

## MUDANÇAS NO USO E COBERTURA DO SOLO NA MICROBACIA DE UM IGARAPÉ AMAZÔNICO ENTRE 1987 E 2018

**Renato Silva Santiago**

Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA  
Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida  
Santarém, PA, Brasil  
[natossantiago@gmail.com](mailto:natossantiago@gmail.com)

**Rodolfo Maduro Almeida**

Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA  
Programa de Pós-Graduação em Ciências da Sociedade  
Santarém, PA, Brasil  
[rodolfomaduroalmeida@gmail.com](mailto:rodolfomaduroalmeida@gmail.com)

**Jaílson Santos de Novais**

Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB  
Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias Ambientais  
Porto Seguro, BA, Brasil  
[jailson.novais@ufsb.edu.br](mailto:jailson.novais@ufsb.edu.br)

### RESUMO

Diversas cidades sofrem com a expansão urbana desordenada, favorecida por ocupações humanas espontâneas que geralmente contribuem para a degradação ambiental. Esta pesquisa objetivou identificar e analisar as dinâmicas espacial e temporal das mudanças de uso e cobertura do solo, entre 1987 e 2018, na microbacia de um igarapé na Amazônia brasileira. Para isso, o método incluiu técnicas de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, bem como visita *in loco* a pontos estratégicos do curso principal do igarapé, classificação supervisionada pelo algoritmo Máxima Verossimilhança e imagens dos satélites Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI. Os resultados mostram a perda da vegetação densa e o aumento considerável das áreas edificadas ou com solo exposto. Nesse sentido, conclui-se que o ambiente sofreu profunda intervenção humana nos últimos 31 anos, sem qualquer tipo de reparação da vegetação nativa.

**Palavras-chave:** Bacia amazônica. Ocupação do solo. Geoprocessamento. Landsat. Preservação de corpos hídricos.

### LAND USE AND COVER CHANGES IN THE MICRO-BASIN OF AN AMAZONIAN STREAM BETWEEN 1987 AND 2018

### ABSTRACT

Several cities suffer from disorderly urban expansion, favored by spontaneous human occupations that generally contribute to environmental degradation. This research aimed to identify and analyze the spatial and temporal dynamics of land use and land cover changes, between 1987 and 2018, in the microbasin of a stream in the Brazilian Amazon. For this, the method included techniques for digital processing of remote sensing images, as well as an *in loco* visit to strategic points on the main course of the igarapé, classification supervised by the Maximum Likelihood algorithm and images from the Landsat 5 TM and Landsat 8 OLI satellites. The results show the loss of dense vegetation and the considerable increase in built-up areas or areas with exposed soil. In this sense, it is concluded that the environment has suffered profound human intervention in the last 31 years, without any kind of repair of the native vegetation.

**Keywords:** Amazon basin. Land occupation. Geoprocessing. Landsat. Preservation of water bodies.

### INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano não planejado constitui uma ameaça global negligenciada (RIBEIRO, 2021) e pode afetar negativamente a qualidade e funcionalidade dos ecossistemas aquáticos (LIGTVOET et al., 2018). No Brasil, o crescimento populacional seguido da expansão urbana desenfreada é uma realidade

constante em cidades de médio e grande portes. Esse aglomerado urbanístico, segundo Santos e Silveira (2001), pode relacionar-se com a capacidade de oferta de bens e serviços apresentados pelo crescimento de tais cidades. Um exemplo disso é Santarém, cidade localizada no interior da Amazônia brasileira e que contém o terceiro maior aglomerado urbano do estado do Pará, estimado em 306.480 habitantes em 2020 (IBGE, [2017]).

Diversos ambientes urbanos são ocupados de forma desordenada, a exemplo do entorno dos cursos hídricos, como os rios, riachos e igarapés. Segundo Lowe-McConnell (1999), um igarapé consiste em um corpo d'água com leito bem definido e, em geral, arenoso. Quando esses ambientes são canalizados, aterrados e transformados em avenidas, ruas e praças, tornam-se poluídos e degradados (SOMBRA, 1996; NOGUEIRA; SANSON; PESSOA, 2007; COSTA JÚNIOR e NOGUEIRA, 2011).

De acordo com Carlos (1994) e Santos (1994), o espaço urbano é vivo e pode ser entendido como um produto da história e das relações humanas, uma vez que o ser humano interage entre si e molda continuamente o ambiente ao seu redor. Isso requer, segundo Cruz (1998), que fatores como reflorestamento, saneamento básico, manejo e conservação do solo, preservação de matas ciliares (nascentes e córregos), destino adequado do lixo, bem como geração de novas opções de exploração das propriedades planejadas, sejam considerados em todos os locais onde o ser humano atua enquanto modificador do meio.

Há diversos instrumentos que permitem compreender o espaço geográfico de forma dinâmica, incluindo ferramentas para análise espacial, ordenamento territorial (normatização e gestão do território), monitoramento de áreas de interesse e para a tomada de decisão. Nesse universo estão as geotecnologias, que englobam várias técnicas e instrumentos que permitem coletar, processar, analisar, armazenar e manusear informações por meio do geoprocessamento. Tais ferramentas têm sido usadas, por exemplo, no planejamento urbano e na ecologia, a fim de identificar áreas que atuem como corredores ecológicos (OLIVEIRA et al., 2015) ou diagnosticar conflitos de uso da terra, com ênfase no planejamento ambiental da gestão de recursos hídricos e de áreas de proteção permanente (BRITO et al., 2016). De acordo com Caixeta (2009), ao contribuírem na fiscalização por parte dos órgãos responsáveis pelo monitoramento ambiental, essas ferramentas reduzem custos e tempo de execução para determinar os locais onde ocorre degradação.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), segundo Fitz (2008, p. 19), são constituídos por um “[...] conjunto de programas computacionais, que integram dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecidas.” Silva (2006) afirma que SIGs são softwares capazes de integrar bancos de dados, bem como bases geográficas, com ferramentas que utilizam técnicas apropriadas para desenvolver análises espaciais, estatísticas, dentre outras.

De acordo com Longley et al. (2011), modelos de SIGs podem ser usados de muitas maneiras. Alguns atuam com simulações, outros com avaliação de cenários ou até mesmo criação de indicadores. Em todas essas abordagens, os SIGs executam uma série de análises do espaço geográfico, seja em um ponto específico ou em determinado intervalo de tempo. Os SIGs também atuam no processo de monitoramento, que consiste em coletar dados de um recorte da paisagem de uma área definida, com o intuito de obter um momento inicial e um momento posterior, a fim de detectar mudanças que sustentem a tomada de decisões para proteção da natureza ou que apoiem planejamentos setoriais (LANG e BLASCHKE, 2009).

A Amazônia brasileira possui muitos corpos hídricos urbanos que são impactados com a rápida urbanização (FERREIRA et al., 2021; RICO et al., 2022). O presente trabalho toma como exemplo e objeto de estudo o igarapé do Urumari, um curso hídrico cuja extensão está totalmente localizada na área urbana do município de Santarém, no oeste do Pará. Ao percorrer sete bairros da cidade, esse igarapé sofre diretamente com questões socioambientais em decorrência do adensamento populacional. Assim, esse estudo objetiva identificar e analisar as dinâmicas espacial e temporal das possíveis ações antrópicas no processo de uso e cobertura do solo na microbacia do igarapé do Urumari, entre 1987 e 2018, valendo-se de técnicas de geoprocessamento. Os dados podem subsidiar tomada de decisão quanto a políticas públicas locais e regionais voltadas à conservação de corpos hídricos urbanos, bem como estimula futuras pesquisas sobre condições similares em outras cidades do interior da Amazônia.

