

Revista Brasileira de Cartografia (2016), N° 68/8: 1585-1599
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

INTERPOLAÇÃO DE DADOS CENSITÁRIOS PARA ANÁLISE DA OCUPAÇÃO INTRAURBANA EM ALTAMIRA (PA) EM 2000 E 2010

Census Data Interpolation for Urban Analysis in Altamira (PA) in 2000 and 2010

**Mayumi Cursino de Moura Hirye¹, Silvana Amaral²,
Antônio Miguel Vieira Monteiro² & Diógenes Salas Alves²**

**¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto**

Avenida dos Astronautas, 1758, CEP 12227-010 São José dos Campos, SP, Brasil
mayhirye@hotmail.com

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE

Divisão de Processamento de Imagens-Coordenação de Observação da Terra
Avenida dos Astronautas, 1758, CEP 12227-010 São José dos Campos, SP, Brasil
{silvana, miguel, dalves}@dpi.inpe.br

*Recebido em 20 de Julho, 2016/ Aceito em 22 de Agosto, 2016
Received on July 20, 2016/ Accepted on August 22, 2016*

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise da ocupação intraurbana em Altamira (PA), em 2000 e 2010, baseada na interpolação dasimétrica de dados de domicílios dos censos demográficos. A menor das unidades de divulgação desses dados, os setores censitários, são delimitados em cada levantamento censitário a partir de critérios operacionais, o que dificulta a realização de estudos de comparação temporal. Além disso, a delimitação dos setores não necessariamente é a mais adequada para fins de planejamento urbano. A presente análise propõe superar essas dificuldades ao adotar o recorte espacial de bairros – delimitados a partir dos loteamentos e ocupações que os originaram – e analisar as transformações na distribuição dos domicílios a partir dessas unidades. Os resultados obtidos mostram o crescimento desigual da cidade. Os bairros a sudoeste da cidade apresentaram maior crescimento de domicílios em termos absolutos, seguidos dos bairros novos localizados em áreas mais periféricas. Observou-se também o decréscimo no número de domicílios nos bairros da área central. Por outro lado, a intensidade da ocupação estimada, expressa pela densidade de domicílios, mostrou-se relativamente baixa (média dos bairros de 12 domicílios/ha e máximo de 36 domicílios/ha), sendo que as maiores concentrações foram encontradas nos bairros da área central e das áreas de ocupação irregular das margens de corpos d'água e áreas alagadiças.

Palavras chaves: Planejamento Urbano, Urbanismo, Interpolação Dasimétrica, Altamira.

ABSTRACT

This paper presents an urban analysis of Altamira (PA) between 2000 and 2010, based on dasymetric interpolation of census data. The smallest Brazilian demographic data dissemination unit - census tract - is usually delimited based on operational criteria. Temporal comparison is affected by differences in sectors limits that may vary between decennial censuses. In addition, geographic boundaries of census tracts often are not appropriate for urban planning purposes. This work proposes to overcome these difficulties by adopting neighborhoods – bairros – as spatial units of analysis. These spatial units were defined based on allotments and occupations that originated the neighborhoods. Temporal comparison of households' distribution highlighted an uneven growth in the city. In absolute terms, the neighborhoods

in the southwest part of the city presented the highest increase of households' units, followed by new neighborhoods in the outskirts of the city. It was also observed a decrease in the number of households in central area. On the other hand, the intensity of the estimated occupation, expressed by households density, was relatively low (an average of 12 households/ha and a maximum of 36 households/ha). Highest densities were found at neighborhoods located in central area and at illegal occupations areas in wetlands and banks of water bodies.

Keywords: Urban Planning, Urbanism, Dasimetric Interpolation, Altamira.

INTRODUÇÃO

Os censos demográficos produzidos pelo IBGE, por sua abrangência territorial e sua periodicidade, são a principal fonte de dados sócio-demográficos no Brasil. Para fins de estudo e diagnóstico da ocupação das cidades, interessam não apenas as características da população e dos domicílios de cada cidade ou área urbana, mas também as características intraurbanas, ou seja, a espacialização dessas características no interior das cidades, diferenciando umas em relação a outras. Assim, são utilizados os dados agregados por setores censitários, que correspondem às menores unidades espaciais em que dados censitários são divulgados.

Entretanto, dado que essas unidades são delimitadas a partir de critérios operacionais (IBGE, 2013; IBGE, 2003b) e, portanto, podem variar entre os Censos, elas não necessariamente são condizentes com delimitações de zonas, bairros ou unidades espaciais adequadas para o estudo e planejamento das cidades. Cidades como São Paulo e Belo Horizonte, ao reconhecerem esse problema, procederam a compatibilização das unidades de planejamento e gestão municipal com as unidades de coleta de dados demográficos, o que implicou em adequações na delimitação de ambas as unidades (KOGA, 2005; OLIVEIRA *et al.*, 1996).

Para a comparação de dados de diferentes anos, deve-se levar em consideração modificações de critérios de coleta, como observado por Helfand e Brunstein (2000), ou de delimitação das unidades espaciais de divulgação dos dados. Alves (2007), ao utilizar a comparação entre distribuições cumulativas de variáveis de interesse para a análise de dados censitários na Amazônia, demonstra a limitação que os dados e o arcabouço metodológico disponível para sua análise impõem para o alcance dos resultados (ALVES, 2007).

Na formulação de Openshaw (1983), a delimitação arbitrária de unidades de áreas e

a conseqüente possibilidade de modificação de seus limites configuram o “problema de unidade de área modificável” (“*modifiable areal unit problem* - MAUP”), no qual as análises e conclusões derivadas de dados associadas às unidades de áreas não têm validade independente. Segundo o autor, esse é um “problema geográfico fundamental, endêmico a todos os estudos de dados espaciais agregados” (OPENSHAW, 1983, p. 37).

A interpolação espacial de dados é uma maneira de transferir dados de um conjunto de áreas (zonas-fonte) para outro (zonas-alvo), superando as limitações do MAUP (FORD, 1976; LAM, 1983). A literatura registra, desde a década de 1970, diferentes métodos para interpolar dados sócio-demográficos, formando, basicamente, dois grupos: o de métodos de interpolação de pontos e o de interpolação de áreas (LAM, 1983; LIU, 2003; WU *et al.*, 2005). Os métodos podem ser univariados, que utilizam exclusivamente os dados a serem interpolados, e multivariados, que utilizam informações auxiliares (AMARAL, 2004).

Na interpolação de pontos, as áreas são representadas por um ponto definido pelo usuário (seu centróide, por exemplo) e os valores são estimados para uma grade de pontos. Na comparação entre os métodos existentes, Lam (1983, p.134) aponta as vantagens da krigeagem em relação a outros métodos (ponderação pela distância, interpolação spline e método das diferenças finitas). Wu *et al.* (2005, P.60) notam que o método proposto por Bracken e Martin (1989), baseado em uma janela móvel de função bivariada para estimar a intensidade do padrão pontos (kernel), acabou sendo largamente utilizado para tratar dados censitários no Reino Unido.

Para a interpolação de áreas por métodos univariados, Lam (1983) elenca a sobreposição (“*overlay*”), a ponderação por áreas (“*areal weighting*”), em que a variável é calculada com

base na proporção de área de cada intersecção entre zonas-fonte e zonas-alvo, e o método picnofilático proposto por Tobler (1979), que considera os efeitos de vizinhança de cada zona-fonte na modelagem das superfícies de suavização da variável nas zonas-alvo.

