



Ministério da  
**Ciência, Tecnologia  
e Inovação**

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE**

**Pós-graduação em Sensoriamento Remoto**

SER 300-4 Introdução ao Geoprocessamento

Professores responsáveis: Dr. Claudio Barbosa  
Dr. Antônio Miguel Vieira Monteiro

Discente: Mayumi Cursino de Moura Hirye

RELATÓRIO DE TRABALHO FINAL

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ANÁLISE DAS TRANSFORMAÇÕES INTRA-  
URBANAS EM ALTAMIRA (PA), ENTRE 2000 E 2010**

São José dos Campos  
2015

## 1. Introdução

Este relatório apresenta o trabalho realizado para a disciplina SER-300, Introdução ao geoprocessamento. O objetivo principal do trabalho foi analisar os dados censitários em recortes territoriais diferentes dos setores censitários, com a utilização do geoprocessamento. Como objetivos secundários têm-se a proposição de metodologia para a integração de dados censitários e dados de sensoriamento remoto por meio do geoprocessamento e a avaliação do R para escrever e executar scripts de geoprocessamento.

Setores censitários são “a unidade de controle cadastral formada por área contínua, situada em um único quadro urbano ou rural, com dimensão e número de domicílios ou de estabelecimentos que permitam o levantamento das informações por um único Agente Credenciado, segundo o cronograma estabelecido” (IBGE, 2011a). Ou seja, a definição dos limites dos setores censitários segue critérios operacionais. Especificamente os setores censitários urbanos conformam o perímetro urbano, definido por lei municipal em vigor em 1º de agosto de 2000 e em 31 de julho de 2010.

Os setores podem, eventualmente, ser concordantes com divisões territoriais existentes nas cidades – bairros ou distritos, por exemplo. E podem também, incorporar áreas não ocupadas, mas que estão dentro do perímetro urbano. Assim, para desenvolver análises espaciais em recortes territoriais mais adequados que a delimitação dos setores foi empregada a metodologia apresentada na sequência.

## 2. Metodologia

As atividades desenvolvidas estão apresentadas no fluxograma (Fig. 1) e são descritas nas seções subsequentes.

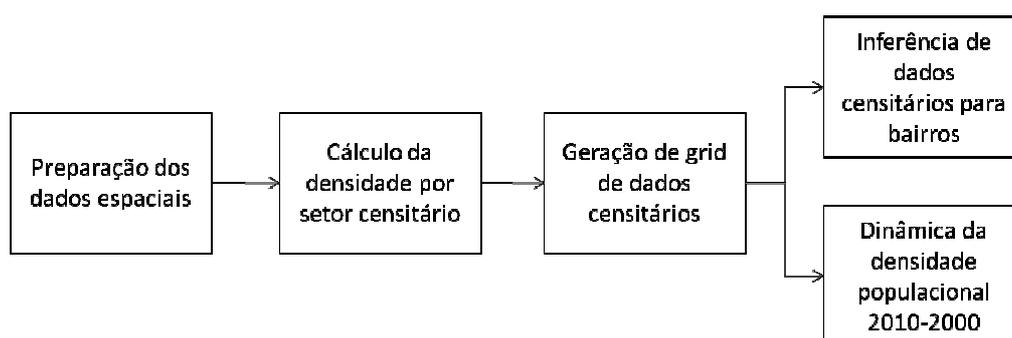
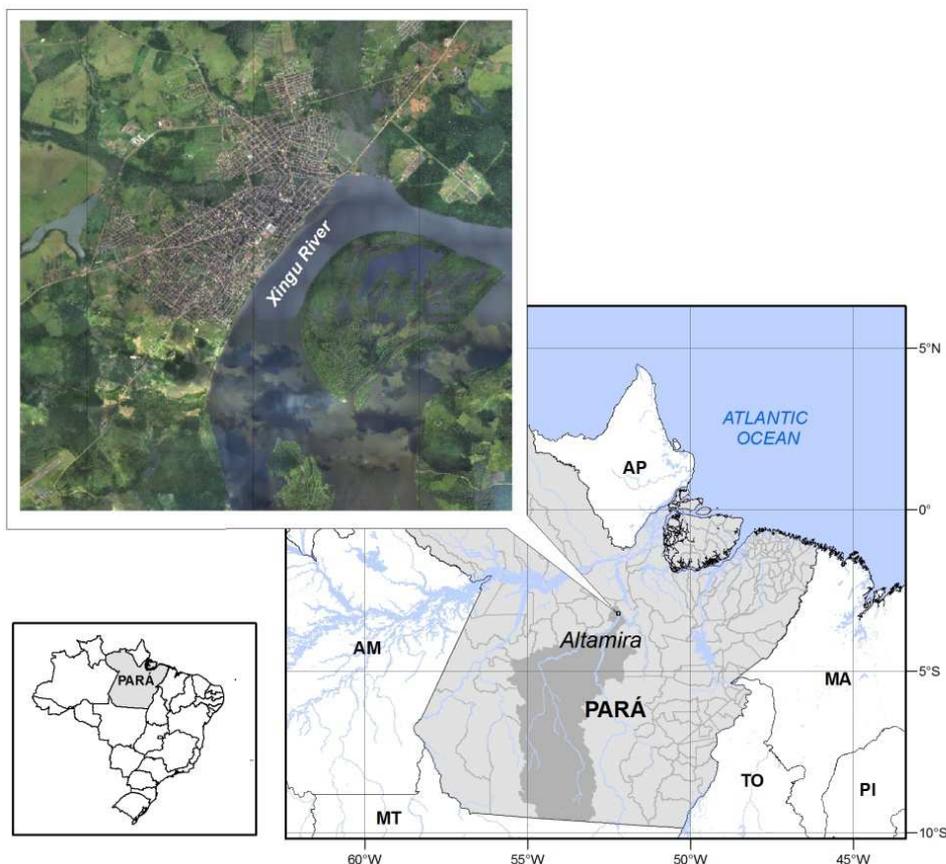


Fig. 1. Fluxograma de atividades

## 2.1 Materiais

### Área de estudo

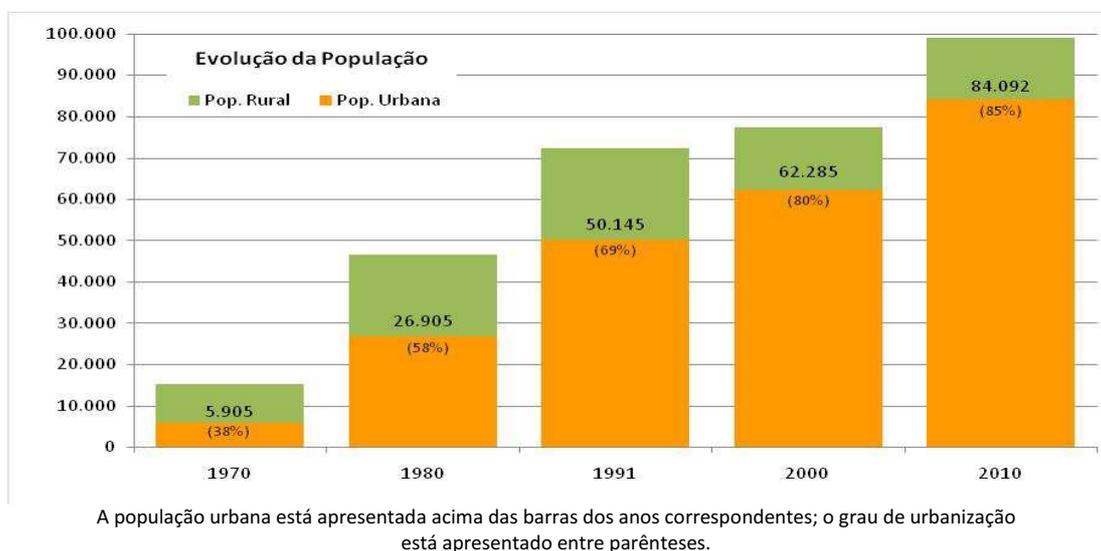
A cidade de Altamira está situada na porção central do estado do Pará, na margem esquerda do rio Xingu (Fig. 2). Dista 720 km da capital do estado e constitui-se como um centro sub-regional, subordinado à própria capital Belém, polarizando, por sua vez, as cidades de Anapu, Brasil Novo, Medicilândia, Pacajá, Porto de Moz, Senador José Porfírio, Uruará e Vitória do Xingu (IBGE, 2008). A BR-320, rodovia Transamazônica, corta a cidade de Altamira, ligando-a a leste à Marabá e a oeste à Itaituba.



