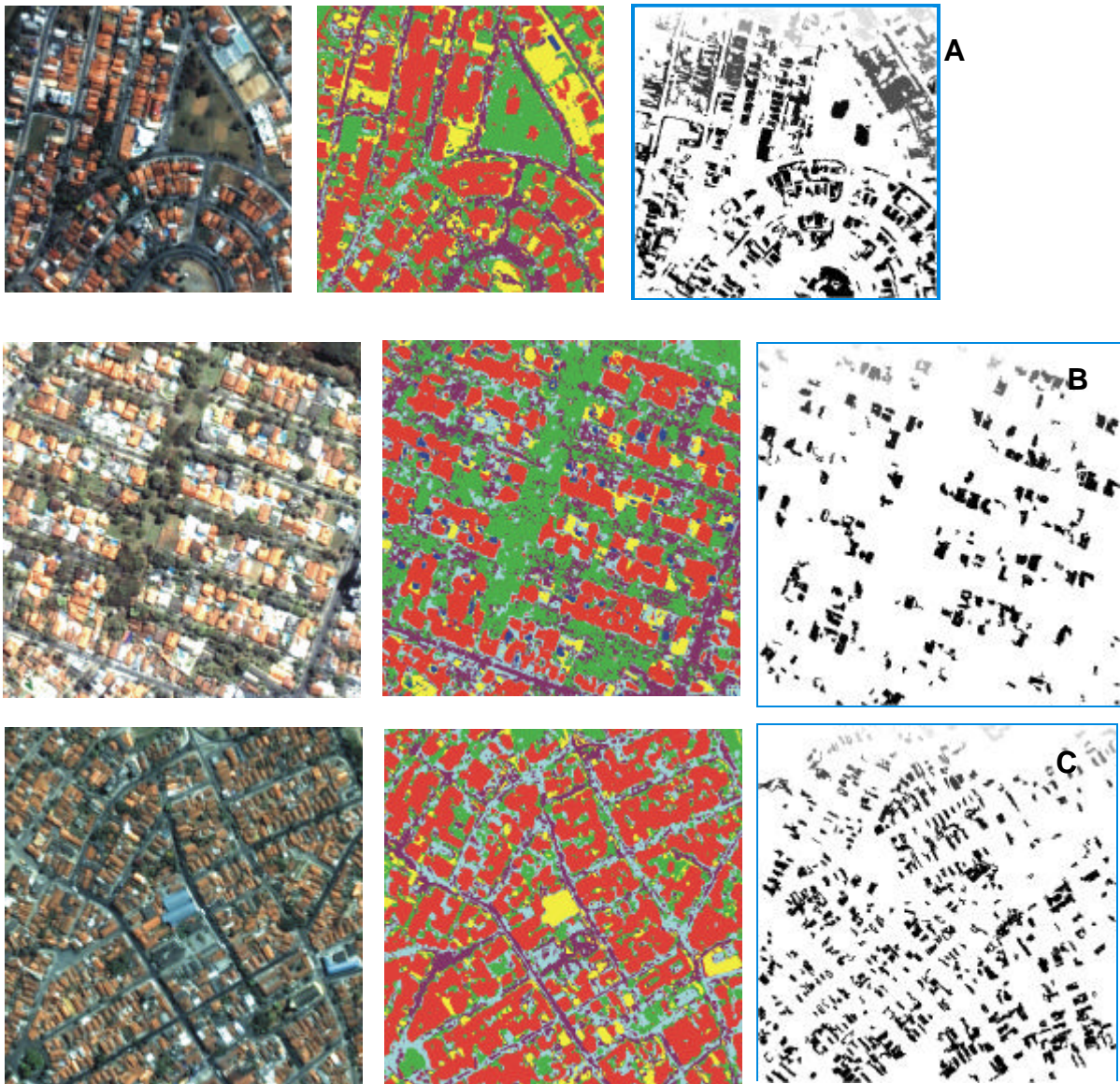


Figura 2 - Imagens IKONOS II, classificadas por máxima verossimilhança e por distância mínima dos bairros Jardim das Indústrias (A), Jardim Apolo (B) e Santana (C)

