

## **SENSORIAMENTO REMOTO COMO ESTRATÉGIA ALTERNATIVA PARA DISTRIBUIÇÃO E MENSURAÇÃO DA POPULAÇÃO – ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

**Carla Bernadete Madureira Cruz<sup>1</sup>, Otto Alvarenga Faber<sup>1</sup>, Rafael  
Balbi Reis<sup>1</sup>, Elizabeth Maria Feitosa da Rocha<sup>1</sup> &  
Cláudia Romaneli Nogueira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ – Depto. de Geografia –  
Av. Brigadeiro Trompowsky, s/n, CCMN, Bloco H, sala 8, Ilha do Fundão,  
21945-970 - Rio de Janeiro, Brasil  
cmad@ufrj.br

Recebido 16 de janeiro de 2007; revisado 11 de março de 2007, aceito 22 de maio.

**RESUMO** – A heterogeneidade das unidades político-administrativas, no que diz respeito à distribuição interna de algumas variáveis censitárias, pode influenciar fortemente no uso desses dados censitários para uma unidade natural, como por exemplo, uma bacia hidrográfica. Ou seja, há uma dificuldade de se agregar dados socioeconômicos em unidades naturais, uma vez que as unidades poligonais não são coincidentes ou hierárquicas. Neste contexto pretende-se utilizar técnicas que viabilizem a espacialização de variáveis socioeconômicas em uma estrutura de representação discreta, matricial, apoiada por classificação de imagens orbitais, que possibilite a reintegração de dados a unidades independentes da unidade de origem. Este trabalho se propõe a fazer essa espacialização da variável censitária *população total*, no município do Rio de Janeiro, por unidade discreta (pixel), considerando os diferentes níveis de intensidade de ocupação. Está sendo utilizada uma imagem do satélite Landsat-7, do município do Rio de Janeiro. Esta imagem sofreu uma classificação em quatro níveis de intensidade de ocupação e áreas não ocupadas. Com estas informações, será adaptado e aplicado o modelo proposto por Nogueira (2003), no Simpósio de Sensoriamento Remoto. Serão gerados mapas de total da população para os bairros do Rio de Janeiro. Esses mapas serão comparados, considerando a heterogeneidade, quando houver, de ocupação do

espaço.

**Palavras-Chave:** sensoriamento remoto, população, modelagem, Rio de Janeiro.

**ABSTRACT** – The heterogeneities of the political units, about the internal distribution of some variables concerns, can strongly influence the use of those data in natural units, for example, hydrographic basins. It's very difficulty to aggregate some social and economical data in natural units, since the area units do not be equal or hierarchy. In this context we want to suggest new techniques that make easier to create spatial representations of social and economical variables in a discrete structure of representation, raster files, supported by classification of satellite images, that enables the reintegration of data in the independent units from the origin ones. The work's propose is distribute Census variables, in Rio de Janeiro, by discrete unit (pixel), considering the different occupation intensity levels. For the development of the work is being utilized image of the satellite Landsat-7. This image suffered a classification in four occupation intensity levels and not habited areas. With this information, will be adapted and applied the model by Nogueira (2003), presented in the Symposium of Remote Sensing occurred in 2003. They will be generating maps of population variable for Rio de Janeiro. Those maps will be compared with the common ones.

**Keywords:** remote sensing, population, modeling, Rio de Janeiro.

## INTRODUÇÃO

Este artigo utiliza Sensoriamento Remoto e Sistema de Informações Geográficas (SIG) no desenvolvimento de uma metodologia para a representação espacial da distribuição populacional mais próxima da realidade. A metodologia proposta considera um modelo matemático simples que correlaciona a intensidade de ocupação (extraída por classificação de imagens de satélite) e o total populacional.

Este modelo possibilita a espacialização das heterogeneidades internas, normalmente existentes, em uma unidade político-administrativa.

O procedimento de coleta em campo das variáveis socioeconômicas considera uma amostragem e agrupamento de dados em unidades de área pré-estabelecidas, como é o caso dos setores censitários, bairros, municípios. Tais unidades são hierárquicas e, assim, vão sendo agregadas em unidades maiores, dependendo da escala de gestão mais adequada, conforme o exemplo apresentado na **Figura 1**.