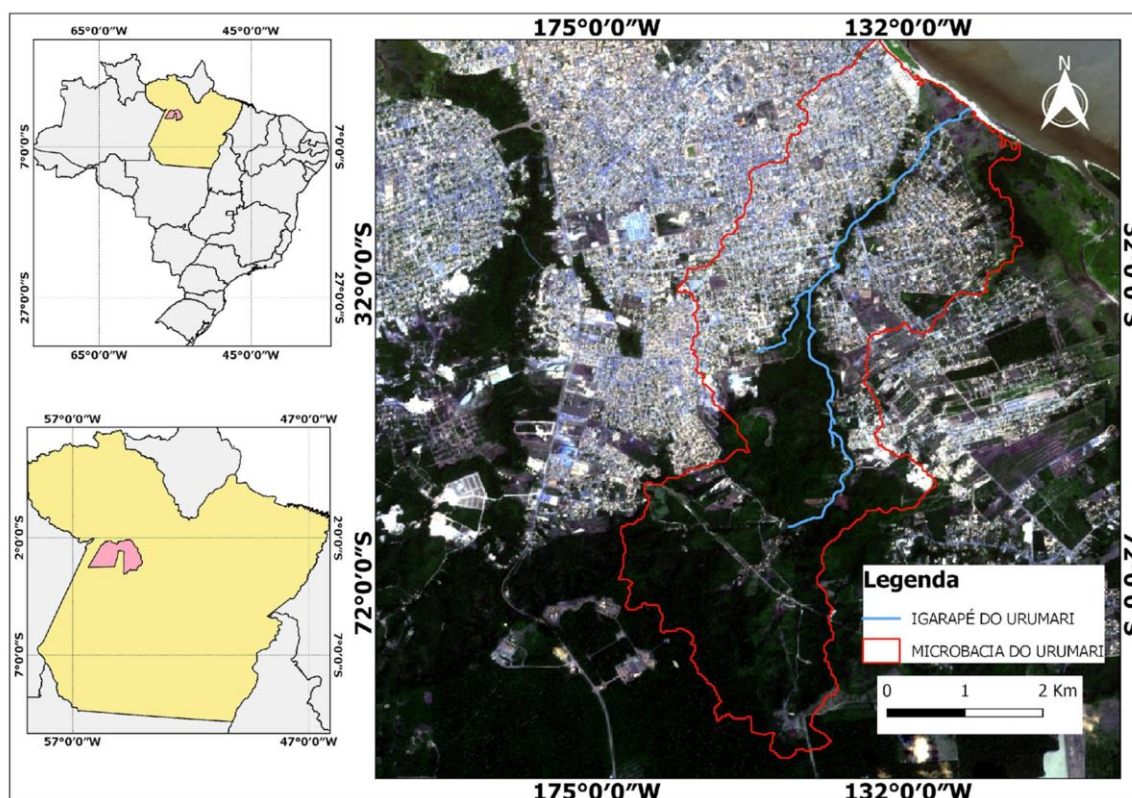
## MÉTODO

### *Localização e caracterização da área de estudo*

O igarapé do Urumari é um corpo d'água que vislumbra primeira e segunda ordem, localizado a leste da cidade de Santarém, Pará. Cercado por propriedades urbanas em ambos os lados, possui uma extensão de aproximadamente 7,5 km, com três nascentes identificadas na Serra Saubal, dentro do bairro Vigia, e duas nascentes no bairro Santo André. Esse igarapé percorre sete bairros, da montante à jusante, respectivamente: Santo André, Vigia, Urumari, Jutai, São José Operário, Área Verde e Uruará (Figura 1). A foz situa-se na zona de mistura entre os rios Amazonas e Tapajós (PIMENTEL e MELO, 2014). A coleta e a plotagem dos dados deste trabalho consideram toda a extensão do igarapé do Urumari, tendo como ponto de partida a foz, localizada entre os bairros Área Verde e Uruará. A coleta de informações realizou-se durante oito visitas de campo à área de estudo.

As nascentes do igarapé do Urumari estão localizadas nos bairros Santo André e Vigia. Neste, as nascentes situam-se dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) na serra Saubal. Essa APA possui 156 hectares; abrange os bairros Nova República, Santo André, Bela Vista e Vigia. A criação da APA objetivou promover o uso sustentado dos recursos naturais, proteger a biodiversidade, proteger os recursos hídricos e os remanescentes de floresta, bem como o patrimônio arqueológico e cultural, promover a melhoria da qualidade de vida da população, manter o caráter rural da região e evitar o avanço da ocupação urbana na área protegida (SANTARÉM, 2011). Vale ressaltar que as outras nascentes localizadas no bairro Santo André não estão protegidas por APA.

Figura 1 - Santarém (PA): Localização do igarapé do Urumari, 2019.

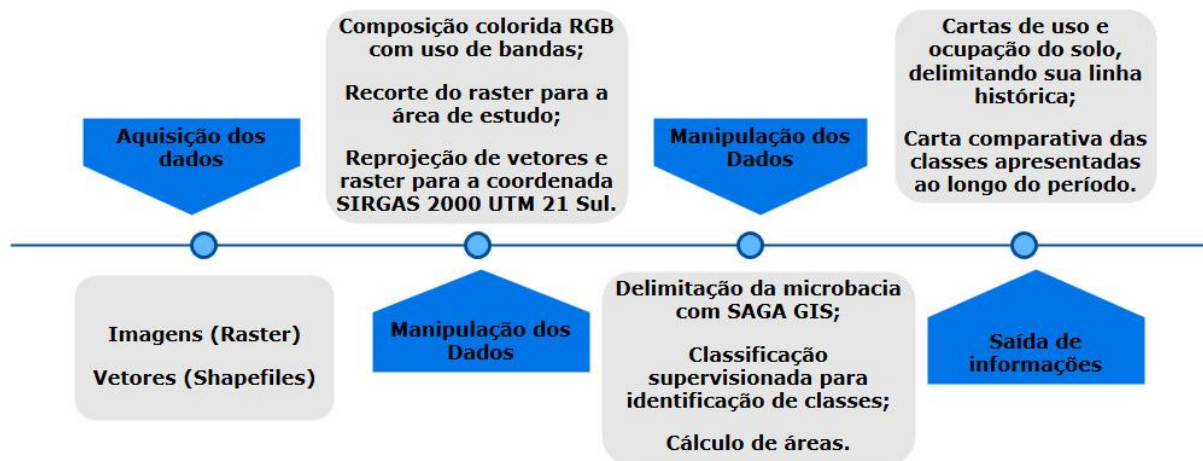


Elaboração - Os autores (2018). Fontes - IBGE (delimitação de municípios) e Prefeitura Municipal de Santarém (bairros).

Os procedimentos metodológicos incluíram aquisição de material, processamento e saída de informações (Figura 2). Para tanto, utilizou-se o software livre QGIS 2.18.26 Las Palmas (SHERMAN et al., 2017) e

seus complementos, visando à manipulação de dados vetoriais, à classificação da imagem, bem como ao cruzamento das informações mapeadas.

Figura 2 - Santarém (PA): Etapas do processamento digital de imagens, 2019.



Elaboração - Os autores (2019).

### Identificação e aquisição de imagens da área de estudo

A identificação e o mapeamento do uso do solo foram feitos levando-se em consideração o perímetro urbano do município de Santarém, a partir de imagens coletadas pelos satélites americanos Landsat-5 e Landsat-8, adquiridas no site do *United States Geological Survey* (USGS, 2019). Do satélite Landsat-5 foram disponibilizadas três imagens com resolução espacial de 30 metros, ou seja, cada “pixel” da imagem representa uma área no terreno de 0,09 ha. A bordo do satélite está o sensor TM (*Thematic Mapper Plus*), imageando a órbita/ponto 227/62, que abrange a cidade de Santarém nas bandas espectrais 3, 2 e 1, com as cores vermelho, verde e azul (RGB), respectivamente nos anos de t1 (1987), t2 (1999) e t3 (2009). Já para o t4 (2018), o segundo satélite Landsat-8 possui resolução espacial de 15 metros no PAN (Pancromático) e 30 metros no MS (Multiespectral), nas bandas 4, 3 e 2 do sensor OLI (*Operational Land Imager*). Estudos anteriores adotaram procedimentos similares, como Weismiller; Persinger; Montgomery (1977), que mapearam solos em Jasper County, Estados Unidos, e Dwivedi (1985), que se valeu da mesma técnica com o intuito de mapear o solo e desenvolver um sistema de análise da paisagem em regiões áridas e semiáridas no sul da Índia, concluindo que, nas áreas imageadas, o solo e vegetação são claramente distintos, sendo possível identificar onde estão as áreas mais secas.

O recorte temporal entre 1987 e 2018 foi escolhido pelo fato de 1987 ser o ano mais distante em que há imagens da área de estudo com boa qualidade, disponíveis no site do USGS. Essa nitidez refere-se às imagens livres de nuvens, possibilitando melhor comparação com as imagens escolhidas posteriormente, seguindo o mesmo critério de análise, ou seja, para as imagens t1 (16/07/1987), t2 (02/08/1999), t3 (12/07/2009) e t4 (23/09/2018).