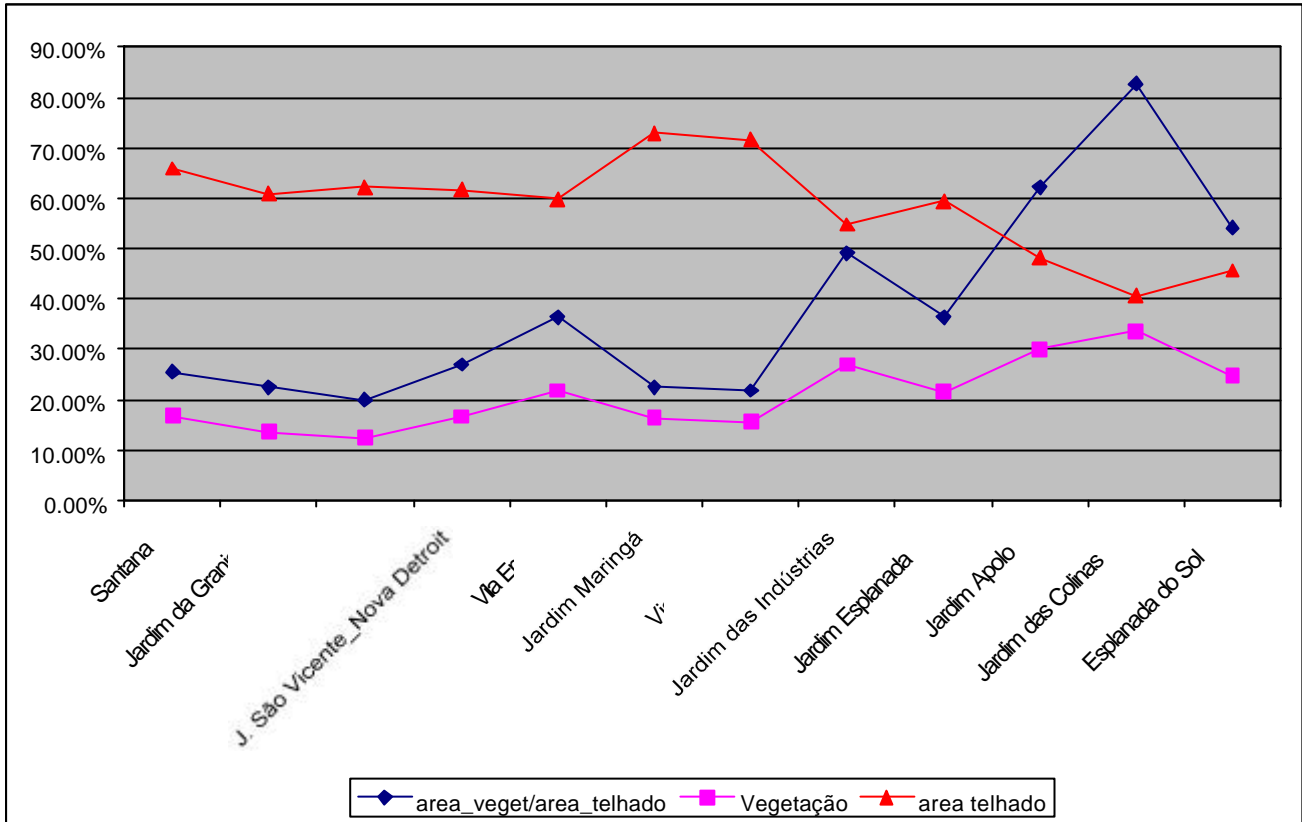


Figura 3. Ocorrências das categorias de cobertura selecionadas - Todos os bairros - Ordenação por antigüidade - (velho -> novo)