**Fig. 2.** Área de estudo

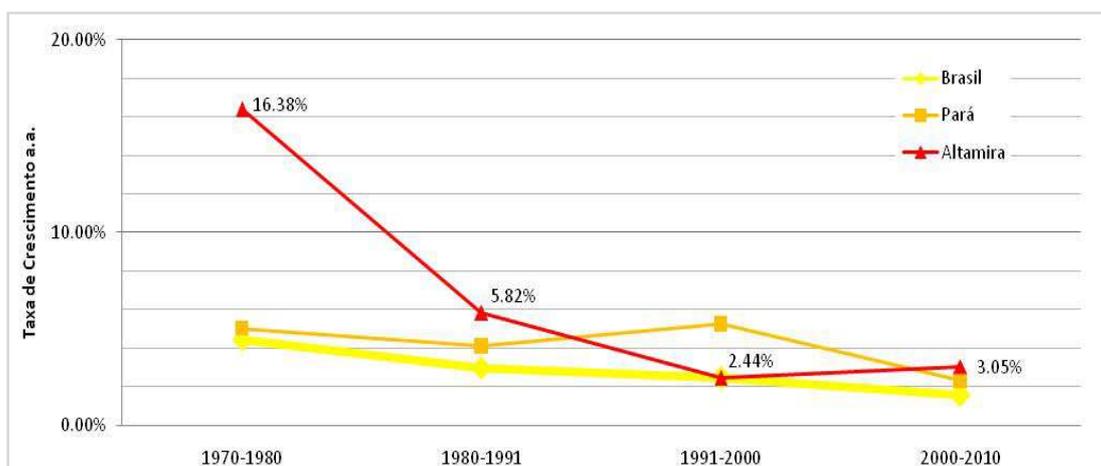
A ocupação de Altamira data do século XVIII, como um posto avançado para a exploração do interior da Amazônia, empreendida pelos jesuítas. O município de Altamira foi emancipado de Souzel em 1911. Em 1909, contabilizava-se mais de 100 casas na vila de Altamira (UMBUZEIRO, 2012). A partir de 1970, as iniciativas do governo federal para a ocupação da Amazônia foram responsáveis pelo vertiginoso crescimento da cidade. Os dados estatísticos (IBGE, 2013) apontam que, no período de maior crescimento demográfico da cidade, entre 1970 e 1980, a taxa de crescimento foi de 16,38% a.a.: de 6 mil habitantes em 1970, a cidade passou a abrigar em 1980, cerca de

27 mil pessoas. Atualmente, a população da cidade é de pouco mais de 84 mil habitantes. Apenas no período entre 1991 e 2000, Altamira apresentou crescimento menor que a média do estado. No restante do período, entre 1970 e 2010, seu crescimento superou, inclusive, a média do país (Figs. 3 e 4).



**Fig. 3.** População total, população rural, população urbana e grau de urbanização em Altamira em 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010.

Fonte: Censos Demográficos 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 (IBGE, 2013).

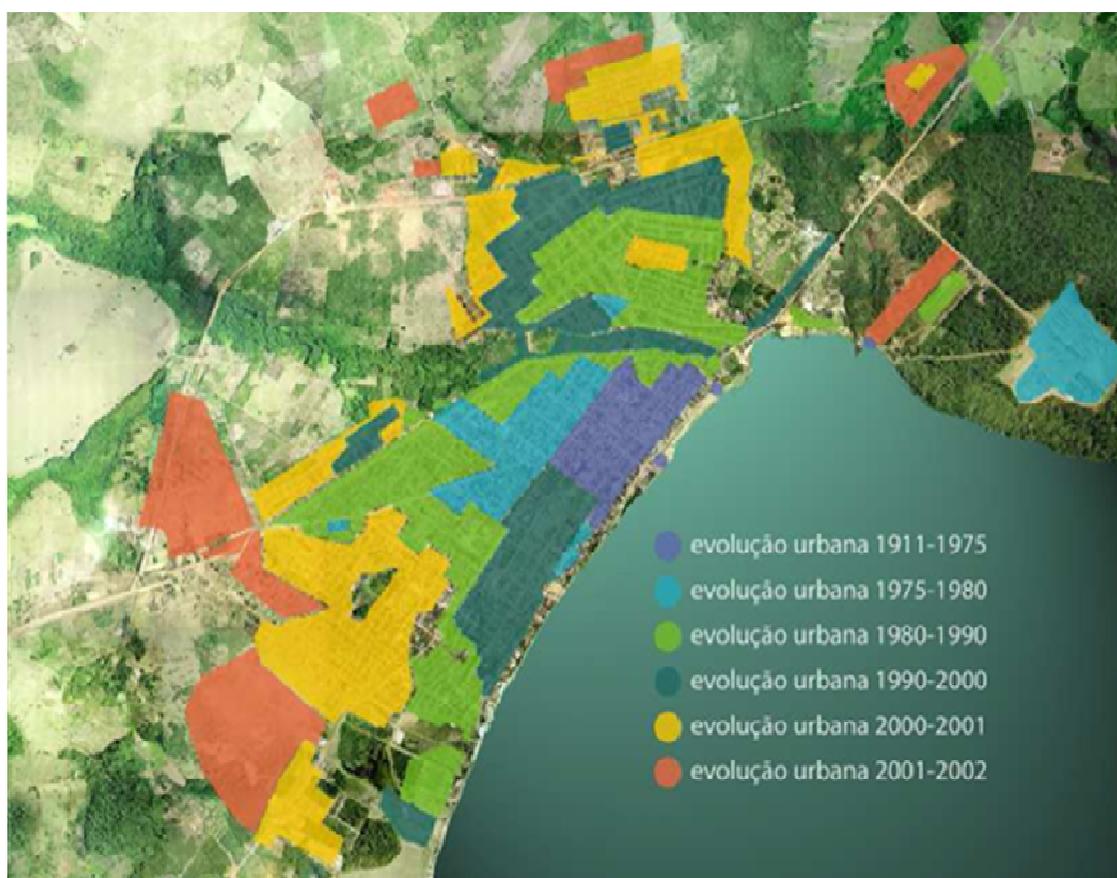


**Fig. 4.** Taxa de crescimento da população urbana de Altamira, do estado do Pará e do Brasil entre 1970 e 2010.

Fonte: Censos Demográficos 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010 (IBGE, 2013).

A partir da década de 1970, observa-se o crescimento da mancha urbana para além da ocupação pioneira da margem do Rio Xingu (Fig. 5). A expansão da cidade se deu a partir de assentamentos planejados pela Prefeitura Municipal, pela Prelazia do Xingu e por empresas privadas. Parte da população, entretanto, ocupou, de forma irregular, as

baixadas e áreas alagadiças. Assim Altamira apresenta padrões variáveis de urbanização em termos de infraestrutura urbana e condições das edificações.



**Fig. 5.** Expansão da mancha urbana de Altamira de 1911 a 2002.

Fonte: Modificado de PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA (2003), apud TECHNUM (2010).

### **Dados censitários**

Foram selecionadas as variáveis de interesse, conforme apresentado na Tab. 1, que quantificam a população, os domicílios e a renda, além das que qualificam as condições dos domicílios. Foram selecionadas as variáveis que constam dos dois Censos. O valor do salário mínimo de referência para o Censo de 2000 e 2010 é, respectivamente, R\$ 151,00 e R\$ 510,00.

**Tab. 1.** Dados censitários de interesse

Planilha	2000	2010	Descrição
Básico	Var01	V001	Domicílios particulares permanentes ou pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes
Básico	Var12	V002	Moradores em domicílios particulares permanentes ou população residente em domicílios particulares permanentes

Planilha	2000	2010	Descrição
Básico	Var03	V005	Rendimento nominal mensal por pessoa responsável por domicílio particular permanente
Básico	Var04	V006	Variância do rendimento nominal mensal das pessoas responsáveis por domicílios particulares permanentes, considerando os casos de rendimento nulo
Domicílios	V0006	V003	Domicílios particulares permanentes do tipo casa
Domicílios	V0007	V005	Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento
Domicílios	V0018	V012	Domicílios particulares permanentes com abastecimento de água da rede geral
Domicílios	V0030	V017	Domicílios particulares permanentes com banheiro ou sanitário e esgotamento sanitário via rede geral de esgoto ou pluvial
Domicílios	V0036	V023	Domicílios particulares permanentes sem banheiro, nem sanitário
Domicílios	V0048	V035	Domicílios particulares permanentes com lixo coletado
Renda	V0612 a V0620	V011 a V019	Total do rendimento nominal mensal dos responsáveis por domicílios particulares permanentes com rendimento nominal mensal: <ul style="list-style-type: none"> <li>- de até ½ salário mínimo;</li> <li>- de mais de ½ a 1 salários mínimos;</li> <li>- de mais de 1 a 2 salários mínimos;</li> <li>- de mais de 2 a 3 salários mínimos;</li> <li>- de mais de 3 a 5 salários mínimos;</li> <li>- de mais de 5 a 10 salários mínimos;</li> <li>- de mais de 10 a 15 salários mínimos;</li> <li>- de mais de 15 a 20 salários mínimos;</li> <li>- de mais 20 salários mínimos.</li> </ul>
Renda	V0602 a V0611	V067 a V076	Responsáveis por domicílios particulares permanentes com rendimento nominal mensal: <ul style="list-style-type: none"> <li>- de até ½ salário mínimo;</li> <li>- de mais de ½ a 1 salários mínimos;</li> <li>- de mais de 1 a 2 salários mínimos;</li> <li>- de mais de 2 a 3 salários mínimos;</li> <li>- de mais de 3 a 5 salários mínimos;</li> <li>- de mais de 5 a 10 salários mínimos;</li> <li>- de mais de 10 a 15 salários mínimos;</li> <li>- de mais de 15 a 20 salários mínimos;</li> <li>- de mais 20 salários mínimos.</li> </ul> Responsáveis por domicílios particulares permanentes sem rendimento nominal mensal.