**Figura 1** - Unidades de gestão político-administrativas.

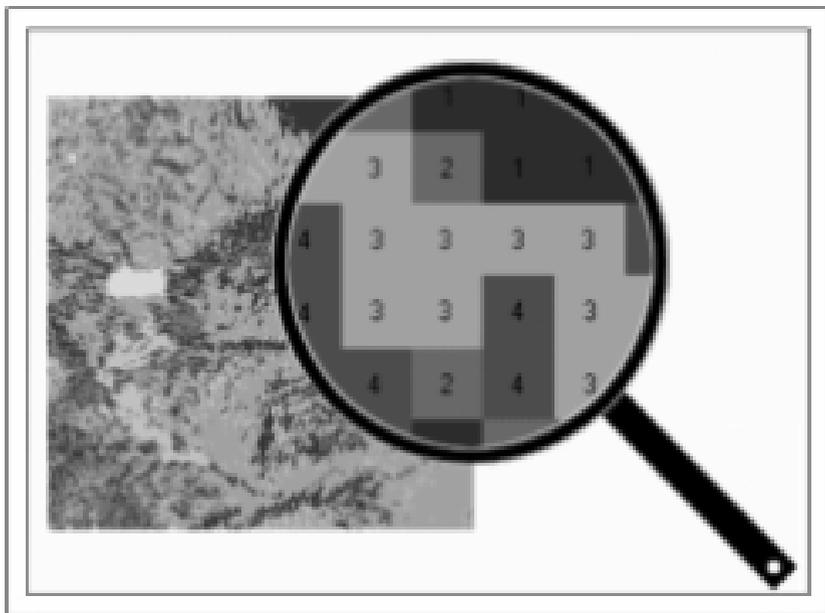
O principal problema desse tipo de mapeamento é a uniformização obrigatória da unidade básica utilizada (município, distrito, bairro), que induz à uma homogeneidade distante da realidade. As informações coletadas nas unidades político-administrativas dificultam a desagregação dos dados socioeconômicos em outras unidades como as naturais ou físicas (bacias hidrográficas, unidades de conservação e entorno de corpos d'água, florestas e montanhas, por exemplo). Essas administrativas dificultando a mensuração dos dados socioeconômicos.

Essa dificuldade de compatibilização é comum em estudos integrativos como os ambientais. Um bom exemplo é a gestão de bacias hidrográficas que deve considerar e mensurar a contribuição dos aportes de diferentes unidades político-administrativas, sejam eles positivos ou negativos. Uma saída comum tem sido a distribuição das variáveis considerando-se unicamente os percentuais de área comum (ou superposição entre unidades distintas). Por exemplo: um município composto por três bacias hidrográficas, com 45% de seu território para a bacia A, 35% para a bacia B e 20% para a bacia C. Por meio desta técnica, as variáveis seriam distribuídas considerando-se os mesmos valores percentuais, como se a área do município fosse ocupada de forma homogênea. Um grave problema nesta aproximação é justamente a desconsideração da heterogeneidade interna das unidades político-administrativas, que influenciará fortemente na distribuição desses dados para outras divisões territoriais.

Diferentemente, os levantamentos do meio físico, como solos, geologia, temperatura, dentre outros, são normalmente coletados de forma amostral (pontual) e posteriormente interpolados e/ou correlacionados com outras fontes de dados (normalmente provenientes do sensoriamento remoto, seja fotografia ou imagem de satélite) para a sua espacialização, buscando assim, uma forma de representação contínua. Neste caso, modelos, devidamente testados e ajustados, além de um especialista experiente são requeridos para se alcançar uma maior proximidade do fenômeno real.

Neste contexto, pretende-se utilizar técnicas que viabilizem a espacialização de totais populacionais em uma estrutura de representação discreta, matricial, apoiada por classificação de imagens de satélite, que possibilite a reintegração

de dados em unidades independentes da unidade de origem (**Figura 2**).