Dentre os métodos multivariados de interpolação de áreas com a utilização de informações auxiliares, o mais simples deles é a interpolação dasimétrica binária, que utiliza um mapa de classificação de áreas povoadas ou não povoadas (LANGFORD; UNWIN, 1994; FISHER; LANGFORD, 1995; EICHER; BREWER, 2001; HOLT *et al.*, 2004). Os métodos dasimétricos podem ser entendidos como “formas de mapeamento onde o atributo reportado é redistribuído dentro de zonas originais, tomando-se como base informações obtidas em dados externos auxiliares” (AMARAL, 2004, p. 33). Outros trabalhos propõem métodos dasimétricos com mais de duas classes, em que os valores de densidade associados a cada classe são arbitrados (EICHER; BREWER, 2001; WALFORD, 2013) ou estimados por meio de regressão (LANGFORD *et al.*, 1991; YUAN *et al.*, 1997; HARVEY, 2002; LLOYD; NEJAD, 2014; LIN; CROMLEY, 2015). O método dasimétrico foi também implementado com informações lineares, como a malha viária (XIE, 1995; (VOSS *et al.*, 1999) ou com informações pontuais, como a localização dos endereços para fins estatísticos (D’Antona *et al.*, 2013).

Os autores que se dedicaram à comparação de métodos propostos na literatura convergem para a conclusão geral de que os métodos de interpolação de áreas com a utilização de dados auxiliares são os que apresentam melhores resultados (FISHER; LANGFORD, 1995; COCKINGS *et al.*, 1997; VOSS *et al.*, 1999; (VOSS *et al.*, 1999; REIBEL; BUFALINO, 2005; HAWLEY, 2005; WU *et al.*, 2005; LANGFORD, 2006; LLOYD; NEJAD, 2014; LIN; CROMLEY, 2015).

No Brasil, diversas estratégias foram utilizadas para a comparação dos dados dos censos demográficos. Uma estratégia simples é a composição de áreas mínimas comparáveis, conforme adotado por Reis *et al.* (2010), que consistiu em agregar dados de municípios a partir dos limites político-administrativos vigentes nos diferentes censos realizados entre 1872 e 2000.

Esta estratégia, em geral, implica na perda de informações mais detalhadas fornecidas pelos dados originais. Trabalhos como o de Jakob (2004) e Lobo (2009) propuseram estratégias baseadas na interpolação de dados associados aos setores censitários: krigagem, no primeiro caso, e transferência dos dados para um malha de pontos, no segundo caso.

Recentemente, o IBGE disponibilizou os dados do Censo de 2010 espacializados em grades de células regulares de 1km para os dados de áreas rurais e de 200m para os de áreas urbanas (IBGE, 2016). Os dados por setores censitários foram agregados ou desagregados nas células regulares. Adotou-se a agregação quando ou o setor censitário ou mais de 50% dos endereços do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE) relativos àquele setor estavam totalmente contidos na célula. Quando não, a desagregação foi adotada, utilizando os seguintes métodos de interpolação espacial, em ordem crescente de preferência: a interpolação com dados de vias, a dasimétrica a partir de dados de cobertura da terra e a zonal ou de ponderação por áreas.

Em Altamira (PA), os diferentes limites de setores censitários definidos em 2000 e 2010 e a criação de novos setores em 2010, abrangendo áreas que foram incluídas no perímetro urbano pela legislação municipal dificultam a comparação direta dos dados censitários e a análise das transformações da ocupação intraurbana.

Assim, para tornar os dados comparáveis, este trabalho propõe metodologia de interpolação espacial multivariada baseada no método reportado como o mais simples, o dasimétrico binário, com a utilização de grade regular de pontos. Esta metodologia possibilita a conversão dos dados das zonas fonte (setores censitários) para as zonas alvo (bairros), e por conseguinte, a análise temporal da ocupação da cidade de Altamira.

MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção são descritos os procedimentos da metodologia proposta e detalhadas os dados censitários e de levantamentos primários e secundários que foram utilizados. A seção se inicia com uma breve descrição da área de estudo, a cidade de Altamira.

2.1 Área de Estudo

A cidade de Altamira está situada na porção central do Estado do Pará, na margem esquerda do rio Xingu (Figura 1). Dista 720km da capital do Estado sendo um centro sub-regional, subordinado à própria capital Belém (IBGE, 2008). A BR-320, rodovia Transamazônica, corta a cidade em sua porção noroeste, conectando-a a dois importantes centros regionais, Marabá, a leste, e Santarém, pela BR-163, a oeste.

A ocupação de Altamira data do século XVIII, para a exploração do interior da Amazônia, empreendida pelos jesuítas (UMBUZEIRO, 1988). Em 1883, foi fundada a vila de Altamira junto à foz do igarapé Ambé, para apoiar a exploração da borracha nativa. O município de Altamira foi emancipado de Souzel em 1911.

Os dados estatísticos (IBGE, 2015) apontam que o período de maior crescimento demográfico da cidade foi na década de 1970, com as iniciativas do governo federal para a ocupação da Amazônia. A taxa de crescimento da população urbana nessa década foi de 16,4% a.a.: de 6 mil habitantes em 1970, a cidade passou a abrigar em 1980, cerca de 27 mil pessoas. No período seguinte, entre 1980 e 1991, a taxa de crescimento decaiu para 5,8% a.a.; em 1991, a população urbana era de cerca de 50 mil habitantes. Entre 1991 e 2000, a taxa de crescimento continuou diminuindo, chegando a 2,4% a.a., menor que a média do Estado do Pará. Entre 2000 e 2010, a população urbana passou de 62 mil para 84 mil pessoas e a taxa de crescimento registrada foi de 3% a.a., ligeiramente maior que a taxa estadual.

O crescimento da cidade ocorreu, em parte, com bairros planejados pela Prefeitura Municipal, pela Prelazia do Xingu e por empresas privadas. Parte da população teve como alternativa a ocupação das baixadas e áreas alagadiças das áreas periféricas da cidade e dos morros (UMBUZEIRO, 1988; BECKER, 1985). Assim, Altamira apresenta padrões variáveis de urbanização em termos de infraestrutura urbana e condições das edificações.

2.2 Setores censitários: zonas-fonte

A variável censitária utilizada corresponde ao número de domicílios particulares permanentes por setor censitário. Os dados de domicílios foram associados às bases vetoriais dos setores censitários delimitados em cada ano.

Feitosa *et al.* (2005, p.2660) haviam observado a geração de polígonos espúrios na sobreposição das bases vetoriais de setores censitários de 1991 e 2000, resultantes da intersecção de linhas que representam as mesmas feições, mas que têm representações digitais discrepantes devido a erros inerentes às bases cartográficas originais. Para superar esse problema, os autores recomendaram, seguindo D'Alge (2001), a análise dos dados originais para a escolha da melhor representação como base.

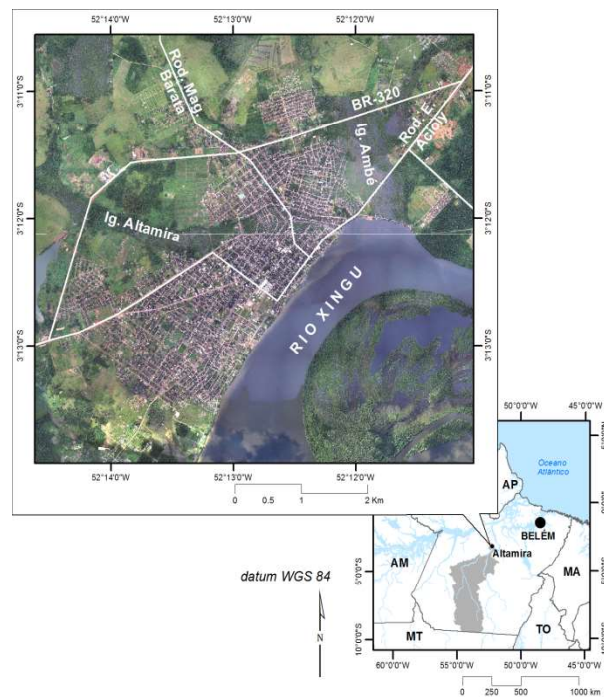


Fig. 1 – Localização de Altamira.