Os vetores “*shapefiles*” apresentados na legenda da Figura 1, descritos como “Igarapé do Urumari” e “Microbacia do Urumari”, foram elaborados pelos autores utilizando o algoritmo de delimitação automática de bacias do SAGA GIS (*Geographic Resources Analysis Support System*) e o pós-processamento com interpretação visual, utilizando dados de curva de nível e elevação. Essa metodologia se fez necessária pelo fato da microbacia apresentada no estudo não fazer parte de nenhum acervo digital pesquisado.

### Composição colorida RGB

Tendo em vista o levantamento mais detalhado e a precisão na identificação das classes de uso, foram empilhadas as seis bandas do satélite Landsat 5 TM (bandas 1 a 5 e 7). Em seguida, foram compostas as bandas RGB 3, 2, 1 – Vermelho (*Red*), Verde (*Green*) e Azul (*Blue*) –, respectivamente. Para o Landsat 8 OLI, foram empilhadas oito bandas multiespectrais (bandas 1 a 7 e 9) e compostas as bandas RGB 4, 3, 2

cores naturais. Essas foram as bandas escolhidas porque o classificador utiliza o máximo de potencial das faixas espectrais. Além disso, considerando-se que foram usadas bandas da região do visível do espectro eletromagnético para as imagens de 1987 e se foram usadas as bandas 6, 5, 4, que são do visível, do IR próximo e IR médio do Landsat 8, não há padronização nos dados.

### **Recorte e reprojeção de imagem Landsat**

De posse da imagem completa do território de Santarém, procedeu-se aos recortes da imagem da área de estudo, tendo como base os *shapefile*, ou seja, a delimitação da bacia Urumari, bem como a delimitação dos bairros envolvidos, de modo que o processo de classificação pudesse ser facilitado. Assim, as imagens foram reprojadas para as coordenadas planas UTM (Universal Transversa de Mercator) SIRGAS 2000 zona 21s.

### **Delimitação da microbacia com SAGA GIS**

Para identificar, mapear e analisar a dinâmica espacial e temporal entre os anos de 1987 a 2018, foi delimitada a microbacia hidrográfica do igarapé Urumari, com início em um *raster* SRTM 1 arco de segundo global no algoritmo de delimitação automática de bacias do SAGA GIS (*Geographic Resources Analysis Support System*), ferramenta complementar ao QGIS e que utiliza o módulo *Watershed*. Em seguida, efetuou-se o pós-processamento com interpretação visual, utilizando dados de curva de nível e elevação.

Similarmente, Dias et al. (2005) utilizaram o software SAGA GIS para delimitar as áreas críticas de erosão do solo no município de Volta Redonda (RJ), assim como Silva (2018) utilizou o mesmo software para cruzar os mapas de declividade e solos em Catalão (GO).

### **Classificação supervisionada com Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)**

Foi realizada a classificação supervisionada das imagens no QGIS, com o auxílio do *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), versão 5.4.2 (CONGEDO, 2016), que possibilitou classificar as imagens pixel a pixel. O *plugin* possibilitou utilizar três classificações: Distância Mínima, Máxima Verossimilhança e Mapeamento de Ângulo Espectral. Nesta pesquisa, foi utilizada a Máxima Verossimilhança (MaxVer), que efetua o cálculo das distribuições de probabilidade para cada classe, relacionando-as com o teorema de Baye's, efetuando a estimativa se um pixel pertence a uma classe de cobertura da terra.

O conceito bayesiano entende que os dados observados devem ser tratados como conhecidos, reforçando, assim, a proposta do presente estudo em ser uma classificação supervisionada. Enquanto isso, o entendimento de cobertura da terra é definido por Fisher e Unwin (2005) como sendo todo material que está no chão, ou seja, solo, água, asfalto, construções, vegetação etc.

O algoritmo MaxVer foi escolhido pelo fato de ser o mais utilizado em classificação supervisionada, apresentando ótimos resultados quando aplicado na verificação da cobertura da terra, bem como por apresentar uma base teórica bastante desenvolvida (BOLSTAD, 1992).

Para utilizar o algoritmo, um considerável número de pixels foi informado no ato do treinamento, ou seja, durante a coleta de pixels das imagens correspondentes a cada classe, que possibilitou o cálculo pela matriz de covariância descrita por Richards e Jia (2006), calculada para cada pixel como sendo:

$$gk(x) = I_N p(c_k) - \frac{1}{2} I_N |\Sigma_k| - \frac{1}{2} (x - y_k)^T \sum_k^{-1} (x - y_k) \quad , \text{ onde temos:}$$

$c_k$  = classe de cobertura da terra  $k$ ;

$x$  = assinatura espectral vetorial ou pixel de uma imagem;

$p(c_k)$  = probabilidade de a classe correta ser  $c_k$ ;

$|\Sigma_k|$  = determinante da matriz de covariância dos dados na classe  $c_k$ ;

$\Sigma_k^{-1}$  = inverso da matriz de covariância;

$y_k$  = assinatura espectral vetorial da classe  $k$ .

As imagens foram classificadas estritamente no recorte da área de estudo e foram selecionadas Regiões de Interesse (ROIs) ou áreas de treinamento, tendo como base cada uma das imagens da linha temporal. Esses ROIs foram atribuídos para cada uma classe de interesse, sendo possível sobrepor os pixels pertencentes à mesma classe de cobertura da terra. Dentro de cada ROI, foi possível selecionar pixels semelhantes a um pixel central chamado de semente e, com isso, considerar a similaridade espectral. Para que os pixels fossem classificados, bem como sua probabilidade, foi informado no limite de assinatura “*threshold*” o valor máximo 100 (cem), já que todas as vezes em que era adotado um valor inferior, a classificação das imagens apresentava-se de forma imprecisa, ou seja, misturando os pixels e dificultando a consideração da similaridade espectral.

De posse das amostras, o algoritmo passou a apresentar cada uma das classes informadas, áreas edificadas/solo exposto, vegetação densa e vegetação rasteira. Para obter essas classes, foi necessário conhecer a área, bem como interpretar visualmente a imagem, levando-se em consideração cores, textura e padrão das feições existentes (FLORENZANO, 2002).

### **Grau de concordância do coeficiente Kappa**

Após a aquisição das ROIs, verificou-se a acurácia, ou seja, a veracidade e precisão das classificações geradas com o *plugin*. Para tanto, efetuou-se o pós-processamento, com a geração da matriz de erro ou matriz de confusão, a qual possibilitou vários cálculos de índice de precisão, sendo utilizado para essa tarefa o coeficiente Kappa (K) (CONGALTON, 1991).

O trabalho de classificação teve o intuito de alcançar sempre o índice máximo de concordância entre os dados classificados e a amostra de referência, tal qual proposto por Landis e Koch (1977), que apresentam o índice Kappa (Tabela 1), sugerindo os respectivos graus de concordância. Para a correta aquisição dos índices no *plugin* SCP, primeiramente, obtiveram-se as classificações, seguidas do *shapefile* ou *raster* de referência, que é o próprio arquivo *shapefile* de treinamento.

Tabela 1 - Santarém (PA): Estatística do índice Kappa e respectivos graus de concordância, 2019.

<b>Estatística Kappa</b>	<b>Concordância</b>
< 0,00	Pobre/Sem concordância
0,00 – 0,20	Leve/Insignificante
0,21 – 0,40	Justo/Baixo
0,41 – 0,60	Moderado/Razoável
0,61 – 0,80	Substancial/Bom
0,81 – 1,00	Perfeito/Muito bom

Fonte - Adaptado de Landis e Koch (1977).