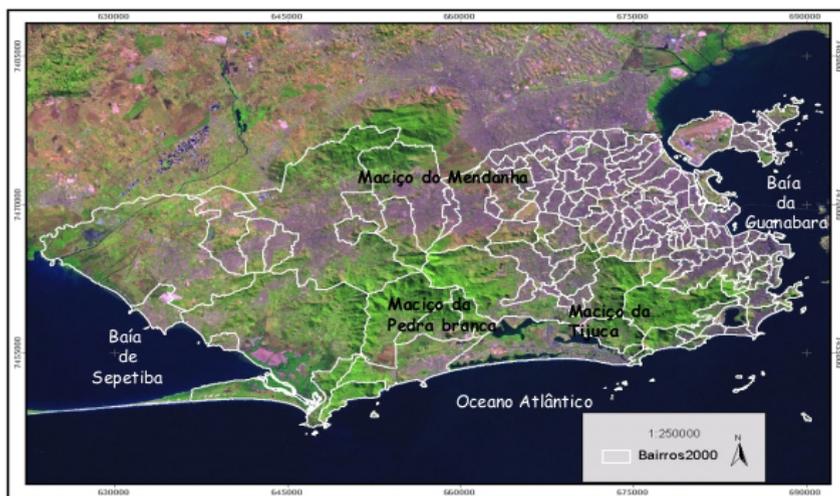
**Figura 2** - Estrutura de armazenamento matricial (PINA, 2000)

## **DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO**

A área de estudo é o município do Rio de Janeiro localizado entre as coordenadas geográficas 22° 35' e 23° 05' S de latitude e 43° 05' e 43° 50' W de longitude. A **Figura 3** apresenta a divisão do município do Rio de Janeiro justaposta a uma imagem Landsat 7 de 2000, onde se pode observar a existência de 3 importantes maciços (Tijuca, Pedra Branca e Mendanha). A área do município do Rio de Janeiro é de 1.255,3 km<sup>2</sup>, incluindo as ilhas e as águas continentais. Mede de leste a oeste 70km e de norte a sul 44km. Em 2000, o município estava dividido

em 32 Regiões Administrativas com 159 bairros.

Este município possui uma complexa ocupação urbana devido às características geomorfológicas (morros, áreas alagadas e pântanos). Como descrito por SOUZA (2000:119), “o processo de expansão do tecido urbano do Rio de Janeiro foi, desde o começo, o de uma luta dura contra os obstáculos naturais”. A cidade se situa entre o mar e a montanha, tendo 21,7% de sua área com altitudes superiores a 100 metros. Junte-se a isso os processos de especulação fundiária, muitas vezes caracterizados por uma urbanização em saltos, tendo como resultado uma ocupação extremamente heterogênea. Desta forma, a distribuição do quase seis milhões de habitantes configura diversos níveis de intensidade de ocupação, desde áreas não habitadas ou com ocupação rarefeita (como é o caso das imediações de Grumari, na Zona Oeste) até áreas com ocupação muito densa (como a Zona Sul).



**Figura 3** - Imagem - município do Rio de Janeiro.

As **Figuras 4, 5, 6, 7 e 8** apresentam fotos exemplificando os diferentes tipos de ocupação analisados.



**Figura 4** - Área não ocupada (Recreio dos Bandeirantes).



**Figura 5** - Urbano Médio (Vila Valqueire).



**Figura 6** - Ocupação Isolada (Vargem Grande).



**Figura 7** - Urbano Intenso (Copacabana).



**Figura 8** - Urbano Rarefeito

## MATERIAIS E MÉTODOS

A base de dados socioeconômicos utilizada foi o Censo 2000 do IBGE, de onde foram obtidos os totais populacionais do município, dos bairros e dos setores censitários utilizados.