Esse mesmo problema foi observado na sobreposição das bases de setores censitários de 2000 e 2010 em Altamira. De acordo com a documentação que acompanha a divulgação dos dados pelo IBGE, a base vetorial dos setores de 2000 foi feita tendo como base mapas municipais e de localidades disponíveis em variadas escalas (IBGE, 2003). A base vetorial dos setores censitários de 2010 foi feita sobre bases cartográficas e de sensoriamento remoto, que permitiram o ajuste da geometria e da malha viária dos setores urbanos (IBGE, 2013). Portanto, a base vetorial de setores de 2010, considerada mais precisa, foi utilizada para remontar os setores de 2000, a partir da descrição do perímetro de cada setor.

Em 2000, foram definidos 45 setores censitários na cidade de Altamira; em 2010, foram 108 setores. Para tornar possível uma comparação

direta dos dados censitários de 2000 e 2010, foram compostas áreas mínimas comparáveis com a agregação dos setores de 2010 equivalentes aos setores de 2000 (Figura 2). Para essa comparação direta, foram desconsiderados os setores criados em 2010 sem equivalência com setores de 2000.

2.3 Bairros de Altamira: zonas-alvo

Os bairros têm um sentido comum de identidade e são compreendidos como áreas homogêneas das cidades (LAMAS, 1992). Essa identidade é baseada em uma unidade morfológica espacial e, ao mesmo tempo, social (BARROS, 2004). Como unidades administrativas, os bairros são unidades espaciais legalmente definidas em lei ordinária aprovada pela Câmara Municipal e sancionada pelo Prefeito.

Observou-se em Altamira que a definição

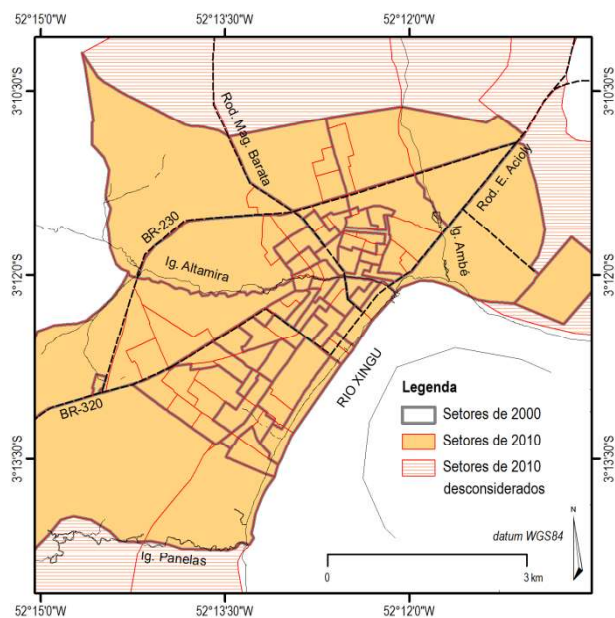


Fig. 2 – Setores censitários na cidade de Altamira.

legal de bairros tem sofrido alterações, tanto em suas denominações como em seus limites. Diante disso, optou-se por delimitar os bairros de Altamira (Figura 3) com base em fotos aéreas e ortofotos (Tabela 1), assim como entrevistas realizadas em campo em julho de 2013 (HIRYE, 2014) e dados de bibliografia (UMBUZEIRO, 1988, 2012; LEME ENGENHARIA, 2009; TECHNUN CONSULTORIA, 2010), buscando recompor as unidades de urbanização tal como foram surgindo ao longo do tempo.

As informações disponíveis também serviram para identificar os agentes responsáveis

pelo desenvolvimento de cada bairro (Figura 3). A ocupação pioneira deu-se na foz do Igarapé Altamira junto ao Rio Xingu. Trata-se de uma área de uso misto (residencial, comercial e institucional), com infraestrutura consolidada (sistemas de abastecimento de água por rede, pavimentação e iluminação pública).

Os bairros resultantes da ação pública são predominantemente residenciais e estão parcialmente atendidos pelas redes de infraestrutura (redes isoladas de abastecimento de água). Os bairros implantados por agentes privados possuem variadas condições de infraestrutura (os mais próximos ao centro estão melhor atendidos) e são de uso misto (residencial e comercial) ou de uso predominantemente residencial.

As ocupações das margens dos corpos d'água e das áreas alagadiças são ocupações irregulares, sobre as áreas de preservação permanente, com condições precárias de habitabilidade – as moradias são de madeira, a circulação é feita por pontes de madeira (“estivas”).

2.4 Mapas de cobertura da terra: informações auxiliares

Dados de sensoriamento remoto foram utilizados para gerar mapas de cobertura da terra de 2000 e 2010, em formato raster. As imagens do sensor TM (cena 226/062), a bordo do satélite Landsat 5, de 28 de Julho de 2000 e 24 de Julho de 2010 selecionadas da base de dados da Divisão de Geração de Imagens (DGI/INPE), foram classificadas com o modelo linear de mistura espectral, conforme descrito em Hirye *et al.* (2015). As classes do mapeamento foram: água, vegetação, áreas impermeabilizadas e solo, seguindo o modelo conceitual de classificação de áreas urbanas proposto por Ridd (1995).

Para a validação, foram aleatoriamente selecionadas 169 e 193 amostras de tamanho de 3x3 pixels (90m x 90m) para a avaliação dos mapas de 2000 e 2010, respectivamente. A referência para a validação foi obtida pela interpretação visual de ortofotos de 2010 e 1999/2000. A exatidão global calculada para os mapas foi 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). Para um nível de significância de 5%, o teste Z mostrou que ambos os mapas são melhores que uma classificação ao acaso.

Tabela 1: Fotografias Aéreas e Ortofotos da cidade de Altamira

Ano	Tipo	Escala / Resolução	Formato Original	Órgão Cedente
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
2010	Ortofoto	0,30m	Digital	Eletronorte