### **Dados de sensoriamento remoto**

As imagens de sensoriamento remoto utilizadas constam da Tab. 2.

**Tab. 2.** Imagens utilizadas

<b>Ano</b>	<b>Tipo</b>	<b>Escala / Resolução</b>	<b>Formato Original</b>	<b>Órgão Cedente</b>
1979	Foto Aérea	1:5.000	Impressas	Eletronorte
1987	Foto Aérea	1:8.000	Impressas	Eletronorte
1999	Ortofoto	1:8.000	Digital	Eletronorte / CDHU-PA
2000	Landsat TM	30m	Digital	DGI/INPE
2005	Quickbird	0,60m	Digital	IBAMA
2010	Ortofoto	0,30m	Digital	Eletronorte
2010	Landsat TM	30m	Digital	DGI/INPE

As imagens de média resolução foram classificadas pelo modelo linear de mistura espectral, conforme descrito em Hirye *et. al* (2015). Os índices de Exatidão Global e Exatidão Global Normalizada e *Kappa*, derivados da matriz de confusão e da matriz de confusão normalizada, foram utilizados para avaliar a concordância entre a classificação da cobertura da terra das imagens Landsat de 2000 e 2010 e as ortofotos de 1999 e 2010. Foram aleatoriamente selecionadas amostras de tamanho de 3x3 pixels (90m x 90m). As amostras de referência foram obtidas pela interpretação visual de ortofotos de 2010 e 1999/2000. Foram consideradas 169 e 193 amostras na avaliação dos mapas de 2000 e 2010, respectivamente. Os dois mapas de cobertura da terra (Fig. 6) apresentaram exatidão global de 85,2% (2000) e 88,1% (2010). O índice *Kappa* foi de 0,668 (2000) e 0,751 (2010), com um intervalo de confiança (95%) de  $\pm 0,120$  (2000) e  $\pm 0,09$  (2010). A incorporação dos erros de omissão e comissão no cálculo da exatidão global normalizada faz com que seus valores sejam menores que a exatidão global, sendo 75,2% (2000) e 71,6% (2010). Para um nível de significância de 5%, o teste Z mostrou que ambos os mapas são melhores que uma classificação casual.

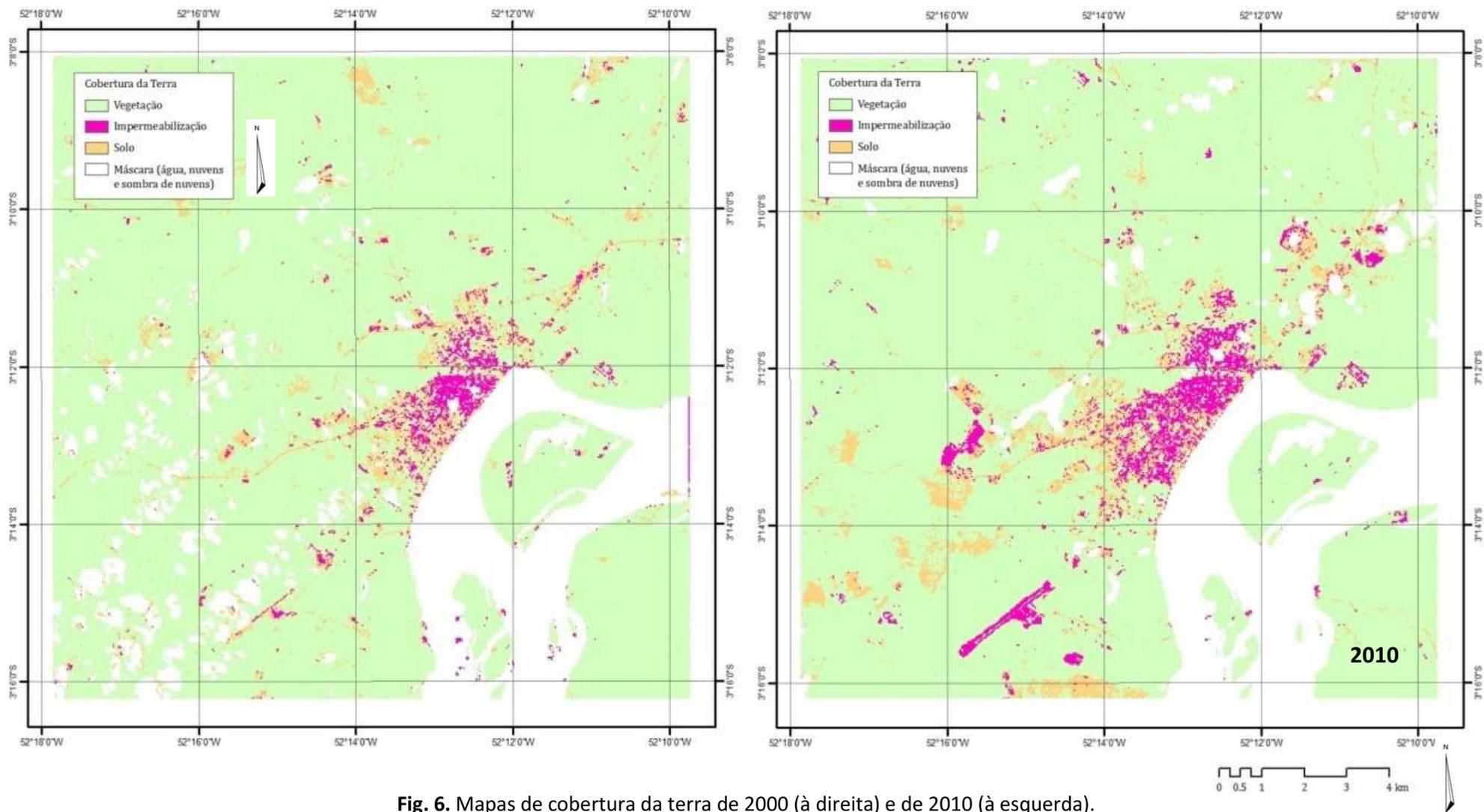


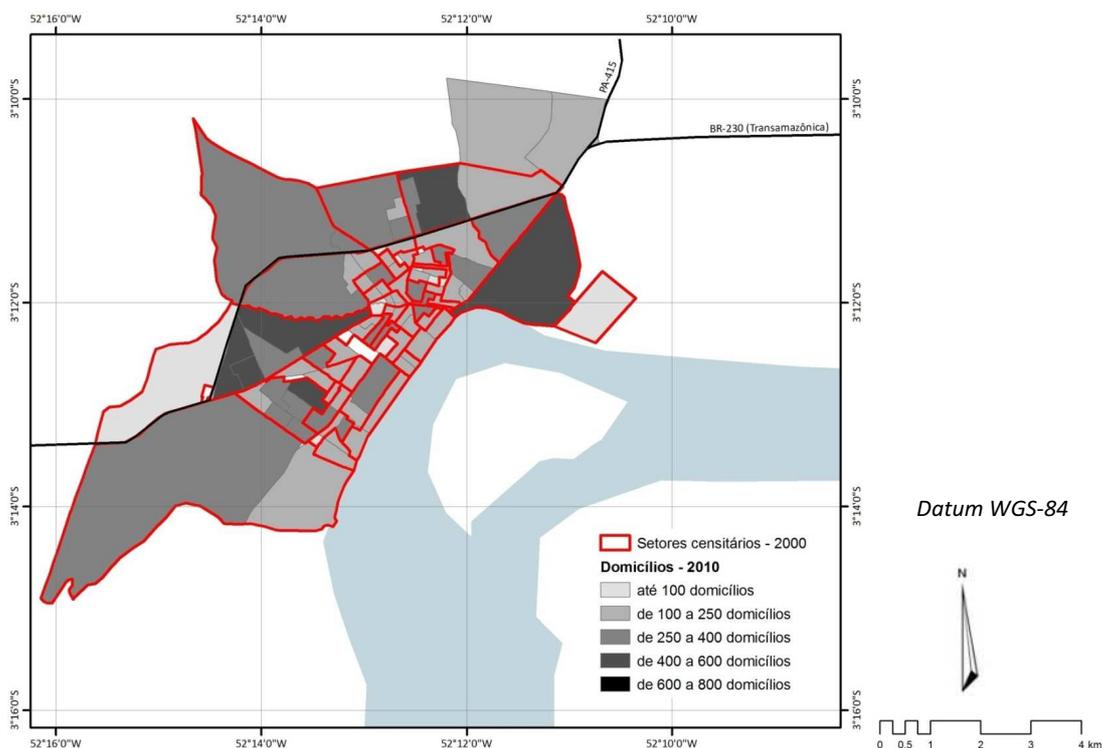
Fig. 6. Mapas de cobertura da terra de 2000 (à direita) e de 2010 (à esquerda).