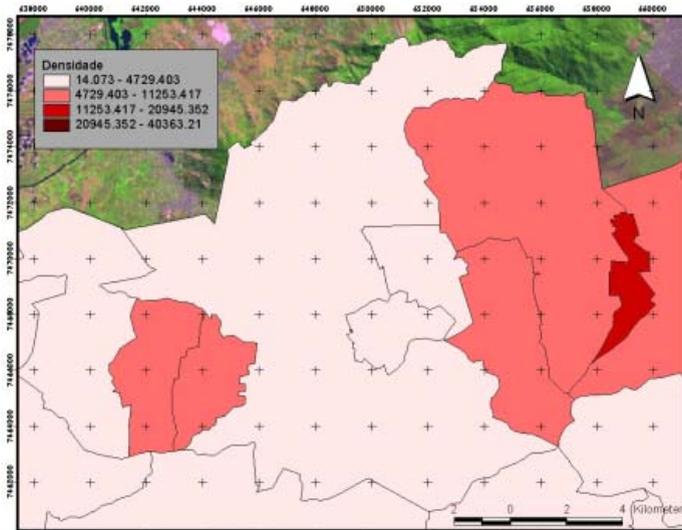
As imagens utilizadas foram as do satélite Landsat 7, sensor ETM+, de 28 de fevereiro de 2000 (mesmo ano do Censo). Estas imagens foram georreferenciadas e preliminarmente classificada através de segmentação, utilizando as bandas 2, 3, 4, 5 e 7, como valor de área mínima 10 e similaridade 14. O tipo de classificação adotado foi o supervisionado, com o algoritmo Bhattacharya, disponível no Sistema Spring 4.0. Desta forma, obteve-se o mapa temático inicial de uso e cobertura da terra, posteriormente simplificado em 5 classes: Áreas não ocupadas, Ocupação Isolada, Ocupação Rarefeita, Ocupação Média e Ocupação Intensa. Trabalhos de campo foram realizados objetivando a

validação da classificação, cujos resultados realimentaram novos processamentos através da inclusão de outras áreas de treinamento. Para o caso de confusões não resolvidas automaticamente foram efetuadas edições vetoriais e matriciais para obtenção do mapa temático final.

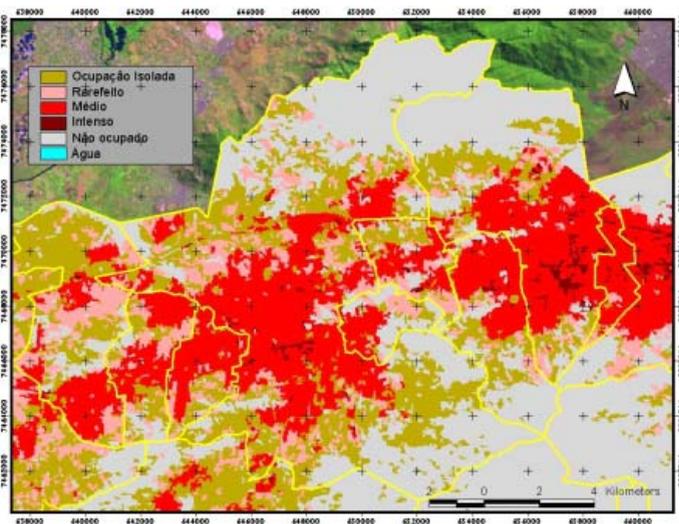
Assim, são contrapostos dois mapas temáticos distintos, relacionados à intensidade de ocupação. O mapa da **Figura 9** representa a variável densidade demográfica (hab/km<sup>2</sup>) obtida por meio dos dados censitários de 2000 do IBGE. Nele observa-se que as unidades político-administrativas, no caso os bairros, apresentam-se de forma homogênea, distante da realidade. A **figura 10** apresenta o mesmo recorte espacial só que com o mapa temático obtido pela classificação digital. Diferentemente do caso anterior, pode-se observar neste mapa a variação da ocupação, permitindo perceber as heterogeneidades internas de um bairro.

Para fazer a espacialização da variável Total Populacional numa estrutura matricial (pixels), considerou-se a classificação feita como um indicador da heterogeneidade da ocupação, convertendo-se as classes obtidas em um valor numérico, denominado peso, que permitisse a manipulação dos dados em um modelo matemático.

Um dos principais problemas encontrados neste trabalho, por seu caráter subjetivo, foi exatamente a definição da forma de se converter classes qualitativas em quantitativas, ou seja, a determinação dos pesos que cada classe teria na aplicação do modelo matemático. As áreas definidas como não ocupadas e corpos d'água, receberam peso igual a 0 (zero) por não conter população. As áreas de ocupação isolada receberam o peso igual a 1 (um). As demais classes de ocupação receberam valores gradativos conforme a intensidade populacional.