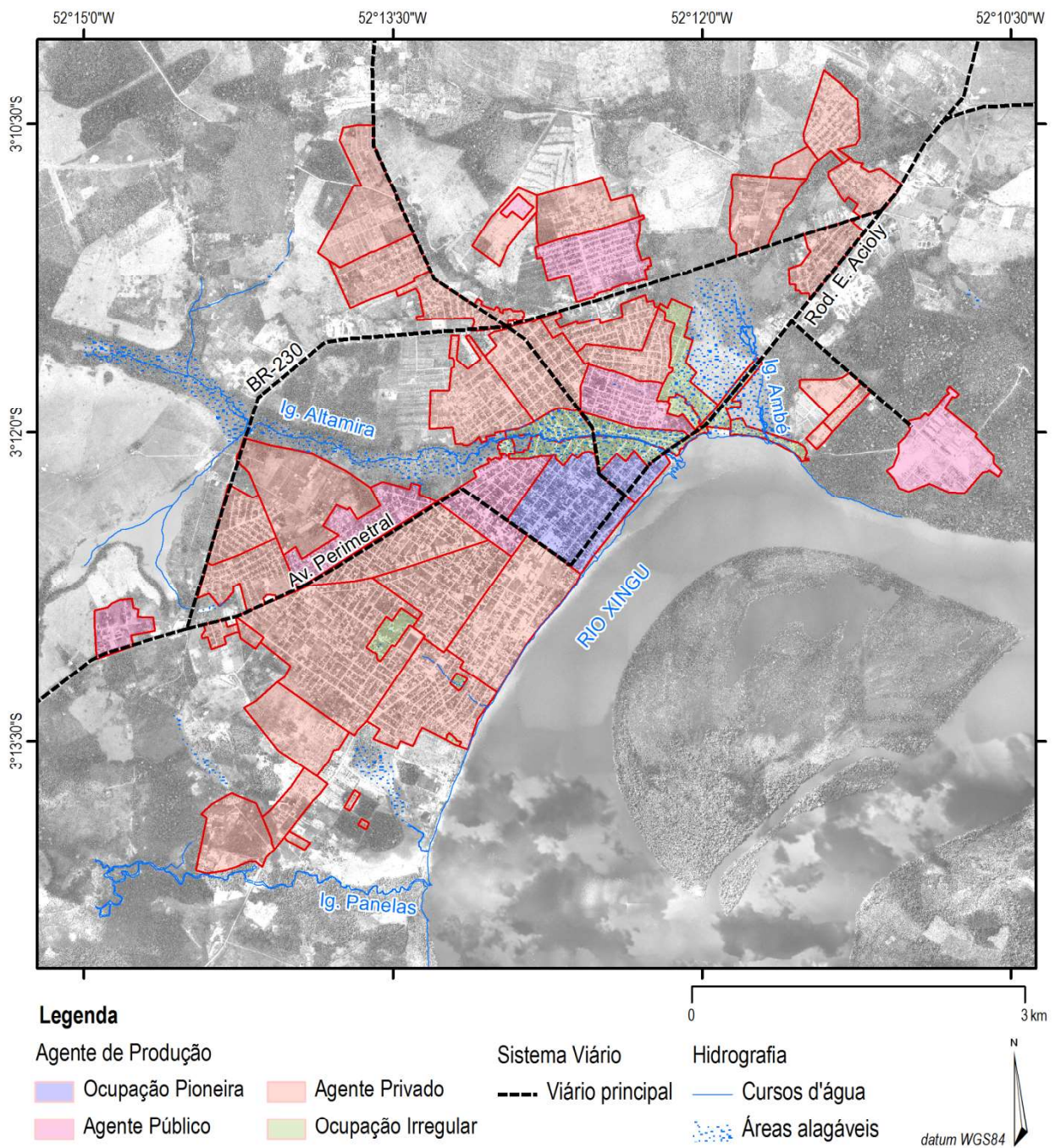


Figura 3 – Bairros de Altamira em 2010.

Os mapas de cobertura foram reclassificados, agrupando as classes água, vegetação, áreas impermeabilizadas e solo em duas classes: áreas ocupadas (classes áreas impermeabilizadas e solo) e não ocupadas (classe vegetação e água).

Por fim, de maneira a se obter mapas de cobertura com maior exatidão, adotou-se a estratégia híbrida proposta por Moreira (2005), na qual, após a fase computacional em que as imagens são classificadas por algoritmos, executa-se a fase interativa em que o analista edita visualmente o mapa, buscando eliminar os erros de classificação. Assim, foram feitas as seguintes correções:

- As áreas sem dados nas imagens Landsat (áreas que estavam sob nuvens ou sombra de nuvens) foram interpretadas visualmente a partir de imagens adicionais. No caso do presente trabalho, a interpretação foi feita a partir das ortofotos de 1999 e 2000.

- Verificação das áreas urbanizadas isoladas da mancha principal, para eliminar as áreas classificadas como ocupadas e que, na verdade, eram áreas de solo exposto ou de pasto erroneamente classificadas pelo modelo linear de mistura espectral.

- Eliminação de transições consideradas espúrias. Como os mapeamentos de 2000 e 2010 foram feitos de maneira independente, realizou-se a sobreposição desses mapas, para gerar um mapa de tabulação cruzada, que identifica todas as transições de cobertura da terra de 2000 para 2010. As áreas do mapa de 2000 que foram classificadas como ocupadas e, em 2010, como não ocupadas foram reclassificadas como não ocupadas.

2.5 Metodologia de interpolação de dados de setores censitários para bairros

Utilizou-se sistema de informação geográfica ArcGIS para a preparação dos dados, conversão dos dados para a referência adotada no trabalho (datum WGS 84, UTM 22S) e visualização deles. A linguagem de programação R foi utilizada para implementar as operações propostas.

Para a conversão dos dados das zonas fonte (setores censitários) para as zonas alvo (bairros), foi construída uma grade regular, definida como superfície adjacente em que cada ponto da grade é associado a um valor. As grades regulares foram geradas a partir da mesma origem e com a mesma resolução de 30m. Cada ponto da grade

corresponde a uma área de 0,09ha, resultado da multiplicação da resolução da grade (30m) em cada sentido.

De maneira simplificada, a metodologia de interpolação dasimétrica binária dos dados dos setores censitários para bairros envolveu as seguintes etapas:

1- Cálculo da densidade de domicílios em cada setor censitário: o total de domicílios do setor foi dividido pela área ocupada em cada setor (de acordo com os mapas de cobertura da terra). A premissa implícita neste cálculo é a de que a densidade é homogênea nas áreas ocupadas em cada setor censitário.

2- Geração de grade regular de dados censitários: para cada ponto da grade coincidente com a área ocupada conforme os mapeamentos de cobertura da terra, calculou-se o número de domicílios, pela inversão do cálculo da densidade. Ou seja, a densidade efetiva de domicílios do setor, correspondente ao ponto da grade foi multiplicada pela área associada a cada ponto (0,09 ha).

3- A interpolação de dados censitários para bairros, a partir da soma dos valores dos pontos da grade de regular de dados censitários, inseridos em cada bairro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, primeiramente são apresentados e discutidos os resultados do procedimento de interpolação. Na sequência, a partir dos dados interpolados, a ocupação intraurbana da cidade de Altamira entre 2000 e 2010 é caracterizada e analisada.

3.1 Interpolação dos dados

Os resultados da aplicação do método proposto foram avaliados de maneira analítica, com auxílio das ortofotos e dos próprios dados originais. As fontes de possíveis erros nas estimativas realizadas pelo método proposto são duas: uma relacionada ao grau de aderência dos dados ao pressuposto de homogeneidade de sua distribuição nas zonas-fonte e zonas-alvo e outra relacionada ao grau de exatidão do dado auxiliar utilizado, neste caso, os mapas de cobertura do solo.

Quanto aos erros decorrentes da aderência ao pressuposto, não há como corrigi-los ou estimá-los sem que novas informações sejam incorporadas, como proposto em outros trabalhos (EICHER; BREWER, 2001; WALFORD, 2013; LANGFORD *et al.*, 1991; YUAN *et al.*, 1997; HARVEY,

2002; LLOYD; NEJAD, 2014; LIN; CROMLEY, 2015; XIE, 1995; VOSS *et al.*, 1999). Abordagens diferenciadas podem envolver também a definição de um terceiro conjunto de zonas, as “zonas de controle” (GOODCHILD *et al.*, 1993) ou a combinação do método dasimétrico binário com uma superfície de ocorrência potencial de população, obtida pela média simples das variáveis auxiliares selecionadas (AMARAL, 2004).

Onde as zonas-fonte são mais extensas – como nas áreas periféricas da cidade de Altamira – observou-se a subestimação dos domicílios nas zonas-alvo. Nestes casos, o pressuposto de distribuição espacialmente homogênea dos domicílios não condiz com a situação observada, de concentração dos domicílios em determinados pontos das zonas-fonte.

Quanto aos erros decorrentes do grau de exatidão do dado auxiliar, Fisher e Langford (1996), ao investigarem os erros de estimativa de população pelo método dasimétrico binário baseado em mapas com diferentes níveis de erros de classificação, demonstraram que erros na classificação de pixels de imagem Landsat (sensor TM) de até 40% não comprometem o desempenho do método dasimétrico binário na comparação com outros métodos, baseados em regressão.

Em que pese os mapas de cobertura apresentarem erros de classificação de até 15%, optou-se por refinar interativamente o mapeamento. Ainda assim, devem ser considerados os erros devido à resolução espacial do mapeamento, que pode levar a subestimativa dos domicílios isolados que são menores que a resolução do pixel (30m), e os decorrentes das características da imagem e da técnica de classificação utilizada, que não permitem distinguir dentre as áreas impermeabilizadas, aquelas que são efetivamente ocupadas por domicílios, levando à superestimação dos domicílios.