## 2.2 Métodos

Utilizou-se um software de SIG para a preparação dos dados e para a visualização deles. O restante das operações foi feito no programa R, disponível como software livre. O R é uma linguagem e um ambiente para análises estatísticas e gráficas, expansível para outras aplicações a partir da instalação de ‘pacotes’. Classes (definição da estrutura e de como os dados são organizados e guardados) e métodos para dados espaciais constam do pacote ‘sp’ ((BIVAND; PEBESMA; GÓMEZ-RUBIO, 2008). Esse pacote em conjunto com o ‘rgdal’ foram utilizados para manipulação e mudanças de formato dos dados espaciais. O pacote ‘foreign’ foi utilizado para importação e exportação de dados em formato de tabelas.

### ***Preparação dos dados espaciais***

Os setores censitários de 2000 e 2010 foram consistidos espacialmente. De acordo com a documentação que acompanha a divulgação dos dados pelo IBGE em formato *shapefile* dos setores de 2000 foram criados a partir de mapas municipais e de localidades disponíveis em variadas escalas (IBGE, 2003a). Para o censo de 2010, foi feito um investimento para a obtenção de bases territoriais mais precisas e, com isso, a geometria e a malha de arruamento urbano dos setores urbanos foram ajustadas (IBGE, 2011a). Portanto, optou-se por utilizar a base de setores de 2010 para remontar os setores de 2000, a partir da descrição do perímetro de cada setor. Observou-se que, à exceção dos setores criados pela expansão do perímetro urbano de Altamira, os demais setores do *shapefile* de 2010 puderam ser agrupados para formar os setores de 2000 (Fig. 7). Para o censo de 2000, foram definidos 45 setores censitários urbanos em Altamira e, em 2010, 108 setores.



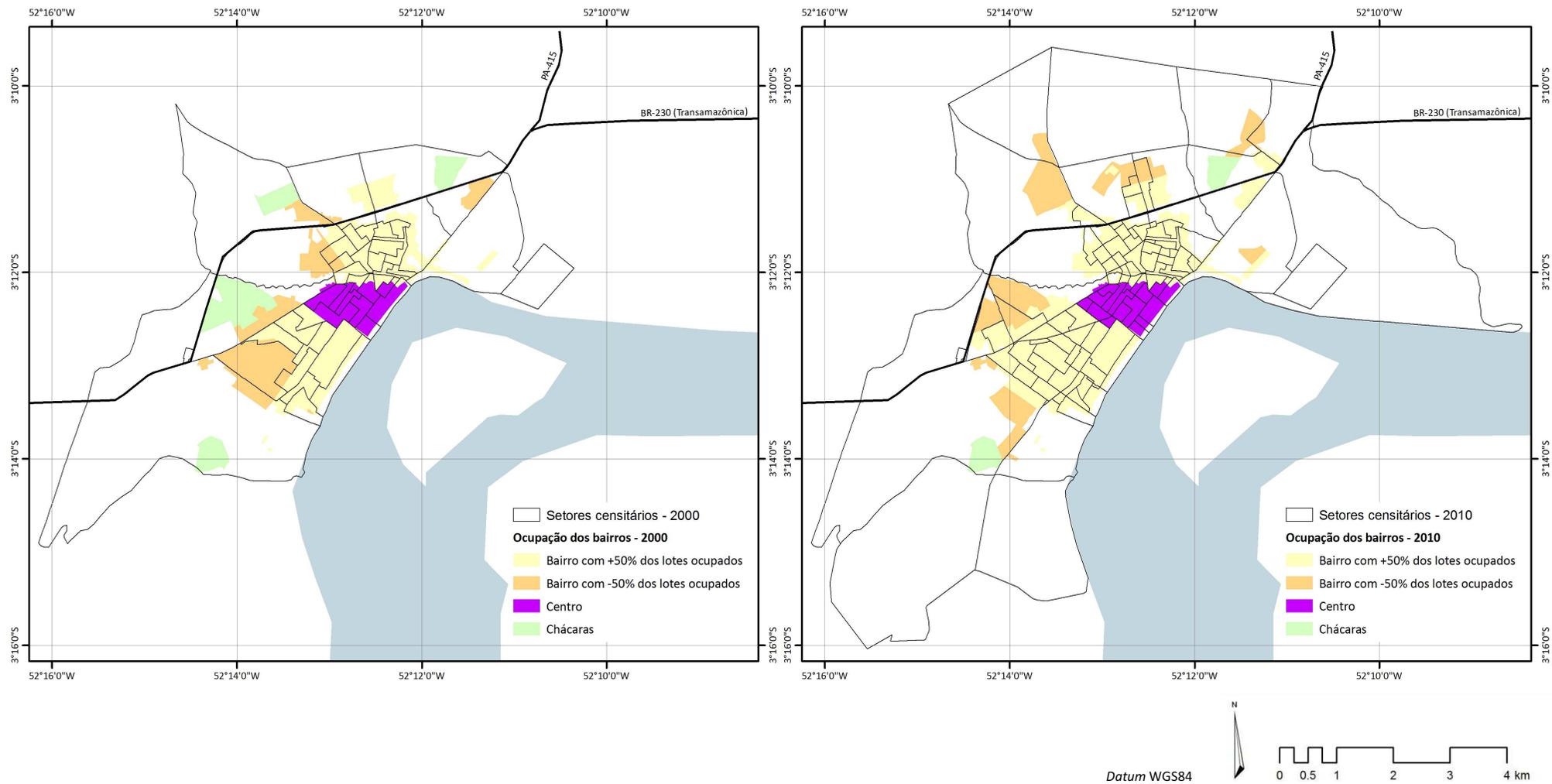
**Fig. 7.** Setores censitários em 2000 e 2010.

Os dados espaciais, tanto os setores censitários quanto os mapas de cobertura da terra, foram colocados na mesma projeção geográfica, com *Datum* WGS 84.

### ***Delimitação e classificação dos bairros***

Bairros são subdivisões intra-urbanas legalmente estabelecidas através de leis ordinárias das Câmaras Municipais e sancionadas pelo Prefeito. Entretanto, neste estudo, optou-se por delimitar e classificar os bairros a partir de imagens disponíveis para Altamira, de entrevistas realizadas em julho de 2013, durante visita de campo, e de dados de bibliografia (Fig. 8). A classificação considera as seguintes categorias:

- Centro: área de ocupação mais antiga da cidade (igreja da matriz, mercado municipal, rodoviária, cemitério, órgãos públicos e instituições) e a maior concentração de comércio e serviços;
- Chácaras, bairros próximos à mancha urbana com lotes de maiores dimensões (com área mínima de 2.500 m<sup>2</sup> - Lei n° 1.518/2003).
- Bairros com mais de 50% dos lotes ocupados em 2000 e em 2010;
- Bairros com menos de 50% dos lotes ocupados em 2000 e em 2010.

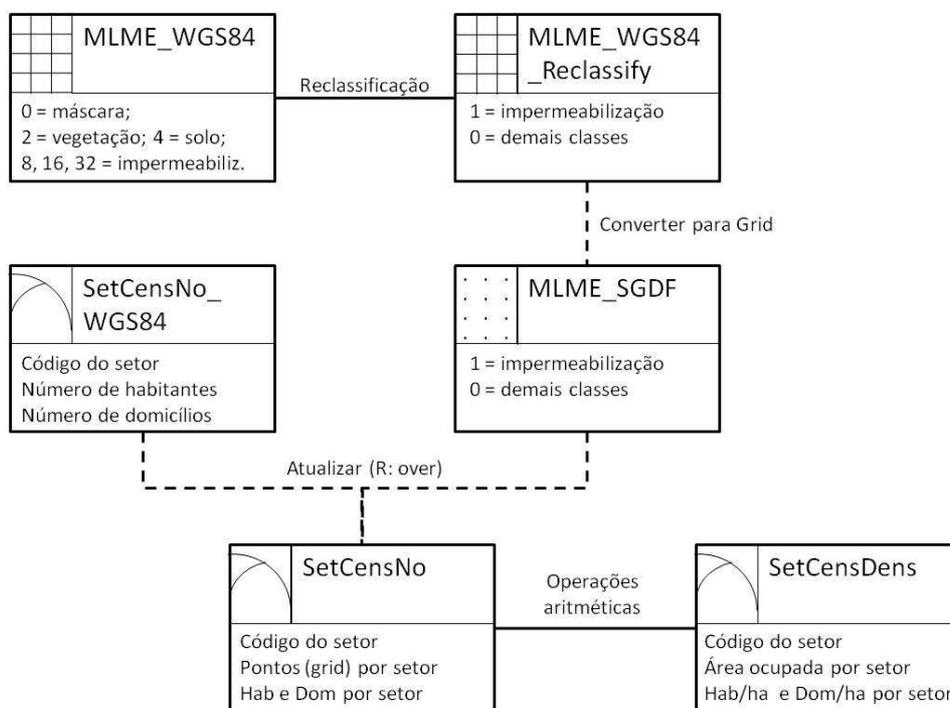


**Fig. 8.** Bairros em Altamira em 2000 (à direita) e em 2010 (à esquerda) e limite dos setores censitários.

### ***Cálculo da densidade por setor censitário***

Para o cálculo da densidade (de domicílios e de população), optou-se pelo método dasimétrico, que consiste em criar “limites de densidade para a variável mapeada mais próximos de sua verdadeira distribuição geográfica, do que o usualmente apresentado em um mapa temático, que impõe os limites das zonas de agregação para apresentar a variável” (KAMPEL, 2003). Os limites para o cálculo da densidade foram as áreas impermeabilizadas dos mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010.