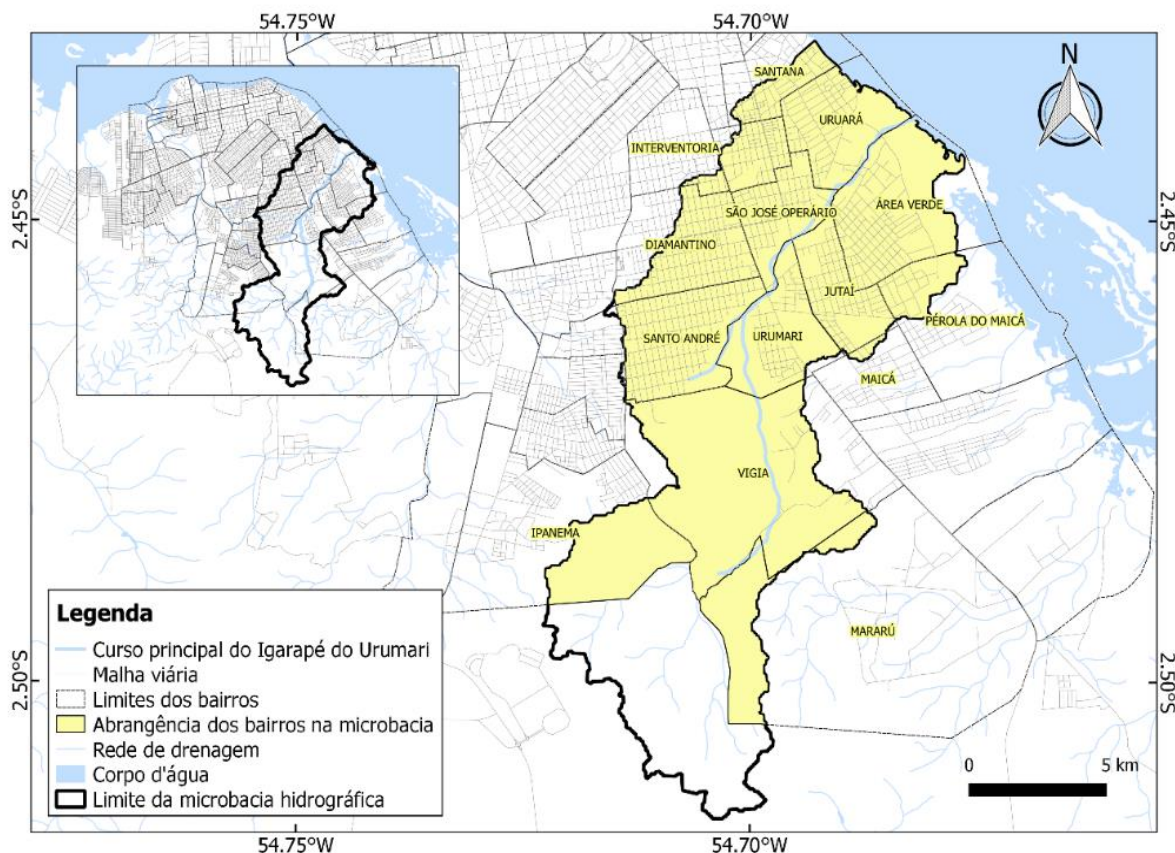
## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Área da microbacia**

De acordo com a delimitação realizada, a microbacia do igarapé do Urumari compreende 14 bairros (Figura 3): Vigia (identificado doravante com o código B1 e assim sucessivamente, para os demais bairros), Santo André (B2), Urumari (B3), Jutai (B4), São José Operário (B5), Área Verde (B6), Uruará (B7), Ipanema (B8), Diamantino (B9), Mararu (B10), Pérola do Maicá (B11), Santana (B12), Interventoria (B13) e Maicá (B14). A partir da delimitação, pode-se obter a disposição, bem como a abrangência dos sete bairros que estão na calha do igarapé (B1–B7), com área de abrangência estimada em 14,66 km<sup>2</sup>, constituindo o foco do estudo.

Observa-se que o bairro Vigia possui maior área (5,40 km<sup>2</sup>). Além disso, a maior extensão do curso do igarapé perpassa esse bairro, seguido pelos bairros Área Verde (9,20%) e Santo André (7,68%) (Tabela 2).

Figura 3 - Santarém (PA): Delimitação da microbacia hidrográfica do igarapé Urumari, 2019.



Elaboração - Os autores (2019). Fonte - Prefeitura Municipal de Santarém (delimitação de bairros).

Tabela 2 - Santarém (PA): Área e abrangência dos bairros da calha do igarapé do Urumari, 2019.

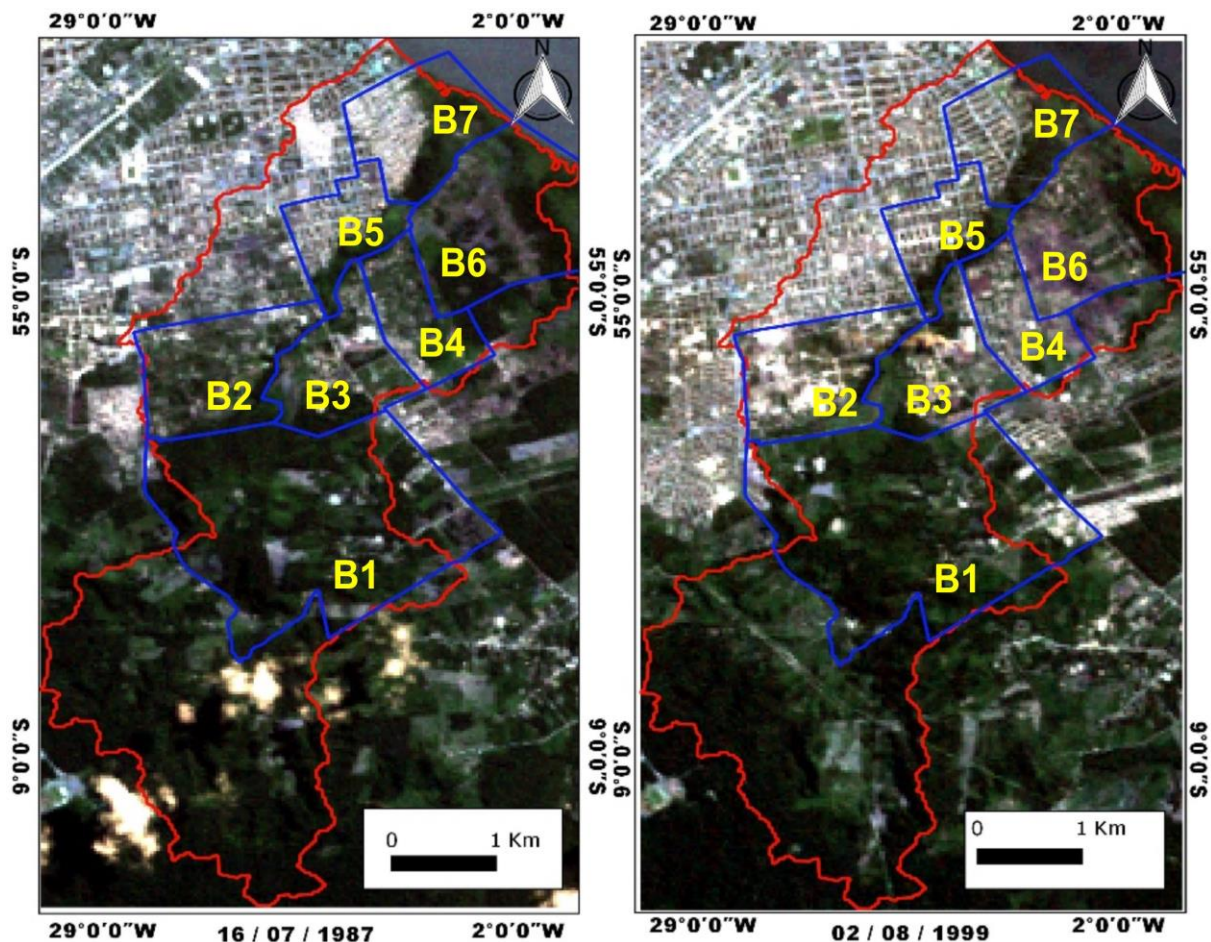
BAIROS	ÁREA DO BAIRRO (km <sup>2</sup> )	ABRANGÊNCIA DA ÁREA DOS BAIROS NA MICROBACIA (%)
Vigia	5,40	18,80
Área Verde	2,63	9,20
Urumari	1,43	6,17
Santo André	1,72	7,68
Uruará	1,50	5,90
Jutai	1,01	4,49
São José Operário	0,98	4,40
<b>TOTAL</b>	<b>14,66</b>	<b>56,64</b>

Elaboração - Os autores.

### Análise do histórico de evolução da microbacia

A microbacia (Figura 4, destacada em vermelho) estende-se na zona urbana da cidade de Santarém e, no decorrer das décadas, vem sofrendo constantes mudanças, principalmente ao longo do corpo hídrico Urumari, que se estende por sete bairros (B1–B7, Figura 4, destacados em azul). O histórico de mudanças no uso e na ocupação da microbacia está intimamente ligado à dinâmica do processo de expansão urbana do município de Santarém, desde a década de 1960 (OLIVEIRA, 2008).