3.2 Ocupação intraurbana em Altamira

Em 2000 e 2010, tanto na área legalmente definida como urbana em Altamira e, portanto, delimitada por setores censitários urbanos, quanto no recorte espacial de bairros, observou-se aumento do número de domicílios (Tabela 2). A diferença entre os valores nos dois recortes espaciais pode ser interpretada como sendo os domicílios esparsos no perímetro urbano, mas que possuem uso notadamente rural (chácaras e sítios).

Tabela 2: Variação no número de domicílios por setor censitário e bairro, no período 2000-2010

Recorte espacial	Domicílios		
	2000	2010	2010-2000
	(nº absoluto)	(nº absoluto)	(%)
Setor	14.326	20.617	44%
Bairro	12.569	18.128	44%

A análise dos dados por setor censitário, devido às mudanças nos limites dos setores que não os torna comparáveis, impossibilita o entendimento das modificações ocorridas em Altamira. A diminuição de densidade observada nos dados calculados no recorte espacial de setores (Tabela 3) não correspondeu a um processo real – diminuição da população ou modificação dos padrões de ocupação.

Na análise dos dados por bairros, observa-se que a densidade média sofreu pouca alteração, enquanto que o cálculo da densidade média considerando os limites de setores censitários foi distorcido pelo aumento desproporcional da área dos setores censitários, reflexo da alteração na lei de perímetro urbano, que teve como consequência o aumento da área dos setores censitários. Grande parte dessas áreas permanece sem ocupação (figuras 2 e 3).

Tabela 3: Área e Densidade de domicílios nos setores censitários e nos bairros, em 2000 e 2010

Recorte espacial	Área		Densidade de domicílios		
	2000	2010	2000	2010	2010-2000
	(ha)	(ha)	(dom/ha)	(dom/ha)	(%)
Setores	3.713	6.883	3,9	3,0	-22%
Bairros	1.030	1.460	12,2	12,4	2%

Quando a densidade foi estimada por setor censitário, observou-se a mesma impossibilidade de análise dos dados, devido às mudanças nos perímetros dos setores (figuras 4(a) e (b)).

A agregação dos setores em áreas mínimas comparáveis forneceu dados para comparação da densidade de domicílios em 2000 e 2010 (Figuras 4(c) e (d)). Observou-se que os setores mais densos nas duas datas são os que estão ao redor do Igarapé Altamira e na área situada entre este Igarapé e a BR-230, Rodovia Transamazônica. Em 2010, observaram-se modificações nestes setores: aumento da densidade nos setores mais periféricos e a diminuição da densidade em dois dos setores mais próximos do Igarapé Altamira.

Observou-se também o aumento da densidade nos setores que correspondem a partes dos bairros entre a Av. Perimetral e o Rio Xingu, situados a oeste do centro da cidade.

A estimativa de dados por bairros (figuras 4(e) e (f)), por sua vez, revelou indícios claros do aumento da densidade nos bairros ao redor do Igarapé Altamira e naqueles mais periféricos da área entre este Igarapé e a BR-230. Diferentemente do que ocorreu com a análise por setores agregados, na análise por bairros observou-se aumento da densidade nos bairros ao norte da BR-230 e naqueles entre a Av. Perimetral e a BR-230 e também o aumento da densidade nos

bairros entre a Av. Perimetral e o Rio Xingu e nas áreas de ocupação irregular situadas no interior desses bairros.

Assim, quando os setores são menores que os bairros, como na área central, a informação por setor censitário permite identificar qual a área de cada bairro que sofreu alteração. Essa informação é mais precisa, pois é resultado do recenseamento, não da interpolação. Entretanto, nas áreas em que os setores censitários são mais extensos que os bairros, ou em áreas onde os limites dos setores foram modificados, os dados estimados por bairros permitem a localização e a individualização das alterações.

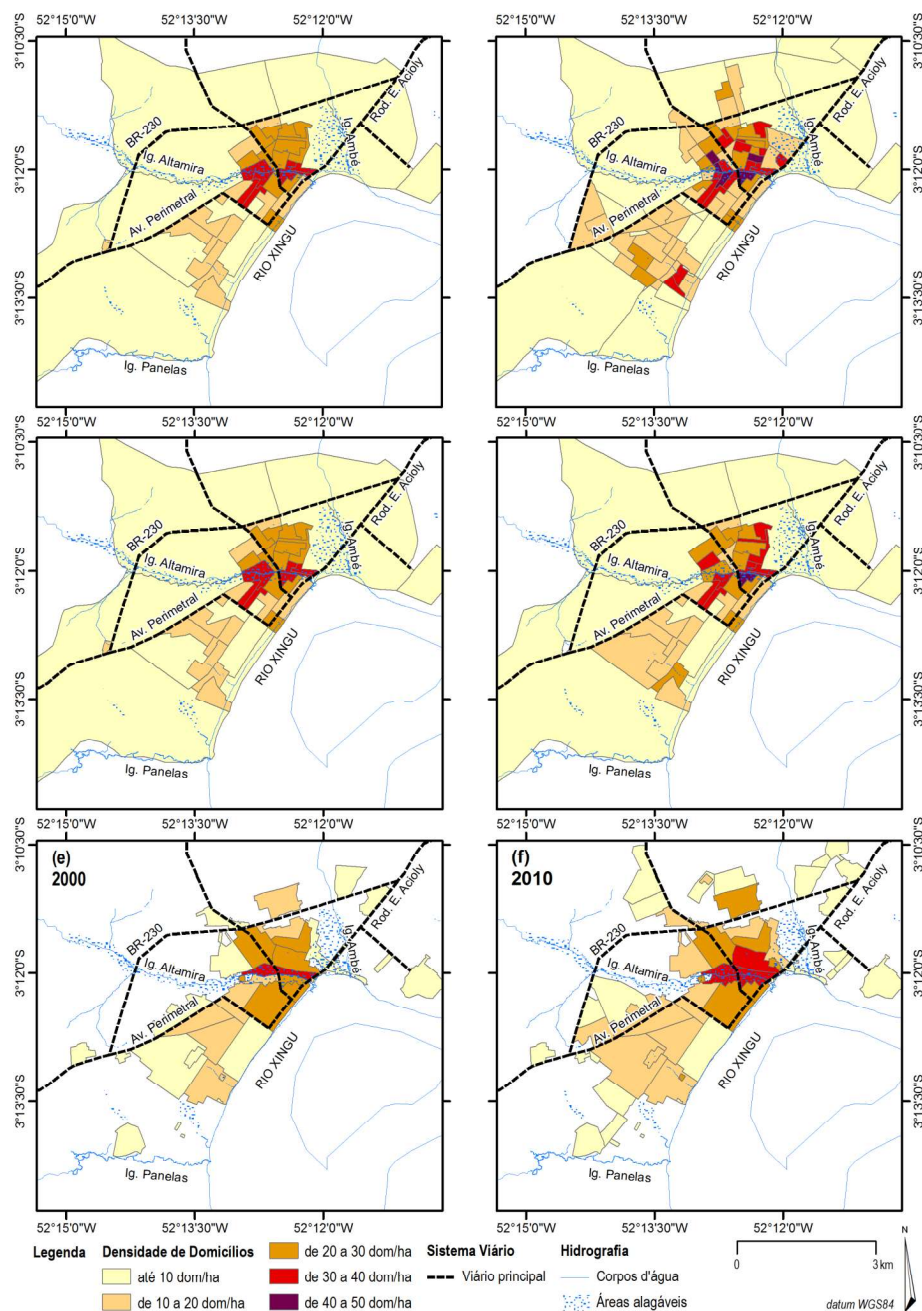


Fig. 4 – Densidade de domicílios por setores censitários em (a) 2000 e (b) 2010, por áreas mínimas comparáveis em (c) 2000 e (d) 2010 e por bairros em (e) 2000 e em (f) 2010.