A operação espacial realizada foi do tipo complexa, entre em geo-campos e geo-objetos, em que os atributos do geo-objeto foram atualizados de acordo com a soma dos pontos da grade espacial que estão inseridos em cada polígono do geo-objeto (cada setor censitário). O diagrama a seguir apresenta o modelo conceitual dos dados (Fig. 9).



**Fig. 9.** Modelo conceitual dos dados para o cálculo da densidade.

### ***Geração de grade de dados censitários***

A conversão de dados censitários, disponibilizados como geo-objetos (por setores), para geo-campos (grade de pontos) foi realizada conforme apresentado pelo diagrama a seguir (Fig. 10).

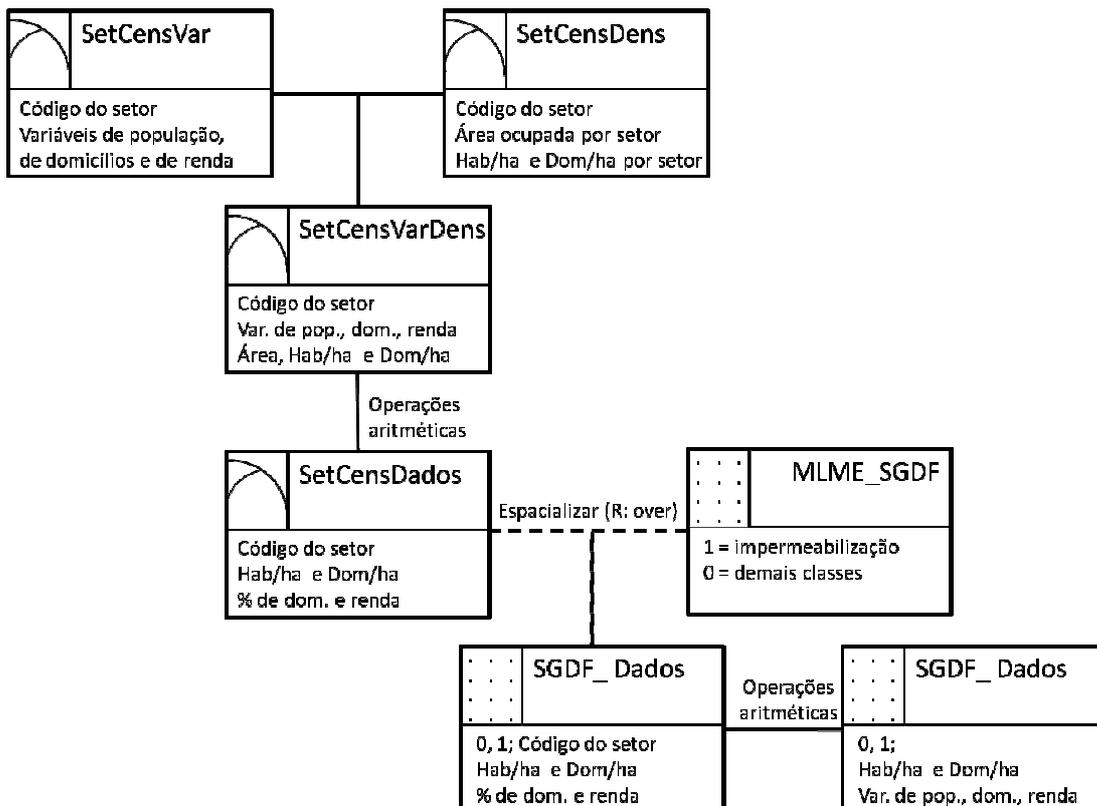


Fig. 10. Modelo conceitual dos dados para a geração da grade de dados censitários.

### ***Inferência de dados censitários para bairros***

A partir da grade de pontos é possível analisar os dados censitários nos recortes territoriais que se deseja. Neste estudo, foram utilizados os polígonos de bairros, definidos como geo-objetos. Foi realizada a mesma operação espacial anteriormente descrita: a atualização dos atributos dos polígonos de bairro de acordo com a soma dos pontos da grade espacial que estão inseridos nesses polígonos. O diagrama a seguir apresenta o modelo conceitual dos dados (Fig. 11).

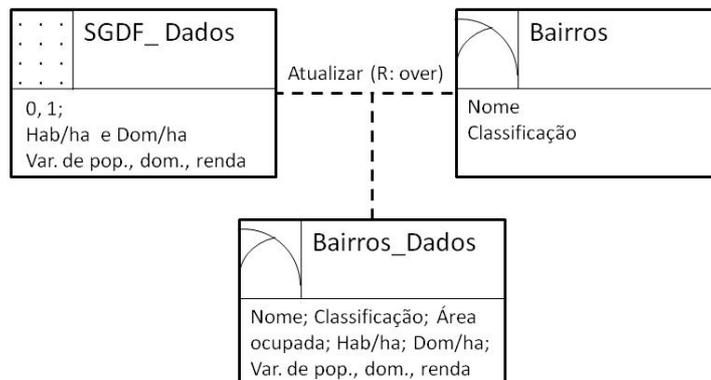
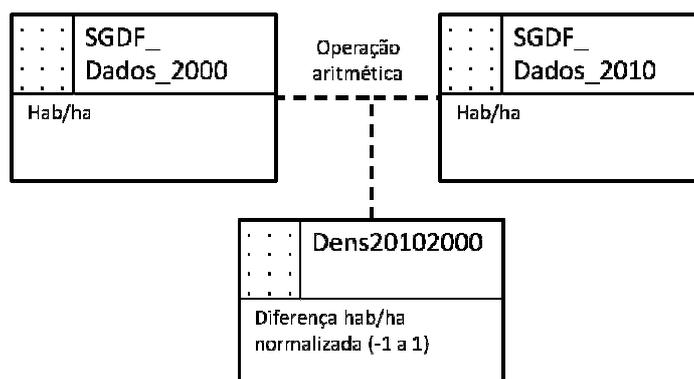


Fig. 11. Modelo conceitual dos dados para a inferência de dados censitários por bairros.

### ***Dinâmica da densidade populacional 2010-2000***

Os dados censitários espacializados na grade de pontos foram também analisados temporalmente. Nesse caso, foi feita a sobreposição da grade de 2000 e de 2010, a partir da diferença de 2010 e 2000. O resultado foi normalizado entre -1 e 1, e transformado em uma matriz, conforme apresentado no diagrama a seguir (Fig. 12).