Figura 4 - Santarém (PA): Evolução da cobertura da microbacia do igarapé do Urumari entre os anos 1987 e 1999.



Elaboração - Os autores (2019). Fonte - Prefeitura Municipal de Santarém (delimitação de bairros).

O bairro B1, onde está localizada a serra Saubal, apresentou baixa degradação antrópica, quando analisada a linha temporal de 12 anos (1987–1999) (Figura 4). Essa região, além de apresentar vegetação mais densa, ainda se encontrava mais distante do centro da cidade de Santarém, o que pode ter contribuído para maior conservação do ambiente natural, tendo em vista a dificuldade de acesso e, portanto, menor influência antrópica.

Por volta das décadas de 1970 e 1980, a cidade de Santarém recebia um número crescente de imigrantes advindos de outros municípios e regiões do Brasil (FERNANDES, 2004). No decorrer desse período de 12 anos, a região começou a ser demarcada em lotes, conforme relatos informais de moradores mais antigos do local. Com essa demarcação e a conseqüente venda dos lotes, a vegetação nativa foi sendo cada vez mais degradada, chegando a ficar com solo totalmente exposto, conforme verifica-se na região B2 (Figura 4, cor branca).

Além disso, a Prefeitura Municipal de Santarém, no ano de 1993, utilizava-se de vasta área para o depósito de lixo. Mas, mesmo antes disso, havia extração de recursos naturais destinados a vários segmentos da construção civil. Segundo relatos de moradores mais antigos, a área localizada próximo à margem do igarapé do Urumari, na década de 1980, era utilizada para a criação de gado, que se alimentava da vegetação local, composta por pastagem.

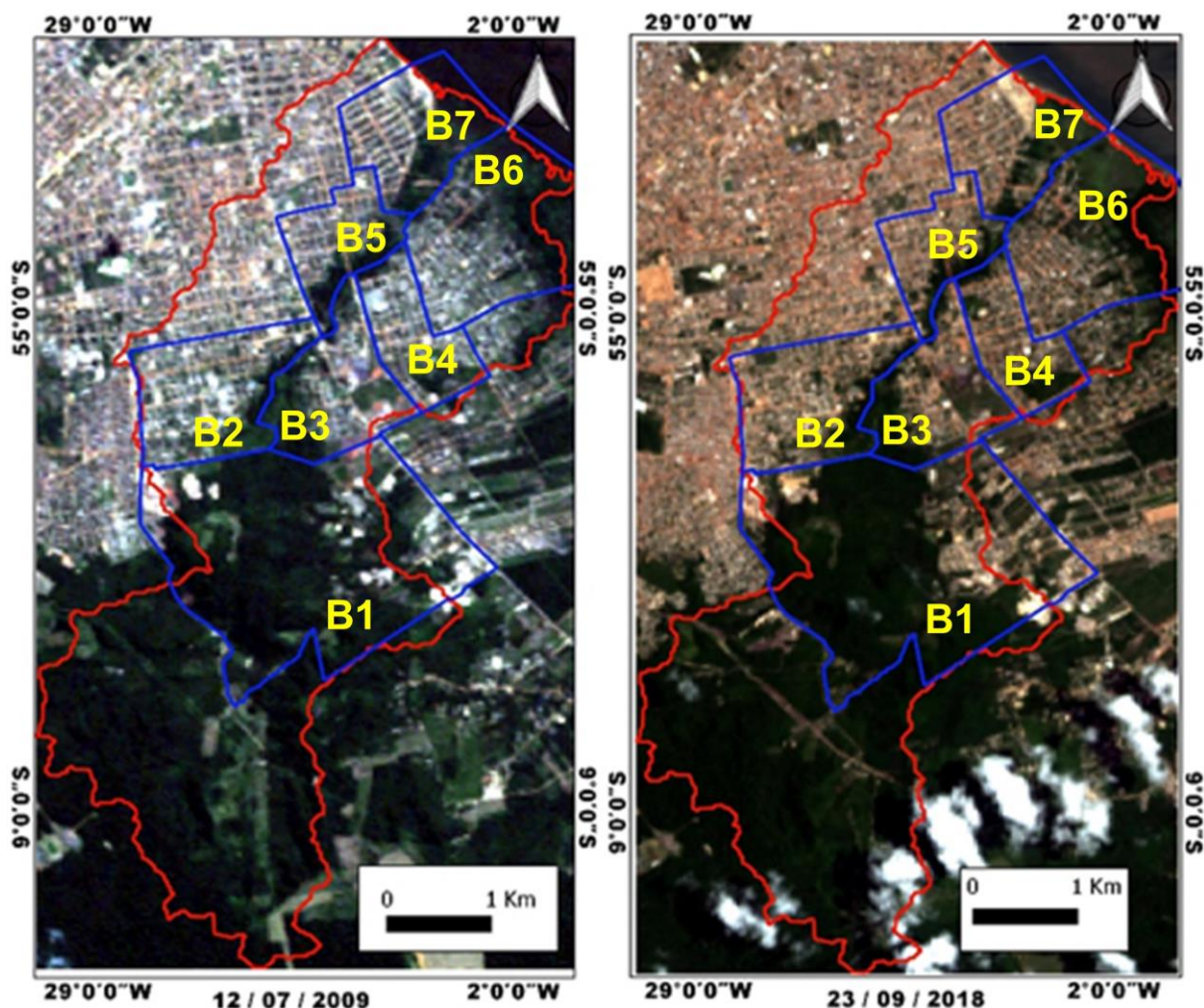
A região B3 também era utilizada para a criação de gado, pois, o local mais apropriado para pastagem era na confluência do igarapé, a partir dos bairros B1 e B2, conforme carta-imagem da década de 1980, onde se nota área com vegetação menos densa (Figura 4). Na seqüência, as ocupações espontâneas foram surgindo em decorrência da construção da rodovia PA-370, Santarém–Curuá-Una.



A região B4 desenvolveu-se e, conseqüentemente, sofreu degradação da vegetação, com a construção da Avenida Dom Frederico Costa, o que contribuiu para a migração de ocupações espontâneas no sentido leste da avenida. A região B5 teve crescimento contido, segundo relatos de moradores mais antigos, em virtude das águas do igarapé Urumari percorrer vários metros além da margem principal, ou seja, quando o igarapé alcançava o nível de cheia e ia além da calha principal, inviabilizando a construção de residências. O processo de ocupação espontânea na região B6 ainda estava no início, na década de 1980, de forma mais lenta em razão da área localizar-se mais distante de ruas e avenidas. Nessa região havia vegetação similar a cerrado e campestre. Já a área B7, no período de 12 anos, teve baixo crescimento pelo fato de, ao leste e ao sul, o igarapé Urumari servir como barreira à ocupação espontânea.

No histórico de evolução da ocupação da microbacia, nota-se maior intensidade da ocupação espontânea entre os anos de 1999 e 2009 na região B6 (Figura 5). Esse processo intensificou-se após a abertura de novas ruas, tais como Marcílio Dias, Beija-Flor, Maringá e Niterói, corredores viáveis para o processo de expansão urbana.

Figura 5 - Santarém (PA): Evolução da microbacia do igarapé do Urumari entre os anos 2009 e 2018.