Na análise da densidade de domicílios nos bairros classificados de acordo com o seu agente produtor (Figura 5), observou-se que:

- Os bairros da ocupação pioneira apresentaram a maior densidade média de domicílios em 2000, sendo que, entre 2000 e 2010, essa densidade diminuiu ligeiramente. Os dois bairros da ocupação pioneira têm valores semelhantes de densidade (entre 20 e 25 dom/ha).
- Os bairros resultantes de ocupação irregular apresentaram o maior aumento de densidade média de domicílios (de 15 dom/ha para 20 dom/ha). Se analisarmos apenas os bairros com mais de 20 dom/ha, os de ocupação irregular são a maioria.
- Tanto nos bairros promovidos pela iniciativa privada quanto pela pública, observou-se o aumento da densidade entre 2000 e 2010. Os bairros com origem na ação pública apresentam maior densidade média (entre 10 e 15 dom/ha) que os de ação privada (entre 5 e 10 dom/ha).
- Assim como os bairros de ocupação irregular, os bairros com origem na ação pública e na privada apresentam densidades variadas. Com densidade

maior que 20 dom/ha havia, em 2000, apenas um bairro promovido por agentes privados e um bairro, por agentes públicos; em 2010, dois bairros promovidos por cada agente foram identificados.

Para analisar a distribuição dos domicílios em termos absolutos, os bairros, de acordo com a localização e o agente produtor, foram agrupados em 10 áreas de ocupação (Figura 6). Assim, os bairros da ocupação pioneira são parte da área central (A). Os bairros resultantes da ação pública ou privada foram agrupados em: (B) área norte, dos bairros localizados entre o Igarapé Altamira e a BR-230, a norte do centro; (C) área sudoeste, dos bairros localizados a sudoeste do centro; (D) área norte da Av. Perimetral; (E) área norte da BR-320 (Rodovia Transamazônica); e (F) área leste, dos bairros localizados na colina do Rio Xingu, a leste do centro. Os bairros de ocupação irregular correspondem aos setores de ocupação: (G) nas margens do Igarapé Altamira; (H), na margem do Igarapé Ambé; (I), na margem do Rio Xingu; e (J), nas áreas alagadiças dos bairros situados entre a Av. Perimetral e o Rio Xingu.

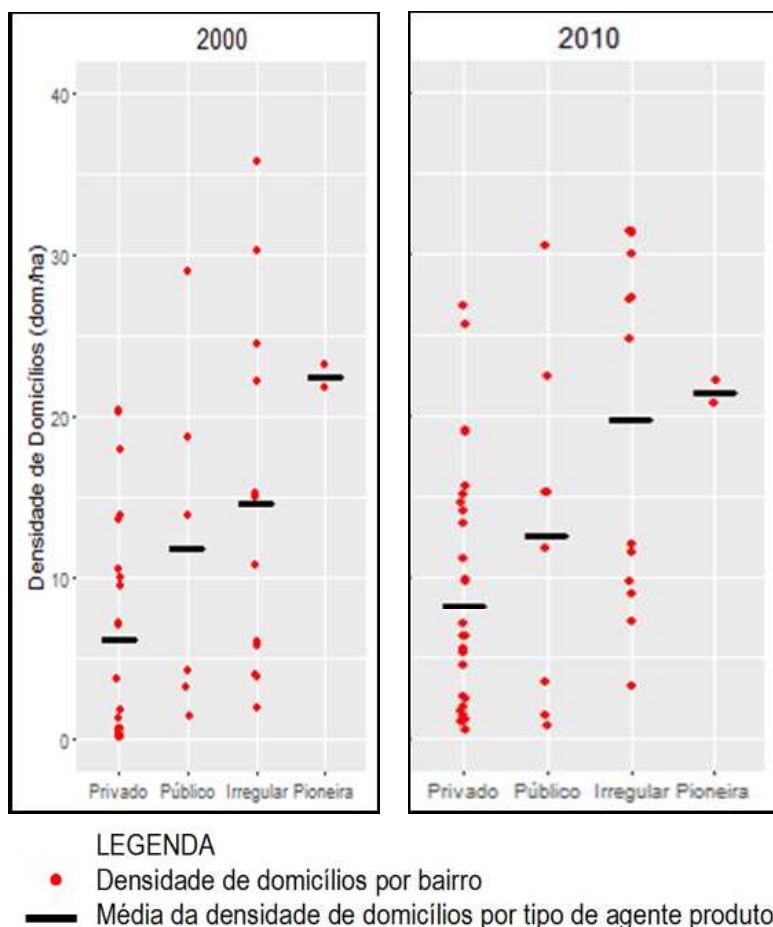


Fig. 5 – Distribuição empírica dos dados de densidade de domicílios nos bairros agrupados de acordo com o agente produtor.

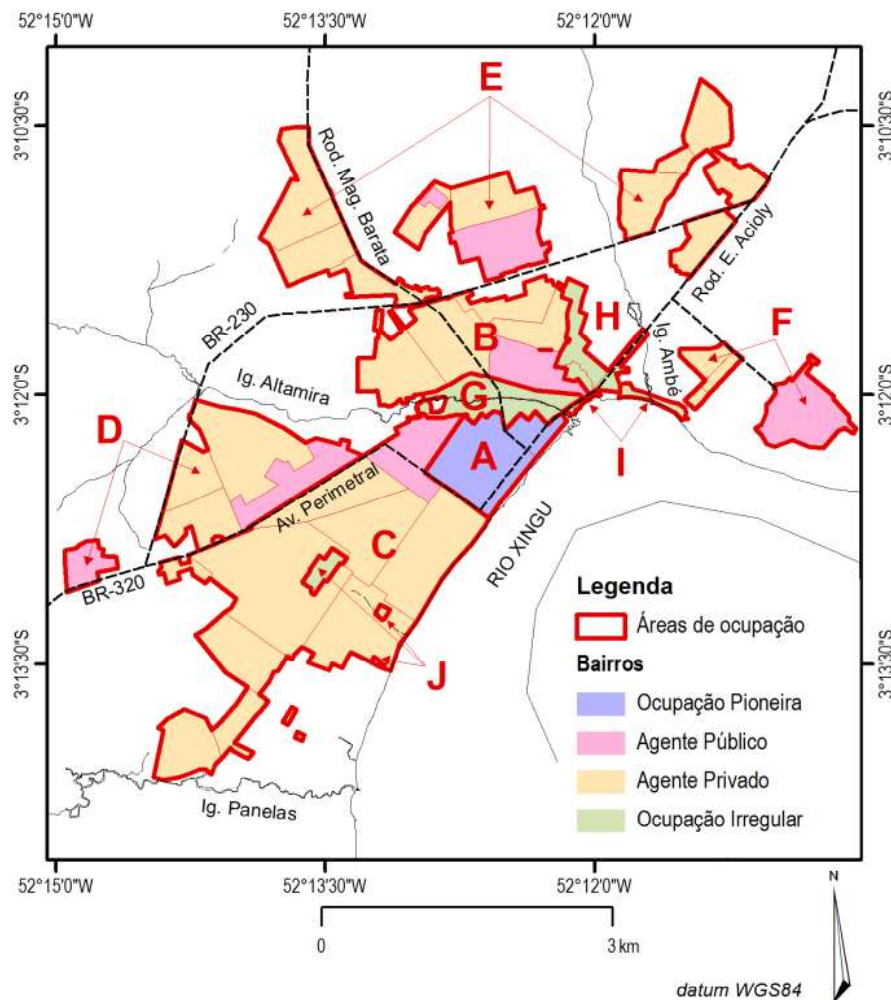


Fig. 6 – Áreas de ocupação.