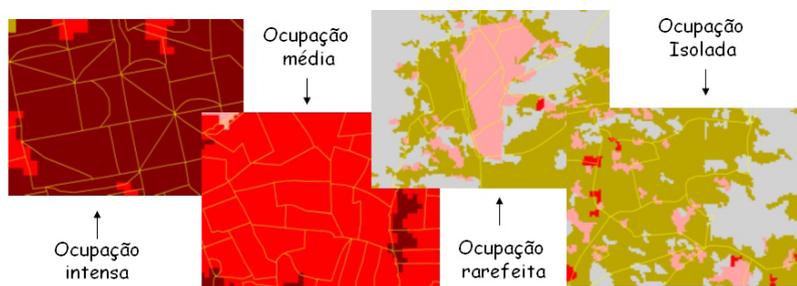


**Figura 9** - Mapa gerado somente a partir dos dados populacionais (Campo Grande).



**Figura 10** - Mapa obtido a partir da classificação da imagem (Campo Grande).

Os outros pesos foram obtidos através de análises estatísticas sobre dados populacionais agregados por uma unidade ainda menor, os setores censitários, já que precisavam ser o mais homogêneo possível. Assim, para este cálculo foram selecionados setores censitários que estivessem totalmente, ou quase que totalmente, inseridos em uma determinada classe (**Figura 11**). Os pesos das três outras classes (ocupação rarefeita, média e intensa) foram estimados a partir dos valores médios obtidos para as amostras de cada classe, traduzidos no número de vezes que cada nível de ocupação (classe) era mais intenso que o menor (ocupação isolada).



**Figura 11:** Setores censitários e os diferentes níveis de ocupação

O cálculo e a análise comparativa entre as médias permitiram a construção de uma ponderação relativa entre as classes, chegando-se a:

- áreas não ocupadas, peso 0
- ocupação isolada, peso 1
- ocupação rarefeita, peso 6
- ocupação média, peso 20

- ocupação intensa, peso 70

Desta forma, um pixel classificado como ocupação intensa possui, em média, 70 vezes mais habitantes do que o de ocupação isolada. É importante ressaltar que a análise dos pesos é variável, devendo ser reavaliada, para cada área a ser estudada, dado que classificações deste tipo (intensa, média, baixa) são consideradas muito subjetivas e variáveis. Posteriormente, adaptou-se o modelo proposto por Nogueira (2003), explicitado no item a seguir.

### **DEFINIÇÃO DO MODELO**

Para definição do modelo de distribuição da população, considerou-se que:

- por significar a unidade mínima de representação, cada pixel pertencerá única e exclusivamente a uma dada classe de ocupação e a uma unidade político-administrativa (neste trabalho, o bairro).

- conversão de todos os mapas para a estrutura matricial mantendo-se uma mesma resolução espacial (no caso, a mesma do Landsat, de 30m). Os mapas necessários foram: mapa da divisão municipal em bairros com os totais populacionais de 2000 (cada pixel recebe o código do bairro a que pertence) e mapa temático da intensidade de ocupação (cada pixel recebe o código da classe a que pertence). A área de cada pixel corresponde a 900m<sup>2</sup> no terreno.

- utilização dos SIG para o cruzamento das bases, de forma a obter-se uma representação única onde cada pixel recebe um dos dois códigos de interesse. Desta forma pode-se agregá-los de diferentes modos, conforme a necessidade. Utilizou-se aqui a extensão *Spatial Analyst* do Arcview 3.2 através de sua função *Combine Grids*.

· elaboração de um modelo matemático que viabilizasse o cálculo do número de habitantes por pixel, considerando que o mesmo varia com a unidade político-administrativa (bairro origem) e a classe de ocupação a que pertence.

Partindo-se dos totais populacionais por bairro, viu-se a necessidade de distribuir a população por todos os pixels definidores de cada bairro, considerando-se as heterogeneidades representadas no mapa temático (através dos pesos). Para tal, adotou-se o artifício de ampliar a área inicial de cada bairro por meio da simulação de multiplicar o valor dos pixels pelos pesos referentes às classes de ocupação encontradas. Cada bairro passou então a ser constituído por um número maior de pixels, todos homogêneos e correspondentes ao nível de menor intensidade (ocupação isolada). A formulação desenvolvida nessa primeira etapa calcula, portanto, o número de habitantes por pixel considerando-se somente a classe ocupação isolada a partir da formulação (1):

$$tot\_pop_j / \sum(peso_i * pixel_{ij}) \quad (1)$$

Onde:

i = classe de ocupação

j = bairro

tot\_pop = total populacional do bairro j

peso = peso relativo à classe i

pixel = número de *pixels* pertencentes a uma dada classe i em um bairro j

O próximo passo foi a agregação destes pixels de acordo com a real distribuição de classes dos bairros, de forma a que as áreas dos mesmos

retornassem ao seu tamanho original. A expressão a seguir (2), apresenta o acréscimo feito à formulação anterior (1), onde se multiplica o número de *pixels* relativos a uma determinada classe e o seu peso correspondente.