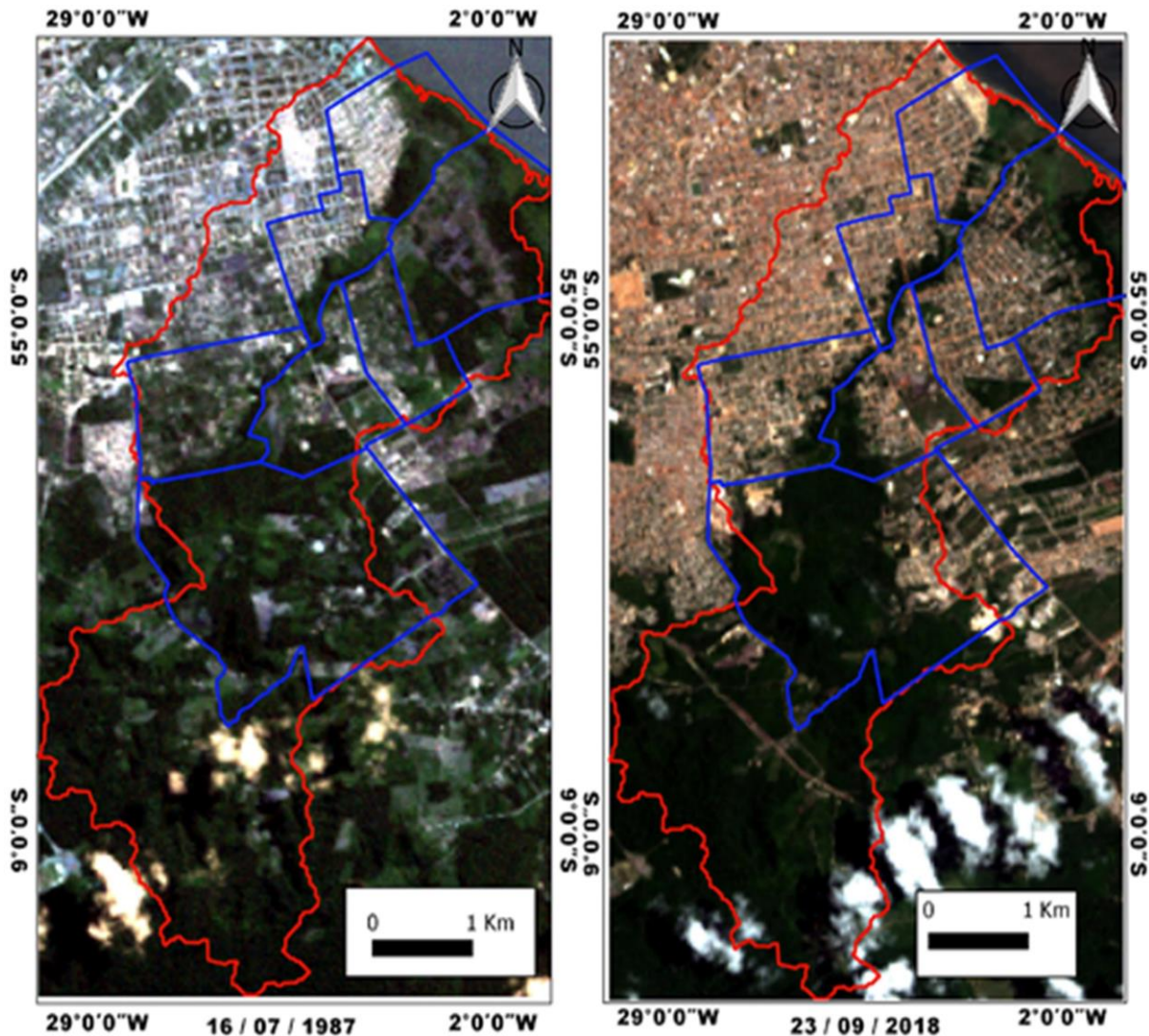


Elaboração - Os autores (2019). Fonte - Prefeitura Municipal de Santarém (delimitação de bairros).

Levando-se em consideração a primeira carta-imagem (Figura 6), no final da década de 1980, a área da microbacia do Urumari apresentava regiões em processo de ocupação espontânea. A vegetação densa, exibida na cor verde-escuro e circundada por áreas em verde-claro, onde existia vegetação similar a

cerrado, campestre e gramíneas, ocupava grandes extensões na microbacia (Figura 6). Com o decorrer dos 31 anos, pode-se observar o avanço da área urbana sobre a área da microbacia, além do adensamento de edificações em áreas já consolidadas (Figura 6).

Figura 6 - Santarém (PA): Evolução da microbacia do igarapé do Urumari entre os anos 1987 e 2018.



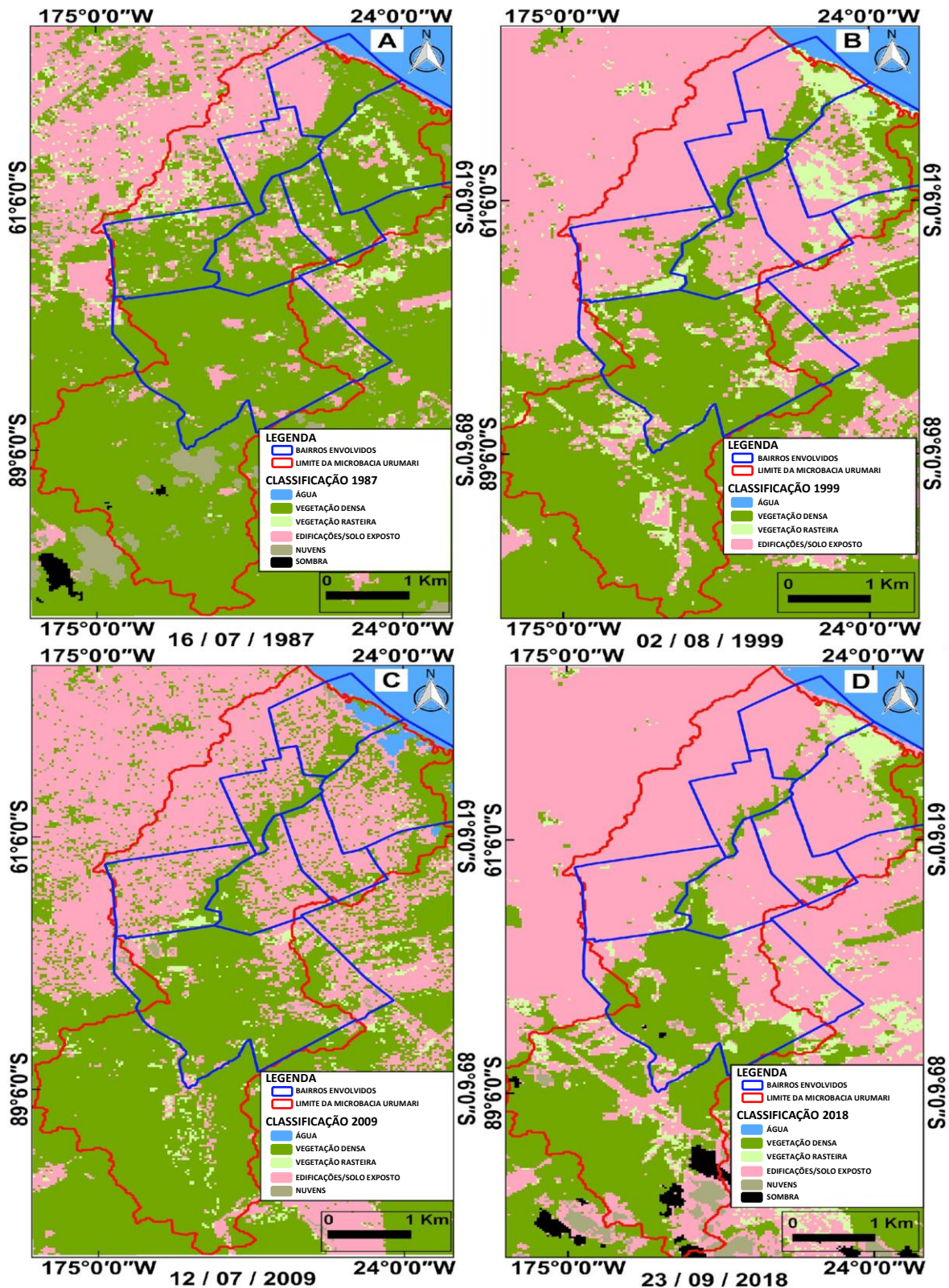
Elaboração - Os autores (2019). Fonte - Prefeitura Municipal de Santarém (delimitação de bairros).

Nos dias atuais, a demanda por moradia só tende a crescer, pois a população estimada no ano de 2020, segundo dados do IBGE, é de 306.480 pessoas, acima daquela estimada para 2010, que foi de 294.580 pessoas (IBGE, [2017]). Essa intensidade no crescimento populacional mostra-se distribuída em todas as regiões que fazem parte da microbacia apresentada nesse estudo.

#### ***Delimitação das classes do uso da terra da microbacia do Urumari***

No processo de classificação supervisionada a qual abrange visita *in loco* a pontos estratégicos do curso principal do igarapé do Urumari, utilizando-se o conjunto de dados “treinamento”, foram obtidas quatro cartas classificadas (Figura 7) com o algoritmo MaxVer, referentes à linha temporal de 1987 a 2018. O uso do solo foi identificado e diferenciado em seis classificações: água, vegetação densa, vegetação rasteira, áreas edificadas/solo exposto, nuvens e sombras de nuvens.

Figura 7 - Santarém (PA): Carta de uso e ocupação do solo de toda a microbacia do igarapé do Urumari, entre os anos 1987 a 1999 e 2009 a 2018.