Tabela 4: Domicílios por áreas, em 2000 e 2010

Áreas de ocupação		Domicílios			
		2000 (n° abs.)	2010 (n° abs.)	2000-2010 (n° abs.)	(%)
A	Central	1.919	1.760	-159	-8%
B	Norte	3.559	4.395	836	23%
C	Sudoeste	4.431	6.060	1.629	37%
D	Norte da Av. Perimetral	252	1.575	1.323	525%
E	Norte da BR-230	744	1.981	1.237	166%
F	Leste	131	184	53	40%
G	Margens do Ig. Altamira	1.307	1.524	217	17%
H	Margem do Ig. Ambé	136	463	327	240%
I	Margem do Rio Xingu	49	40	-9	-18%
J	Alagadiços	41	146	105	256%

As áreas são: (A) central; (B) norte; (C) sudoeste; (D) norte da Av. Perimetral; (E) norte da BR-230; (F) leste; (G) ocupação das margens do Igarapé Altamira; (H) ocupação da margem do Igarapé Ambé; (I) ocupação da margem do Rio Xingu; (J) ocupação dos alagadiços dos bairros situados entre a Av. Perimetral e o Rio Xingu.

Em 2000, as áreas mais populosas na cidade, em ordem decrescente, eram: a sudoeste (C), a norte (B) e a central (A). Em 2010, essa mesma ordem se manteve, com o aumento do número de domicílios nas áreas sudoeste e norte. Na área central, observou-se o processo inverso, de diminuição dos domicílios, o que evidencia um processo de substituição do uso residencial para o uso comercial (Tabela 4).

A ocupação irregular das margens do Igarapé Altamira (G) é a quarta área mais populosa em 2000. Ainda que tenha havido um aumento do número de domicílios nessa área, o crescimento observado nas áreas norte da BR-230 (E) e da Av. Perimetral (D) fez com que, em 2010, essas duas áreas superassem a ocupação do Ig. Altamira (Tabela 4).

O maior incremento em termos absolutos ocorreu na área sudoeste (cerca de 1,6 mil domicílios), seguida pelas áreas norte da Av. Perimetral e norte da BR-230 (cerca de 1,3 e 1,2 mil domicílios, respectivamente) (Tabela 4).

As demais áreas têm pequena participação no total de domicílios. Destaca-se, porém, o crescimento relativo dos domicílios nas áreas de ocupações irregulares da margem do Igarapé Ambé (H) e dos alagadiços (J) (Tabela 4).

Tabela 4: Domicílios por áreas, em 2000 e 2010

CONCLUSÕES

Este trabalho utilizou um método de interpolação por área simples para superar as limitações decorrentes das alterações de recorte geográfico dos setores censitários e para possibilitar a análise das transformações intraurbanas em Altamira, entre 2000 e 2010. O método adotado, de interpolação de áreas dasimétrico binário, é reportado como estável e robusto (WU *et al.*, 2005, p.69) e foi implementado com relativa facilidade em linguagem R.

Os erros das estimativas foram minimizados com a correção interativa do mapeamento. A incorporação de outros dados, como o sistema viário existente em 2000 e 2010, poderia diminuir

ainda mais os erros. Entretanto, este trabalho limitou-se a utilizar dados disponíveis em bases abertas ao público – número de domicílios por setor censitário, limites de setores censitários e imagens do sensor TM do satélite Landsat 5.

O recorte espacial das zonas-alvo – os bairros de Altamira – foi feito levando-se em consideração o limite dos loteamentos (ou ocupações) que deram origem a cada bairro. Assim, os bairros estão relacionados com o crescimento da cidade, o que contribuiu para enriquecer a análise. A partir da estimativa de dados por bairros foi possível observar o aumento da densidade de domicílios ao redor do Igarapé Altamira e nos bairros entre este Igarapé e a BR-230.

Os bairros são unidades homogêneas e foram agregados em áreas de ocupação para captar as dinâmicas mais relevantes do crescimento da cidade. Observou-se que as áreas com maior número de domicílios são a sudoeste, norte e central. Destas áreas, a sudoeste abrigou o maior crescimento em termos absolutos, seguida das áreas norte da Av. Perimetral e norte da BR-230. No primeiro caso, o crescimento ocorreu com a intensificação da ocupação, embora a densidade, nas duas datas, ainda seja baixa (cerca de 10 dom/ha). Nos dois outros casos, o crescimento ocorreu, sobretudo, com a implantação de novos bairros. A densidade em 2010 nessas áreas é também baixa: muitos bairros possuem menos de 10 dom/ha e apenas um bairro possui entre 20 e 30 dom/ha.

Além disso, observou-se aumento das ocupações das margens dos corpos d'água, em especial do Igarapé Ambé. As ocupações nas margens do Igarapé Altamira possuem densidade das mais altas observadas na cidade (entre 30 e 40 dom/ha). Embora a estimativa de crescimento em áreas de ocupação irregular, em números absolutos, não tenha sido tão expressiva (cerca de 600 novos domicílios) em comparação ao incremento total na cidade (cerca de 14 mil domicílios), as margens dos igarapés e áreas alagadiças são densamente ocupadas por população em condições inadequadas de habitabilidade, sem segurança jurídica da posse da moradia e em desacordo com as normas de proteção ambiental.

Por fim, observou-se que a área central, apesar do incipiente processo de substituição de

moradias por estabelecimentos comerciais e de serviços, ainda conserva densidade das mais altas da cidade, o que é plenamente compatível com o fato de que essa área é a que oferece melhor infraestrutura urbana na cidade.

Altamira é testemunha de várias iniciativas governamentais de ocupação do território amazônico e de utilização de seus recursos. A abordagem proposta torna possível analisar a dinâmica intraurbana em diferentes períodos do desenvolvimento da cidade, acompanhando os processos desencadeados pela abertura da BR-230 (Rodovia Transamazônica) na década de 1970, por exemplo, ou pela construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte iniciada em 2010.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, D. S. In: BERTHA BECKER; ALVES, D. S.; COSTA, W. DA (Org.). *Síntese da produção científica em ciências humanas na Amazônia: 1990-2002*. São Paulo: EDUSP, p. 39–63, 2007.
- AMARAL, S. **Geoinformação para estudos demográficos: representação espacial de dados de população na Amazônia brasileira**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 166p., 2004.
- BARROS, S. A. L. A escala bairro e o conceito de lugar urbano: o caso de Apipucos e Poço da Panela no Recife. **Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP**, São Paulo, n. 15, p. 56–74, 2004.
- BECKER, B. Fronteira e urbanização repensadas. **Revista Brasileira de Geografia**, vol. 47, n° 3/4, p. 315–426, 1985.
- BRACKEN, I.; MARTIN, D. The generation of spatial population distributions from census centroid data. **Environment and planning A**, v. 21, n. 4, p. 537–543, 1989.
- COCKINGS, S.; FISHER, P. F.; LANGFORD, M. Parameterization and visualization of the errors in areal interpolation. **Geographical Analysis**, v. 29, n. 4, p. 314–328, 1997.
- D'ALGE, J. IO C. L. In: DAVIS, C.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. (Org.). **Cartografia para geoprocessamento. Introdução à ciência da geoinformação**. INPE, p. 6-1–6-32, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap6-cartografia.pdf>>. Acesso em: jul. 2015.
- D'ANTONA, Á. DE O.; BUENO, M. DO C. D.; DAGNINO, R. DE S. Estimativa da população em unidades de conservação na Amazônia legal brasileira: uma aplicação de grades regulares a partir da contagem 2007. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 30, n. 2, p. 401–428, 2013.
- EICHER, C. L.; BREWER, C. A. Dasymetric mapping and areal interpolation: implementation and evaluation. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 28, n. 2, p. 125–138, 2001.
- FEITOSA, F. DA F.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G. Compatibilização de dados censitários para análises temporais com o auxílio de imagens Landsat. In: **XII SBSR. 2005, Anais**, p. 2657–2664, 2005.
- FISHER, P. F.; LANGFORD, M. Modeling sensitivity to accuracy in classified imagery: a study of areal interpolation by dasymetric mapping. **The Professional Geographer**, v. 48, n. 3, p. 299–309, 1996.
- _____. Modeling the errors in areal interpolation between zonal systems by monte-carlo simulation. **Environment and planning A**, v. 27, p. 211–224, 1995.
- FORD, L. M. Contour reaggregation: another way to integrate data. **Papers, 31th annual URISA Conference**, v. 11, p. 528 – 575, 1976.
- HARVEY, J. Population estimation models based on individual tm pixels. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 68, n. 11, p. 1181–1192, 2002.
- HAWLEY, K. J. **A comparative analysis of areal interpolation methods**. Tese (doutorado) – Ohio State University. 99p. 2005.
- HELFAND, S. M.; BRUNSTEIN, L. F. The changing structure of the Brazilian agricultural sector and the limitations of the 1995/96 agricultural census. In: **VII NEMESIS SEMINAR**. 24 p. 2000. Disponível em: <<http://nemesis.org.br/sec-din5.php?id=0000000040&i=pt>>. Acesso em: jul. 2015.
- HIRYE, M. C. DE M. **Análise da expansão**