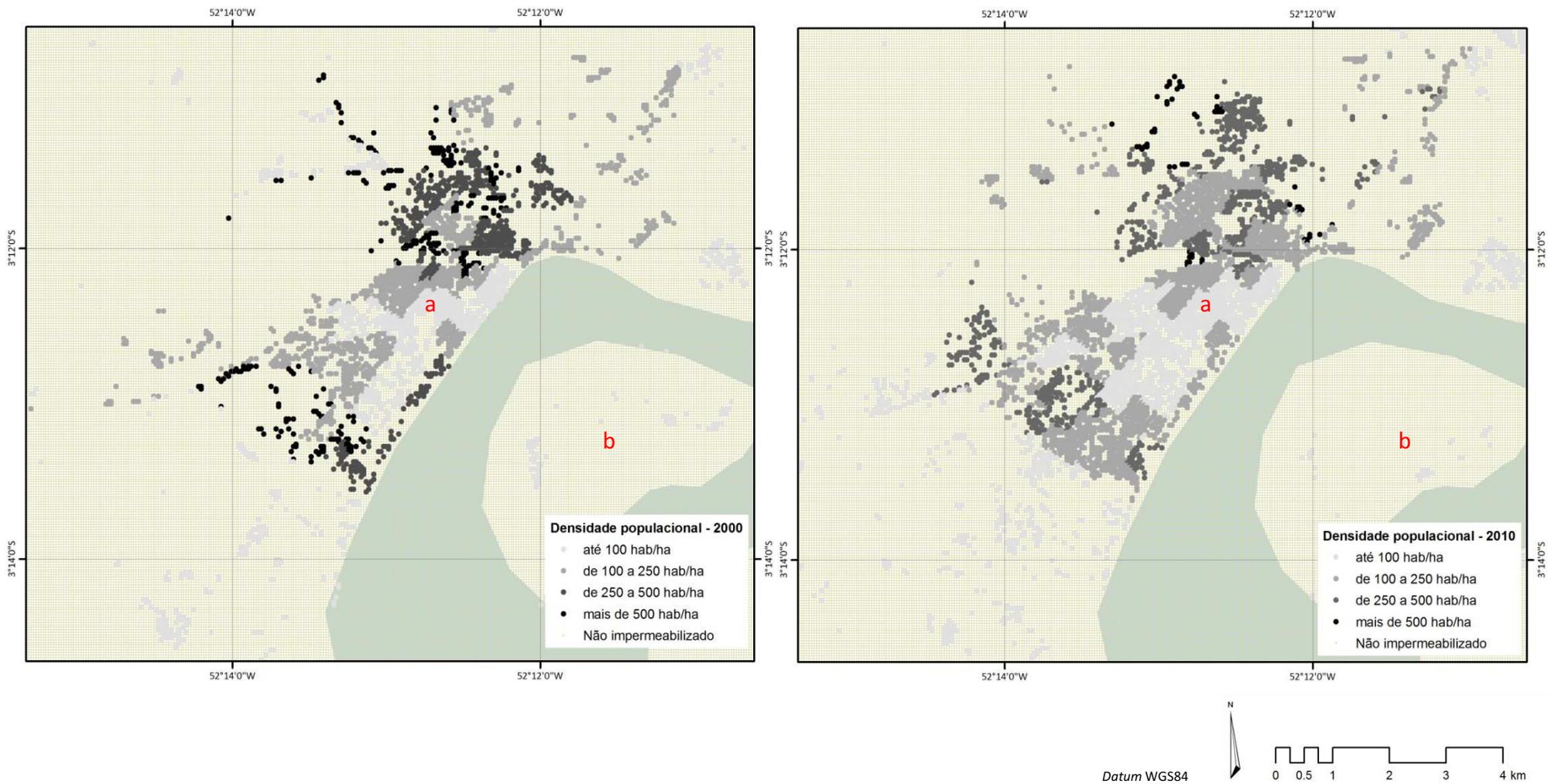


**Fig. 12.** Modelo conceitual dos dados para a análise da dinâmica da densidade populacional 2010-2000.

### **3. Resultados e Discussão**

#### ***Geração de grade de dados censitários***

As grades geradas para 2000 e 2010 são apresentadas na figura a seguir (Fig. 13), tomando-se como exemplo os dados de densidade demográfica.

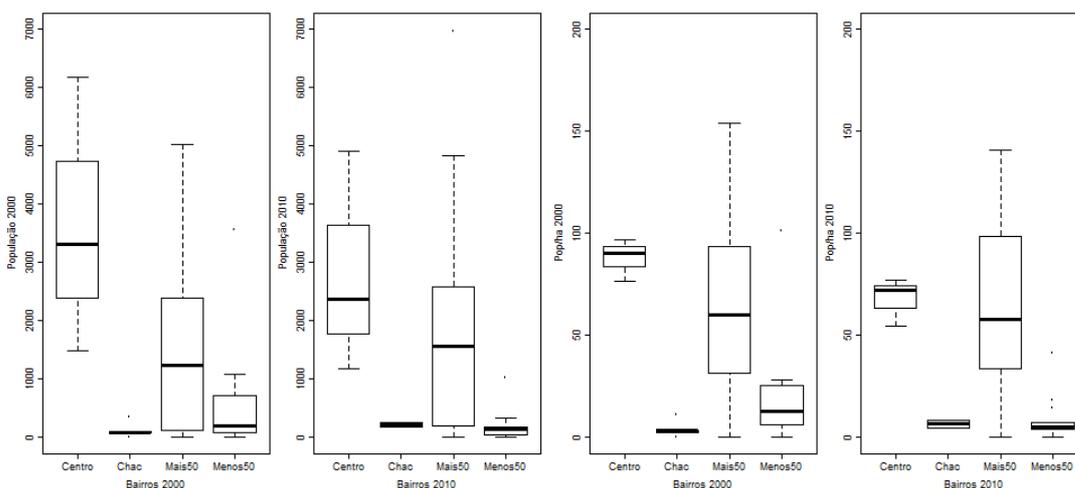


**Fig. 13.** Grade de dados de densidade demográfica para 2000 e 2010. (a) Área central da cidade. (b) Ilha do Arapujá.

É possível observar, principalmente na área central da cidade, o limite dos setores censitários, por meio da diferença entre as classes de densidade. Também é possível observar pontos da grade que foram classificados como de densidade menor que 100 hab/ha, mas que, na verdade, são locais sem população. Isso é devido ao dado do mapa de cobertura da terra, onde esses pontos são classificados, erroneamente, como impermeabilizados, como na Ilha do Arapujá.

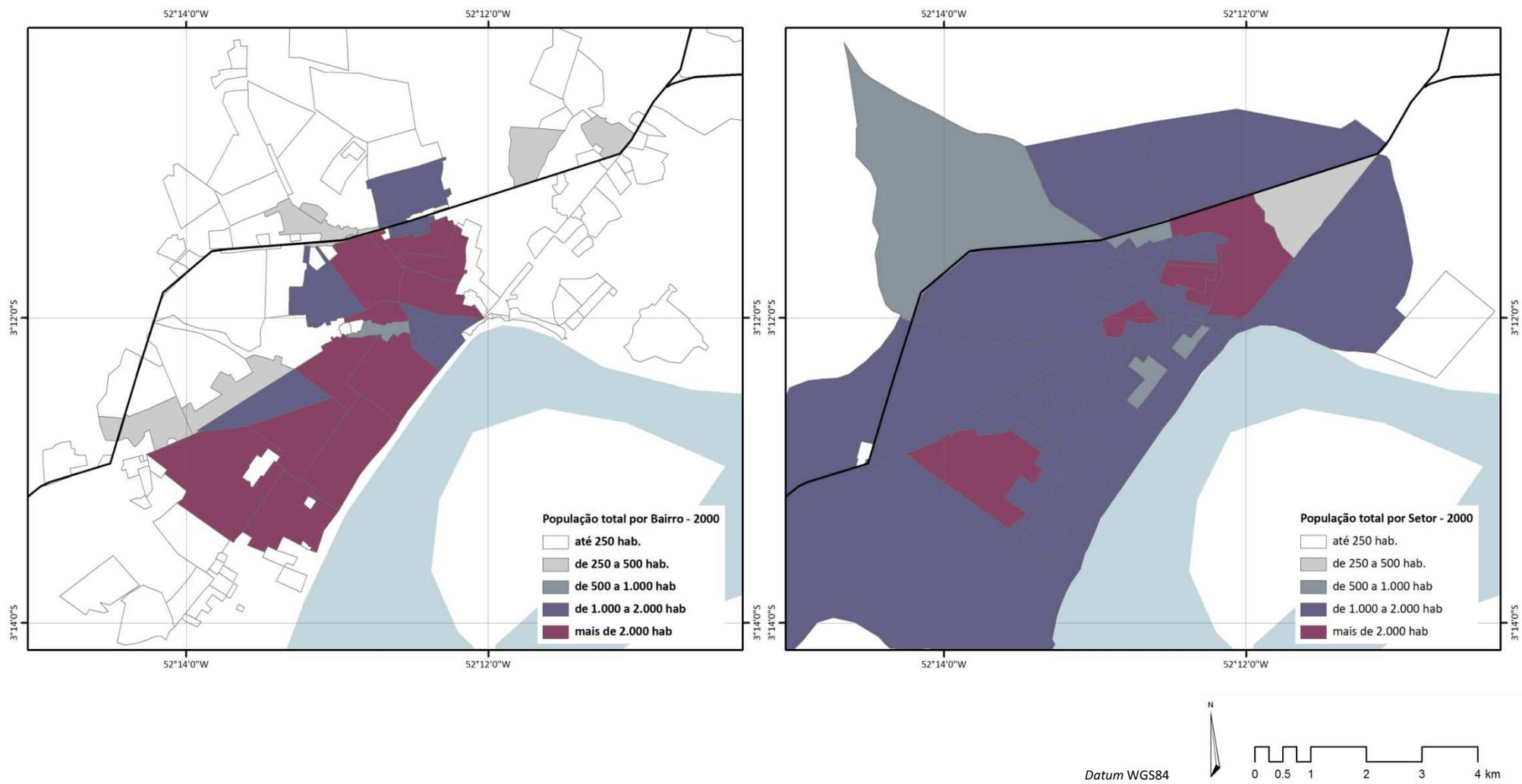
### ***Inferência de dados censitários para bairros***

Os gráficos apresentados na figura a seguir (Fig. 14) mostram a distribuição dos dados de população e densidade demográfica nos anos 2000 e 2010, por quartis. É possível perceber que a distribuição da população e da densidade nos bairros do centro e nos bairros com mais de 20% dos lotes ocupados é distinta. Entretanto, os bairros com menos de 50% dos lotes ocupados e os bairros de chácaras apresentam valores semelhantes para o ano de 2010.