Elaboração - Os autores (2019). Fonte - Prefeitura Municipal de Santarém (delimitação de bairros).

No tracejado em vermelho, apresenta-se a delimitação da bacia Urumari e no tracejado em azul, seus respectivos bairros (Figura 7). Nas cartas-imagem A, B, C e D, ao norte, a primeira classificação refere-se

à água do rio e, ao sul, nas cartas A, C e D, nas cores cinza e preto, referem-se a nuvens e sombras. Essas classificações são relevantes para este estudo, com isso, serão tratadas como classificações desprezadas.

A classe em verde escuro representa a vegetação densa que sofreu constantes alterações na paisagem ao longo dos anos (Figura 7). Segundo a Embrapa (1983), essa vegetação mais densa tem características de floresta equatorial higrófila de várzea e campos equatoriais higrófilos de várzeas, nas áreas sujeitas à inundação. A classe em verde claro representa a vegetação rasteira e apresenta-se em vários pontos ao longo da região foco do estudo. Essa vegetação tem características de floresta equatorial subperenifolia e cerrado equatorial subperenifólio, na terra firme (EMBRAPA, 1983). Esses quatro tipos de ambiente vêm sofrendo mudanças consideráveis ao longo da linha temporal de 31 anos.

Por fim, a classe em rosa refere-se às áreas edificadas, incluindo solo exposto (Figura 7). Nessa classe, o algoritmo de classificação não consegue diferenciar com precisão entre residências e ruas pelo fato de as imagens analisadas possuírem resolução espacial de 30 metros. Com isso, os pixels analisados apresentam-se muito semelhantes, juntando-as, assim, em uma única classe. No decorrer de 31 anos, a presença dessa categoria é considerável, pois o avanço da ocupação sem planejamento e sem observar a legislação ocasiona a supressão da mata ciliar que envolve o igarapé do Urumari. A mata ciliar ocorre ao longo dos cursos d'água e tem a função de evitar processos erosivos, bem como o assoreamento de cursos hidrológicos (PRIMO e VAZ, 2006). Inconformidades no que se refere à legislação ambiental também foram observadas em estudos como o de Alves et al. (2018), para a bacia do Ribeirão das Abóboras, em Rio Verde (GO).

O igarapé do Urumari é um corpo hídrico que, além de estar atualmente dentro da zona de expansão da cidade de Santarém, localiza-se no centro da bacia hidrográfica. Além disso, está sujeito a várias intempéries climáticas, como inundações repentinas, pois, em fortes chuvas, a água de todos os bairros carrega por esse único caminho, causando transtorno para famílias que ocupam áreas cada vez mais próximas às margens do igarapé.

Na região onde se nota maior concentração de vegetação densa (cartas C e D), no processo de expansão urbana intensificou-se nos últimos nove anos e cresce a cada dia com ocupações avançando nos arredores da serra Saubal.

### ***Resultado do índice Kappa para as cartas-imagem***

O conjunto de dados ROI observados tenderam a valores de precisão geral, bem como valores de Kappa satisfatórios, conforme Landis e Koch (1977), para as quatro imagens classificadas (Figura 8), sendo possível gerar as cartas-imagem do limite total dos bairros, que compreende 14,66 km<sup>2</sup>.

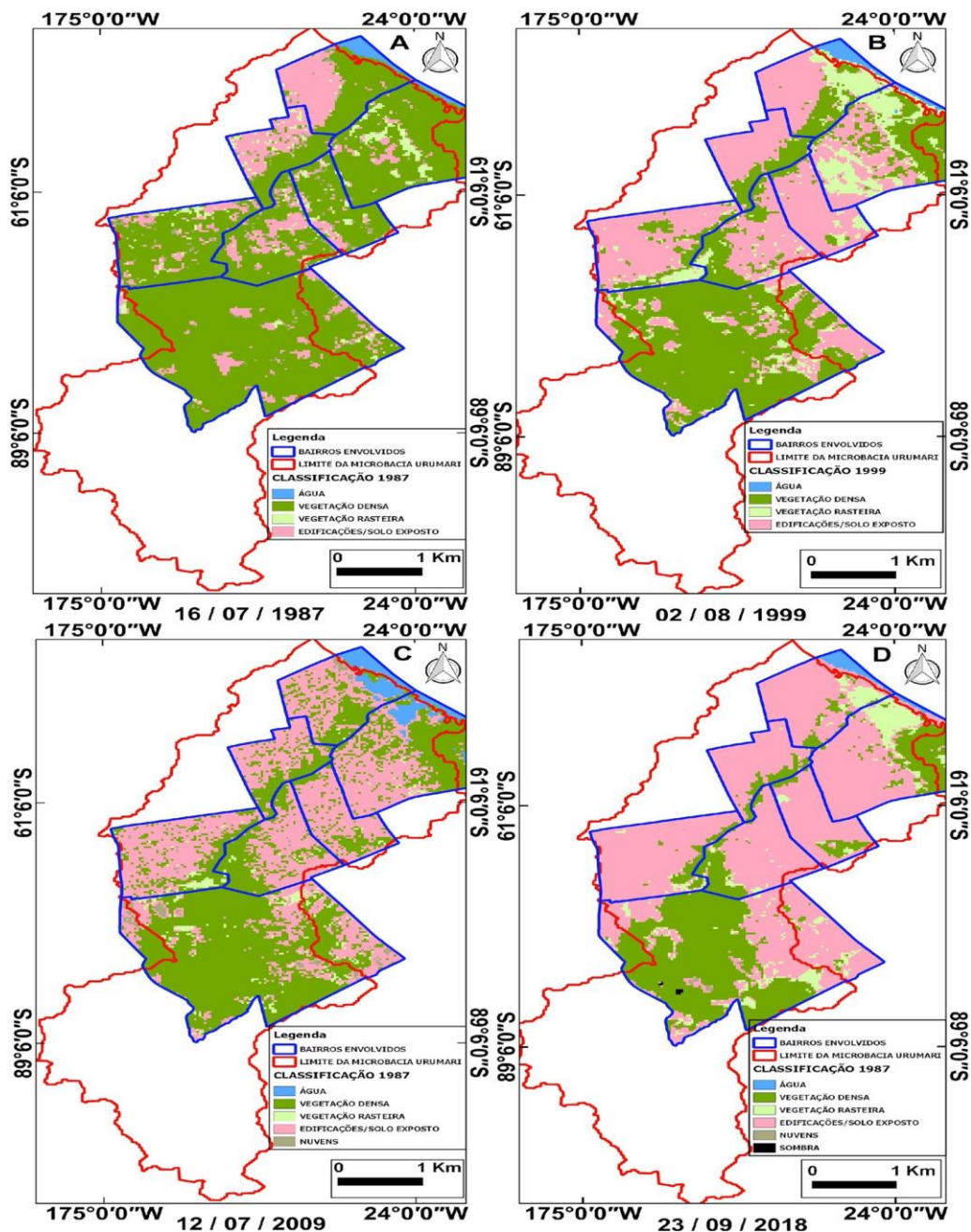
Na classificação da carta-imagem A para o ano de 1987, o índice de exatidão geral, que tem relação direta com a quantidade de amostras adquiridas de uma determinada classe, foi de 76,27% e o índice Kappa maior que 0,99, considerado muito bom para todas as classes investigadas para esse ano. Já para as classificações apresentadas na carta-imagem B, no ano de 1999, a exatidão global foi de 65,89% e índice Kappa superior a 0,91. Ao efetuar a classificação para o ano de 2009, na carta-imagem C, o índice de exatidão foi de 93,25% e Kappa maior que 0,77, considerado bom. E, por fim, a classificação do ano de 2018 na carta-imagem D apresentou o menor percentual na quantidade de amostras (43,11%), contudo, obteve índice Kappa superior a 0,98, permanecendo dentro da faixa de excelente classificação.

Todos esses dados apresentados serviram para reforçar ainda mais a confiabilidade na interpretação das imagens que retratam vários eventos ocorridos ao longo da linha temporal de 31 anos, inclusive, dando suporte para comparar o percentual das classificações.

### ***Cálculo e comparativo das classificações estimadas por ano***

Com os resultados dos índices Kappa já descritos, foi possível efetuar, por meio do pós-processamento utilizando a matriz de covariância, o cálculo do percentual de abrangência de cada classe (Figura 8) identificada.