$$tot\_pop_i * (peso_i * pixel_{ij}) / \Sigma(peso_i * pixel_{ij}) \quad (2)$$

Obtém-se, desta forma, o total populacional de cada classe de ocupação em um bairro.

Como ainda era necessário reduzir este valor a um pixel, foi utilizada a formulação (2) para dividir o valor obtido pelo número de pixels de uma classe *i*, conforme expressão (3):

$$[tot\_pop_i * (peso_i * pixel_{ij}) / \Sigma(peso_i * pixel_{ij})] / pixel_{ij} \quad (3)$$

Obteve-se, desta forma, a variável desejada: número de habitantes por *pixel*, dado uma classe *i* e um bairro *j* (Hab/pix<sub>ij</sub>). Simplificando-se a expressão (3) tem-se o modelo final, apresentado a seguir (4):

$$Hab / pix_{ij} = (totpop_j * peso_i) / \sum_1^n (peso_i * totpix_{ij}) \quad (4)$$

Aplicando-se este modelo, é possível obter o número de habitantes por pixel de cada bairro considerando-se as heterogeneidades internas ao mesmo. É interessante salientar que, embora os processos de obtenção das classes e dos pesos tragam consigo uma certa carga de subjetividade, de forma alguma inserem erros (resíduos) no resultado original, uma vez que o total populacional de cada bairro é novamente obtido através da soma do número de habitantes dos seus pixels. Desta forma, o número de habitantes de *pixels* pertencentes a uma mesma classe pode variar de bairro para bairro, pois depende do total populacional do bairro a que pertencem, conforme apresentado no modelo.

Tendo-se a população assim distribuída, pode-se agora agregá-la para qualquer limite definido (bacias hidrográficas, unidades de conservação,...), obtendo-se um valor bastante aproximado da realidade. Desta forma, diferentes recortes (mesmo os físicos) poderão se beneficiar e ter valores populacionais mensurados.

### VALIDAÇÃO DO MODELO

Para mostrar que o modelo não inclui resíduos, vamos apresentar, a título de exemplo, a **tabela 1**, que mostra o caminho inverso a partir de dados obtidos no modelo para o bairro de Campo Grande.

O total da população por classe é obtido através da multiplicação do número de pixels da classe pela densidade do pixel da mesma classe. Somando-se o total de cada classe, chegamos ao total da população do bairro. Como pode ser observado, o total populacional obtido no somatório retorna o valor populacional original.

**Tabela 1** - Bairro de Campo Grande (Pop. Original 297.494 hab).

Bairro	Classes	Pixels	Pop/pixel	Totais
Campo Grande	Urbano rarefeito	14806	2.135	31610,81
Campo Grande	Áreas não ocupadas	49728	0	0
Campo Grande	Ocupação isolada	33741	0.356	12,011,796
Campo Grande	Urbano médio	32918	7.116	234,244,488
Campo Grande	Urbano intenso	788	24.907	19,626,716
				297494

## **POTENCIALIDADES E CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Tendo se mostrado satisfatório, o modelo apresentado pode ser aplicado em diversos objetivos, tanto para atender a recortes espaciais naturais que não obedeçam aos recortes político-administrativos como em outras situações especiais.