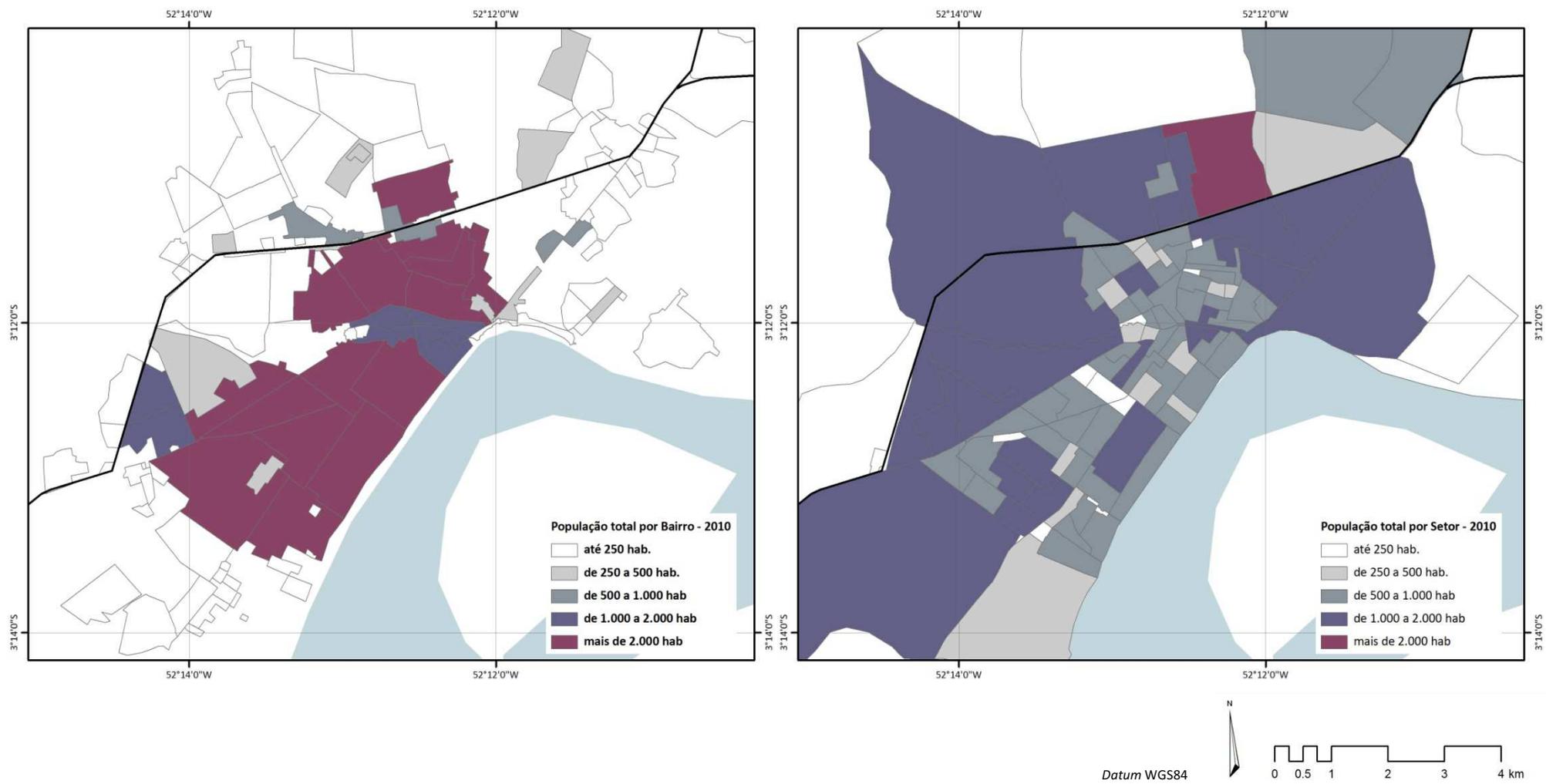


**Fig. 14.** *Boxplot* dos dados de população (número de habitantes e densidade) segundo o tipo de bairro, em 2000 e 2010.

O resultado da espacialização dos dados censitários para o recorte dos bairros foi comparado aos dados no recorte territorial original, de setores censitários. Como exemplo, são apresentados nas Figs. 15 e 16, os dados de população. Na definição dos bairros foi considerado o limite dos loteamentos que deram origem a cada bairro. Além disso, os limites dos bairros se mantêm nas duas datas consideradas, sendo que em 2010 foram delimitados os bairros surgidos no período. Isso contribui para que a espacialização dos dados de população por bairros permita visualizar melhor o crescimento da cidade, nas direções norte e sudoeste. É importante ressaltar, no entanto, que os dados por bairros são dados inferidos a partir da densidade calculada pelo método dasimétrico, enquanto que os dados por setor censitário sumarizam os dados coletados em cada domicílio.



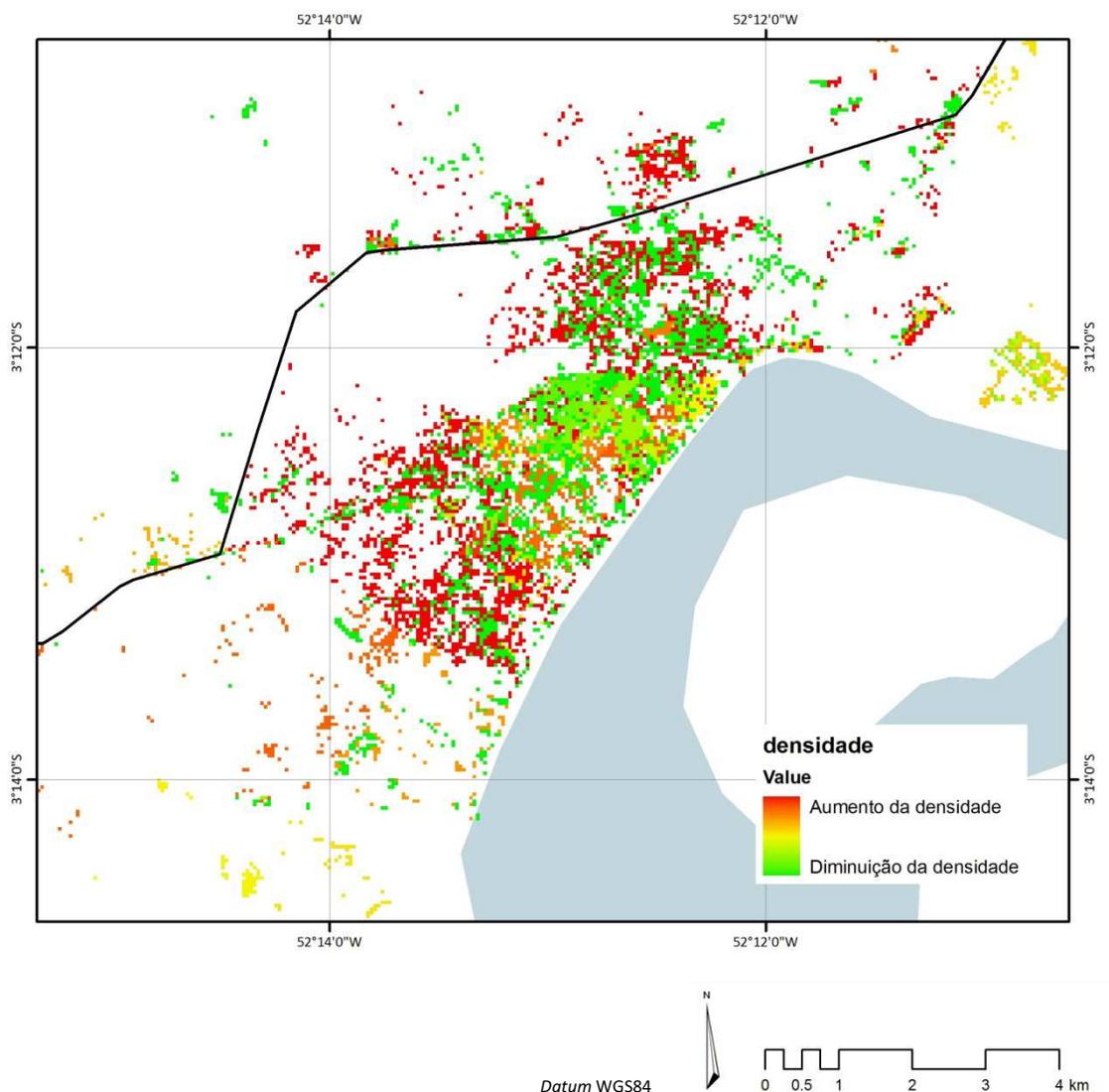
**Fig. 15.** População total inferida por bairro e informada por setor censitário em 2000.