- urbana com utilização do modelo linear de mistura espectral: estudo de caso em Altamira (PA) entre 2000 e 2010.** Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 180 p. 2014.
- HIRYE, M. C. DE M.; ALVES, D. S.; KUX, H. J. H. Mapeamento da cobertura da terra na cidade de Altamira (PA) em 2000 e 2010, com a utilização do modelo linear de mistura espectral de imagens do sensor TM. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 1, p. 157–168, 2015.
- HOLT, J. B.; LO, C. P.; HODLER, T. W. Dasymeric estimation of population density and areal interpolation of census data. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 31, n. 2, p. 103–121, 14 jan. 2004.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. *Grade estatística*. Rio de Janeiro: 2016.
- _____. **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 30 jul. 2015.
- _____. **Metodologia do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: 713 p., 2013.
- _____. **Regiões de influência das cidades 2007**. Rio de Janeiro: 201 p., 2008.
- _____. **Censo Demográfico 2000: Agregado por Setores Censitários**. Rio de Janeiro: 157 p., 2003a.
- _____. **Metodologia do Censo Demográfico 2000**. Rio de Janeiro: 568 p., 2003b.
- JAKOB, A. A. E. A dinâmica intra-urbana do município de Santos vista sob o prisma dos censos demográficos de. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 21, n. 1, p. 117–136, 2004.
- KOGA, D. A incorporação da topografia social no processo de gestão de políticas públicas locais. **Revista de Administração Pública**, v. 39, n. 3, p. 635–653, 2005.
- LAM, N. S.-N. Spatial interpolation methods: a review. **American Cartographer**, v. 10, p. 129–149, 1983.
- LAMAS, J. M. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. 4a. edição. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 592 p., 2004.
- LANGFORD, M. Obtaining population estimates in non-census reporting zones: an evaluation of the 3-class dasymeric method. **Computers, environment and urban systems**, v. 30, n. 2, p. 161–180, mar. 2006.
- LANGFORD, M.; MAGUIRE, D. J.; UNWIN, D. J. The areal interpolation problem: estimating population using remote sensing in a GIS framework. In: MASSER, I.; BLAKEMORE, M. (Org.). **Handling geographical information: methodology and potential applications**. London, UK: p. 55–77 Longman, 1991.
- LANGFORD, M.; UNWIN, D. J. Generating and mapping population density surfaces within a geographical information system. **The Cartographic Journal**, v. 31, n. 1, p. 21–26, 1994.
- LEME ENGENHARIA. **Aproveitamento Hidrelétrico (AHE) Belo Monte – Estudo de Impacto Ambiental (EIA)**. Disponível em: <<http://licenciamento.ibama.gov.br/Hidretricas/BeloMonte/EIA/>>. Acesso em: 30 jul. 2015.
- LIN, J.; CROMLEY, R. G. A local polycategorical approach to areal interpolation. **Computers, environment and urban systems**, v. 54, p. 23–31, nov. 2015.
- LIU, X. **Estimation of the spatial distribution of urban population using high spatial resolution satellite imagery**. Tese (doutorado) – University of California. 190 p. 2003.
- LLOYD, C. D.; NEJAD, B. F. Surface models and the spatial structure of population variables: exploring smoothing effects using northern Ireland grid square data. **Computers, environment and urban systems**, v. 48, p. 64–72, nov. 2014.
- LOBO, M. A. A. Método para compatibilizar setores censitários urbanos de 1991 e 2000 aplicado ao estudo da dinâmica populacional da região metropolitana de Belém (PA). **Urbe - Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 1, n. 1, p. 71–84, 2009.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de**

- aplicação**. 3. ed. ed. São José dos Campos, SP: INPE, 320 p., 2005.
- OLIVEIRA, S. M. de; SOUSA, R. P. de; DAVIS JR., C. A.; AMARAL, F. M. P. do. Adequação da Delimitação dos Setores Censitários a Outras Unidades Espaciais Urbanas. In: **Anais do Encontro nacional de produtores e usuários de informações sociais, econômicas e territoriais do IBGE**. 1996. Disponível em: <<http://homepages.dcc.ufmg.br/~clodoveu/>>. Acesso em: 07 out. 2016.
- OPENSHAW, S. **The modifiable areal unit problem**. Norwich: Geo Books, 40 p., 1983.
- REIBEL, M.; BUFALINO, M. E. Street-weighted interpolation techniques for demographic count estimation in incompatible zone systems. **Environment and planning A**, v. 37, n. 1, p. 127–139, 2005.
- REIS, E.; PIMENTEL, M.; ALVARENGA, M.; SANTOS, M. C. H. Áreas mínimas comparáveis para os períodos intercensitários de 1872 a 2000. In: **Anais do I Simpósio Brasileiro de Cartografia Histórica**. 2011. Disponível em: <https://www.ufmg.br/rededemuseus/crch/simpósio/REIS_EUSTAQUIO_JOSE_R_ET_AL.pdf>. Acesso em: 07 out. 2016.
- RIDD, M. K. Exploring a V-I-S model for urban ecosystem through remote sensing: a comparative anatomy for cities. **International Journal of Remote Sensing**, v. 16, n. 12, p. 2165–2185, 1995.
- TECHNUM CONSULTORIA. **Plano Diretor de Altamira - Volume II**. Brasília, 2010.
- TOBLER, W. R. Smooth pycnophylactic interpolation for geographical regions. **Journal of the American Statistical Association**, v. 74, n. 367, p. 519–530, 1979.
- UMBUZEIRO, U. M. **Altamira e sua história**. 2a. ed. Altamira: Grupo Cultural, 1988.
- UMBUZEIRO, U. M. **Altamira e sua história**. 4a. ed. Altamira: Grupo Cultural, 2012.
- VOSS, P. R.; LONG, D. D.; HAMMER, R. B. When Census Geography Doesn't Work: Using Ancillary Information to Improve Spatial Interpolation of Demographic Data. **CDE Working Paper**. No. 99-26, 1999.
- WALFORD, N. Development and design of a web-based interface to address geographical incompatibility in spatial units. **Environment and planning A**, v. 45, n. 7, p. 1713–1733, 2013.
- WU, S.; QIU, X.; WANG, L. Population estimation methods in GIS and remote sensing: a review. **Giscience & Remote Sensing**, v. 42, n. 1, p. 80–96, 2005.
- XIE, Y. The overlaid network algorithms for areal interpolation problem. **Computers, environment and urban systems**, v. 19, n. 4, p. 287–306, jul. 1995.
- YUAN, Y.; SMITH, R. M.; LIMP, W. F. Remodeling census population with spatial information from Landsat TM imagery. **Computers, environment and urban systems**, v. 21, n. 3-4, p. 245–258, maio 1997.