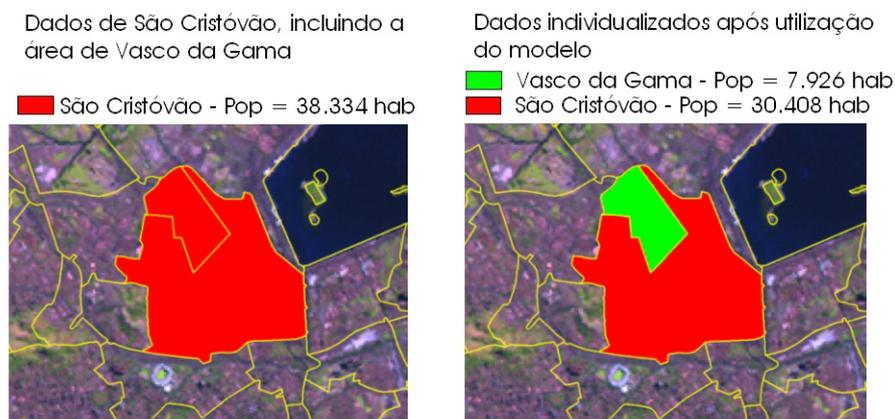
Os dados de sensoriamento remoto possibilitaram a identificação da intensidade de ocupação através das diferentes respostas espectrais encontradas para cada classe mapeada. Uma importante vantagem da adoção das imagens orbitais se constitui no fato delas permitirem a geração de mapas em diferentes épocas e escalas.

Sugere-se a aplicação do modelo proposto em outras áreas, no sentido de ampliar os testes de validação do mesmo, principalmente pela grande dificuldade de se caracterizar os níveis de intensidade de ocupação.

Entre os recortes espaciais naturais, temos uma aplicação bastante importante na gestão de bacias hidrográficas, que depende de dados populacionais que podem ser obtidos mais facilmente através do modelo. Áreas de proteção ambiental, entornos de rios e parques, entornos de lagoas e de estradas, também se constituem em recortes diferenciados que podem ter seus estudos beneficiados pela aplicação do modelo. Com a reestruturação dos totais populacionais na forma matricial, através da aplicação do modelo, pode-se estimar a população para qualquer um destes limites.

Outro grande potencial está na possibilidade de se analisar áreas que sofreram significativas alterações em sua divisão político-administrativa ao longo do tempo.

O fato de se poder estimar para as Um outro exemplo de potencialidade do modelo é a estimativa da população de um bairro recém criado. É o caso do bairro Vasco da Gama, no Rio de Janeiro, que não teve sua população quantificada no Censo de 2000. O método proposto permite a estimava da população deste bairro a partir do bairro a que teve origem, São Cristóvão. Depois de calculada a densidade de cada pixel pertencente ao bairro de São Cristóvão, foram agregados os pixels que passaram a fazer parte do bairro Vasco da Gama. Somando-se a população desses pixels, obtém-se a população estimada para o bairro naquela data. A **Figura 12** ilustra este exemplo.



**Figura 12-** Mensuração do bairro Vasco da Gama.

A partir de um total populacional, em 2000, de 38.334 hab para o bairro de São Cristóvão, incluindo a área de Vasco da Gama, obteve-se, de acordo com o modelo, os totais populacionais individualizados para Vasco da Gama (População de 7.926 hab) e São Cristóvão (População de 30.408 hab).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. de A. (org.) (1992) *Natureza e sociedade no Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.
- CROSTA, A. P. (1992) *Processamento Digital de Imagens de sensoriamento Remoto*. Campinas – SP. 170p.
- IBGE. (2001) *Introdução ao Processamento Digital de Imagens*. Manuais Técnicos em Geociências, nº 9. Rio de Janeiro: IBGE.
- MOREIRA, M. A. (2003) *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação*. Viçosa: UFV.
- NOGUEIRA, C. R.; ROCHA, E. M. F. & CRUZ, C. B. (2003) Integração de Variáveis Socioeconômicas em Unidades Ambientais, O Caso da Bacia da Baía de Guanabara. In: *ANAIS XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*. pp. 983-986.
- PINA, M. F. (2000) Armazenamento dos Dados em SIG In: CARVALHO, M. S.; PINA, M. F. & SANTOS, S. M. *Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à Saúde*. RIPSAs.122p.
- PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (2000) *Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC). Mapeamento e Caracterização do Uso das Terras e Cobertura Vegetal no Município do Rio de Janeiro entre os anos de 1984 e 1999*. Rio de Janeiro: PCRJ. 75p.
- SOUZA, M. L. de. (2000) *O desafio metropolitano: um estudo sobre a problemática sócio-espacial nas metrópoles brasileiras*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.