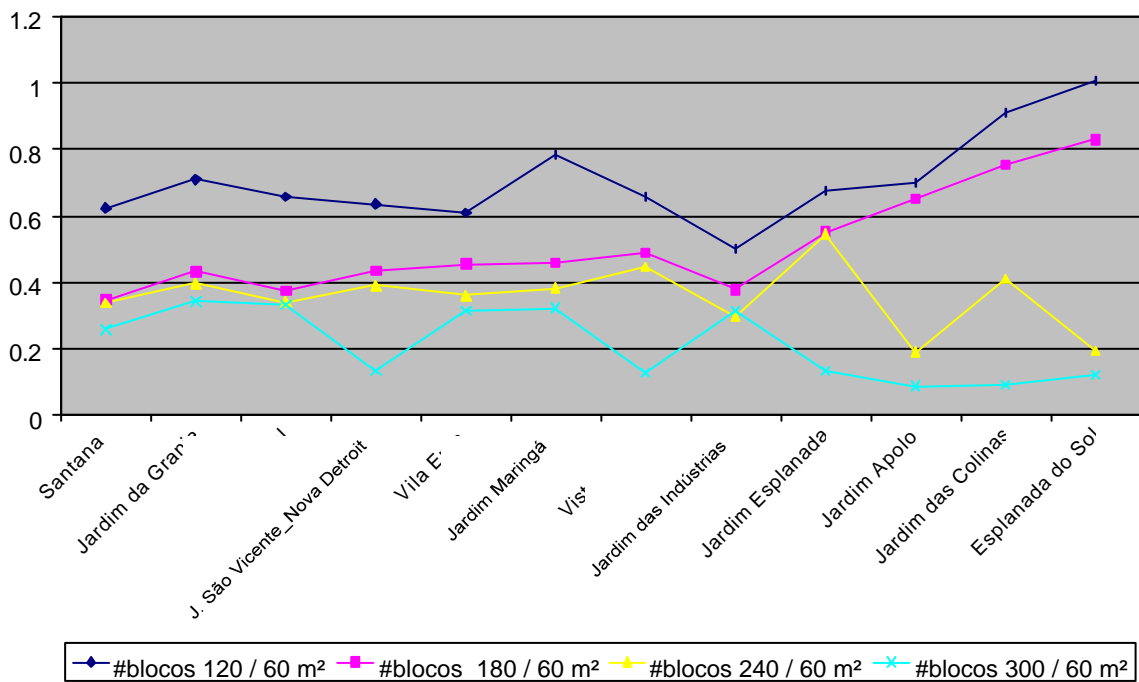


Figura 4: Frequência - razão de ocorrência de blocos de cobertura cerâmica por bairros

4.3. – Considerações finais

Este trabalho mostrou a potencialidade do uso de imagens de alta resolução do satélite IKONOS II como ferramenta para análise de alvos intra-urbanos, com a definição de certos índices, que extraídos destas imagens, expressam relação com o nível econômico do bairro. São por isso denominados genericamente como índices de qualidade de vida (IQV). Deve-se ressaltar que neste caso está-se referindo apenas a índices que se podem medir das imagens diretamente.

Através da aplicação de classificadores digitais supervisionados, foi possível separar e quantificar tipos de cobertura de áreas edificadas, especialmente aquelas do tipo telha cerâmica. As classes temáticas utilizadas neste trabalho (tipos de cobertura de edificações, cobertura vegetal, pavimentação asfáltica e corpos d'água – piscinas) possibilitaram a caracterização de bairros de classe operária, média e alta, existentes na área de estudo.

O classificador digital por distância mínima foi o que se mostrou mais adequado para a separação de áreas edificadas individualizadas, quando comparado com os resultados obtidos pelo classificador por máxima verossimilhança. Os índices de qualidade de vida (IQV), denominados IVCp e INCp, demonstraram boa relação com o nível de vida dos bairros analisados, separando especialmente os bairros de classe alta.

4.4 Agradecimentos.

Os autores agradecem a Space Imaging Brasil pela gentil cessão das imagens utilizadas neste trabalho. Este trabalho faz parte da cooperação entre a PUCMinas e a Divisão de Processamento de Imagens do INPE, possibilitada pela concessão de bolsa de pesquisador visitante, pelo CNPq, a Luciano Dutra (processo 301400/91-1 (PV)).

Referencias

Forster, B. C., Forster, H. B.; Estimating Markets for High Resolution Satellite Image Data in Asia. *In: International Symposium on Operationalization of Remote Sensing*, 2, 1999, Enschede, The Netherlands, 1cd.

Jensen, J. R., Cowen, D. C. Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. V. 65, n. 5, p. 611-622, 1999.

Kontoes, C. C. High resolution satellite imagery for urban mapping: mapping Athens from space. *GIM International*, v. 9, p. 92-95, 1999.

Paes, F. C. Um estudo exploratório de classificação digital de áreas urbanas utilizando imagens de alta resolução do satélite IKONOS. Dissertação de Mestrado. Belo Horizonte, PUCMINAS, 2002. 160.

Pathan, S. K, Bhandari, R. J., Arya, A. Navalgund, R. R., Bhavsar, N. M., Pinakin, P. D., Gajjar, K. J., Bipin, S. A., Bhowmik, M. M. A perspective plan for Ahmedabad Urban Development Authority Area – 2011 – Remote Sensing and GIS Based Approach. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. Budapest, v. 32, pt. 7, 1998.