**Fig. 16.** População total inferida por bairro e informada por setor censitário em 2010.

### ***Dinâmica da densidade populacional 2010-2000***

O resultado das operações sobre as grades de pontos com os dados de densidade é apresentado na Fig. 17. De uma maneira geral, observa-se que no centro da cidade ocorreu a diminuição de população, enquanto que nos vetores norte e sudoeste ocorreu o aumento da densidade, o que representa o aumento da população. Entretanto, os erros no mapeamento da cobertura da terra, geraram erros neste resultado também, conforme é exemplificado na Fig. 18, que mostra em 2000 o bairro Alberto Soares e, em 2010, o mesmo bairro, seu prolongamento para o sul e o loteamento novo que surge ao lado, Altaville I.



**Fig. 17.** População total inferida por bairro e informada por setor censitário em 2010.

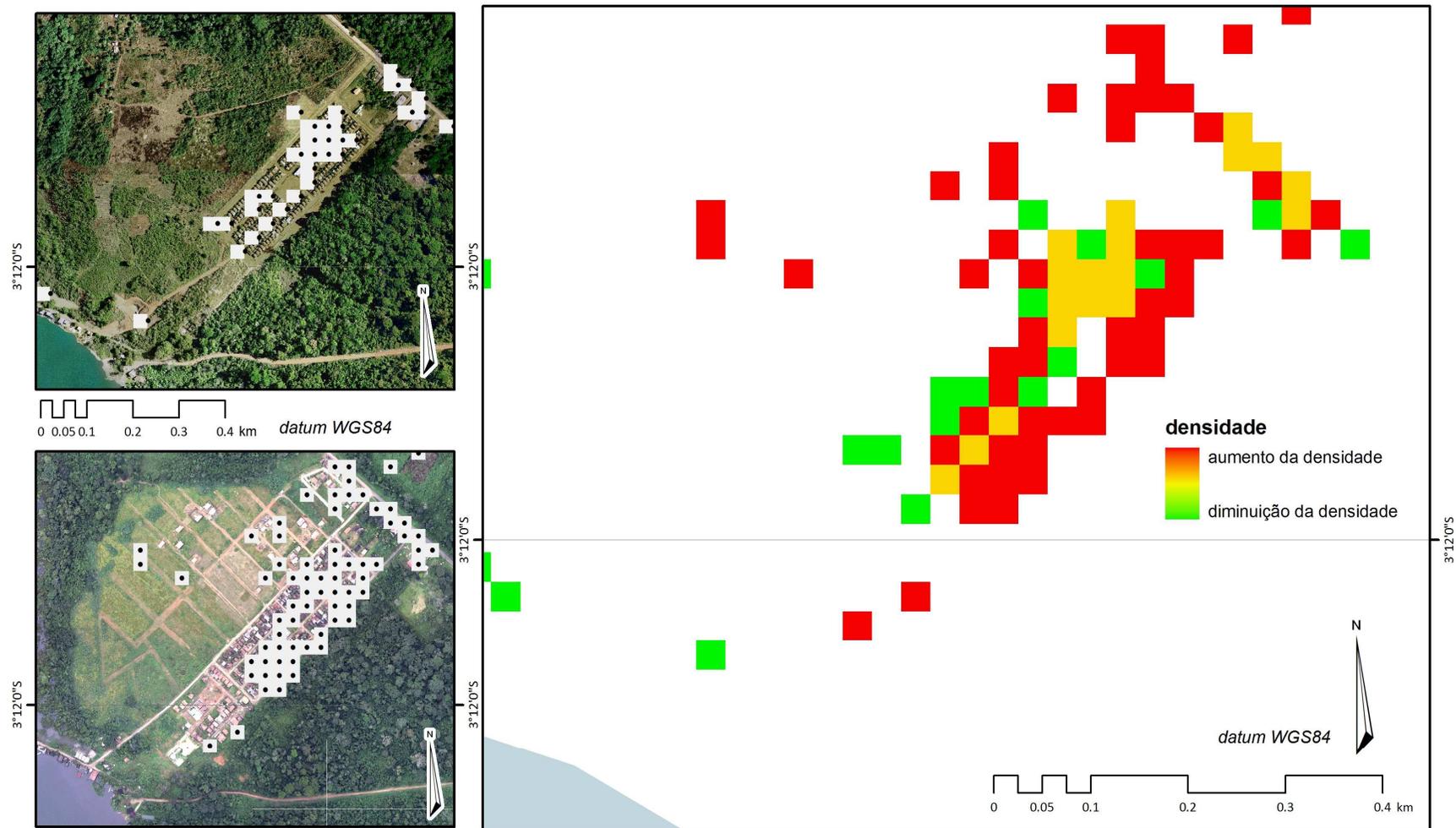


Fig. 18. Detalhe do mapa de dinâmica populacionais.

#### 4. Conclusões

As técnicas de geoprocessamento para a inferência de dados a partir das informações do Censo Demográfico são simples e podem ser aplicadas a partir de muitos softwares, com variações no tempo de processamento e no consumo de memória.

No R, as operações foram realizadas com efetividade e rapidez. A linguagem R oferece grande flexibilidade de utilização. Existem fóruns e grande quantidade de informação que podem ser acessados.

A modelagem dos dados como um geo-campo permitiu a inferência dos dados censitários em outros recortes territoriais. No R, a classe *“spatial grid data frame”* mostrou-se bastante adequada para o tratamento dos dados, pois permite associar a uma única grade todas variáveis consideradas e realizar operações aritméticas entre essas variáveis.

Por outro lado, é importante ressaltar que o R não é um Sistema de Informações Geográficas, apesar da extensão das funções para o tratamento de dados espaciais, oferecida pelos pacotes. Assim, observou-se no R o deslocamento espacial da ordem de centímetros quando os dados foram inseridos com projeção plana (UTM). E, embora, os dados sejam armazenados no *environment* do R, não há a materialização de um banco de dados que possa, por exemplo, ser exportado como tal para fora do R. Cada dado deve ser exportado para fora no *environment*, no formato escolhido pelo usuário (vetor, raster, tabela, texto etc.).

O método escolhido para o cálculo da densidade – dasimétrico – é muito dependente do dado de áreas ocupadas. Neste estudo, foram utilizados os dados de cobertura da terra sem qualquer correção das classificações das imagens de 2000 e 2010, cuja exatidão global está entre 85 e 90%. Caso as classificações tivessem, além da fase computacional (modelo de mistura espectral), uma fase interativa, na qual o analista interfere nos resultados da classificação, conforme sugerido por Moreira (2011), haveria a melhoria da precisão e exatidão dos mapas e, conseqüentemente, da inferência dos dados na grade espacial.

As áreas impermeabilizadas resultantes da classificação da cobertura do solo foram entendidas como áreas ocupadas. Áreas de solo exposto são indicativos de ocupação em cidades como Altamira, pouco consolidadas, e poderiam ser exploradas para o cálculo da densidade.

## 5. Referências

BIVAND, Roger S. ; PEBESMA, Edzer J., GÓMEZ-RUBIO, Virgilio . *Applied Spatial Data Analysis with R*. Springer, New York, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de recuperação automática. Dados dos Censos Demográficos de 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010. Disponível em <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em fev-2013.

\_\_\_\_\_. *Metodologia do censo demográfico 2010*. Série Relatórios Metodológicos , volume 41. Rio de Janeiro: 2011a.

\_\_\_\_\_. *Base de informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário*. Documentação do Arquivo. Rio de Janeiro: 2011b.

\_\_\_\_\_. *Regiões de influência das cidades, 2007*. Rio de Janeiro, 2008.

\_\_\_\_\_. *Metodologia do censo demográfico 2000*. Série Relatórios Metodológicos , volume 25. Rio de Janeiro: 2003a.

\_\_\_\_\_. *Censo Demográfico 2000: Agregado por Setores Censitários dos Resultados do Universo – 2ª edição*. Documentação do Arquivo. Rio de Janeiro: 2003b.

KAMPEL, Silvana Amaral. *Geoinformação para estudos demográficos : representação espacial de dados de população na Amazônia Brasileira*. São Paulo : Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003. Tese de Doutorado em Engenharia de Transportes.

MOREIRA, M. A. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação*. 4 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2011.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ALTAMIRA. 2003. *Plano Diretor de Altamira. Volume 1*, apud TECHNUM, 2010.

\_\_\_\_\_. *Lei Municipal 1.518/2003. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano*.