Figura 8 - Santarém (PA): Carta-imagem da classificação dos bairros do igarapé do Urumari, entre os anos 1987 a 1999 e 2009 a 2018.



Elaboração - Os autores (2019). Fonte - Prefeitura Municipal de Santarém (delimitação de bairros).

Levando-se em consideração as características apresentadas nas cartas acima (A–D), foi possível gerar a Tabela 3 em termos percentuais e confrontar o envolvimento de cada classe dentro da linha temporal de 31 anos. Vale ressaltar que, no total de cada imagem classificada, foi desprezado o percentual de nuvens, sombras e água, contudo, foi colocado na referida tabela a título de melhor entendimento.

A classe vegetação densa, em termos percentuais, destacou-se no ano de 1987, conforme carta-imagem A, em 76,93% da área total em estudo (14,66 km<sup>2</sup>). Em relação à perda de vegetação comparada ao ano de 1999, a diferença foi de 32,46%, no intervalo de 12 anos, sendo esse o período de maior perda de vegetação densa registrado. Observou-se também que, entre os anos de 1999 e 2009, houve um leve ganho na vegetação densa (5,04%). Esse crescimento da vegetação no período de 10 anos pode estar relacionado ao plantio de espécies arbóreas de grande porte, tais como mangueira, abacateiro, jameiro, dentre outras, em vários pontos da cidade, pela própria população. Já no período compreendido entre 2009 e 2018, esse percentual de perda voltou a crescer, chegando a 20,11%.

Tabela 3 - Santarém (PA): Classes de uso e cobertura do solo, cálculo de classes dos bairros da microbacia Urumari, entre os anos de 1987 e 2018.

<b>CLASSES</b>	<b>1987</b>	<b>1999</b>	<b>2009</b>	<b>2018</b>
Áreas edificadas/Solo exposto (%)	16,14	41,63	42,08	61,98
Vegetação densa (%)	79,93	44,47	49,95	29,84
Vegetação rasteira (%)	3,58	12,58	2,48	6,88
Classificações desprezadas (%)	3,35	1,32	5,49	1,30
<b>TOTAL (%)</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

Elaboração - Os autores.

A classe vegetação rasteira tinha percentual de 3,58%, sendo uma parte mais homogênea ao norte, em decorrência dessa área apresentar características de várzea, conforme carta-imagem A no ano de 1987 (Figura 8). Tendo esse percentual como base e levando em consideração a diminuição da vegetação densa, ao comparar esse dado com o ano de 1999, foi possível perceber que a classe vegetação rasteira aumentou para 12,58% no período de 12 anos, sendo distribuída mais heterogeneamente ao longo da bacia. Tendo ainda como referência o ano de 1999, comparado com 2009, houve diminuição do percentual em 10,1%. Essa diminuição considerável da vegetação rasteira relaciona-se com o processo de ocupação do solo no período estudado. Já para o ano de 2018, essa classe teve um leve ganho, cerca de 4,4%, quando comparado ao ano de 2009. Esse percentual de ganho na vegetação rasteira pode ter ocorrido pelo fato de áreas consideradas como solo exposto terem sido plantadas com algum tipo de vegetação ou devido à vegetação densa ter sido suprimida, dando lugar à rasteira.

Por fim, ao analisar a classe áreas edificadas/solo exposto, carta-imagem A (Figura 8), observa-se que, no ano de 1987, o percentual da referida classe era de 16,14%, distribuída em toda a região de estudo. Quando o dado é comparado com o ano de 1999, percebe-se aumento do percentual para 44,47%, ou seja, crescimento de 25,49% em 12 anos, sendo esse o maior registro de crescimento da classe áreas edificadas ou solo exposto, conforme ilustrado na carta-imagem B (Figura 8). O crescimento menos expressivo dessa classe foi observado no decorrer de 10 anos, intervalo entre 1999 e 2009, apresentando 0,45% de crescimento, conforme mostram as cartas imagem B e C (Figura 8). Relacionando o ano de 2009, que contém o percentual de 42,08%, com o ano de 2018, vê-se que a diferença entre os dois percentuais referentes à classe áreas edificadas ou solo exposto continuou crescendo, com uma diferença novamente considerável de 19,9% no decorrer de nove anos.

A perda de vegetação nativa, especialmente, é uma das consequências de modelos de desenvolvimento que desconsideram o equilíbrio ambiental e a sustentabilidade, como observado não só na região amazônica, mas também em áreas como o cerrado (ALVES et al., 2020).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer da linha temporal estudada, é possível inferir que o adensamento populacional se destaca, diminuindo o quantitativo de nascentes, córregos e mata ciliar como consequência do crescimento populacional. O igarapé do Urumari é o único corredor de vazão das águas pluviométricas, mas enfrenta problemas socioambientais e territoriais, como urbanização desordenada, mudança climática, desmatamento e degradação do solo.

O uso do software QGIS, com a ferramenta SCP, que utiliza o algoritmo MaxVer, mostrou-se eficaz ao processar as informações fornecidas, tais como áreas edificadas/solo exposto, vegetação densa e vegetação rasteira, no que tange às dinâmicas das mudanças de uso e cobertura do solo na microbacia do igarapé do Urumari entre os anos de 1987 e 2018.

Pode-se concluir que o ambiente estudado sofreu severa intervenção antrópica nos últimos 31 anos, com destaque para a supressão de mais da metade da vegetação densa existente em 1987, dando lugar a áreas edificadas ou solo exposto, que praticamente triplicaram, quando os dados são comparados com 2018. O estudo indica que houve mudanças ambientais importantes do ambiente nos últimos 31 anos e pode servir como subsídio ao poder público para elaborar políticas públicas locais, bem como para planejar e ordenar o crescimento urbano naquela região. Recomenda-se que pesquisas futuras investiguem o impacto para a região se a supressão da vegetação continuar no ritmo apresentado neste

estudo, por meio de análise de tendência ou modelagem, como o uso do modelo Dinâmica EGO, o qual permite analisar uso e cobertura da terra em cenários futuros.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, W. S.; MARTINS, A. P.; SCOPEL, I. Uso da terra e cobertura vegetal na bacia do Ribeirão das Abóboras, em Rio Verde (GO), entre os anos de 1985 e 2015. **Caminhos de Geografia**, v. 19, n. 65, p. 125–145, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/RCG196510>
- ALVES, W. S.; MARTINS, A. P.; SCOPEL, I. Análise da evolução temporal do uso e cobertura da terra na bacia do Ribeirão da Laje, no sudoeste de Goiás, de 1987 a 2017. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 74, p. 1–20, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG217442492>
- BOLSTAD, P. V. Rule-based classification models: flexible integration of satellite imagery and thematic spatial data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 58, n. 7, p. 956–971, 1992.
- BRITO, E. M.; MELLO, K.; COSTA, D. R.; FARIA, L. C.; VALENTE, R. A. Geotecnologias aplicadas ao estudo do conflito de uso do solo visando o planejamento ambiental. **Irriga**, v. 21, n. 3, p. 577, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n3p577-590>
- CAIXETA, D. M. Mapeamento, identificação e monitoramento das áreas de proteção permanente ao longo do Ribeirão Anicuns no município de Goiânia – GO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2009, Natal. **Anais [...]**. Natal: INPE, p. 617-622, 2009.
- CARLOS, A. F. A. O meio ambiente urbano e o discurso ecológico. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 75–78, 1994. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0007>
- CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 37, n. 1, p. 35–46, 1991. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- CONGEDO, L. **Semi-automatic classification plugin documentation release 4.8.0.1**. 2016. Disponível em: <https://media.readthedocs.org/pdf/semiautomaticclassificationmanual-v4/latest/semiautomaticclassificationmanual-v4.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2017.
- COSTA JÚNIOR, W. R.; NOGUEIRA, A. R. B. A requalificação ambiental dos igarapés de Manaus (2005–2008): um *continuum* das políticas de urbanização do século XIX? **Cadernos de Pesquisa do CDHIS**, v. 24, n. 1, p. 105–123, 2011. DOI: <https://doi.org/10.14393/cdhis.v24i1.14090>
- CRUZ, S. **Plano diretor de solos: uso correto e inteligente da terra e da água**. Santa Maria: Mediterrâneo Propaganda, 1998.
- DIAS, J. E.; GOMES, O. V. O.; REZENDE, A. S.; SALLES, R. R.; GÓES, M. H. Áreas críticas de erosão do solo no município de Volta Redonda – RJ. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 16, p. 235–241, 2005.
- DWIVEDI, R. S. The utility of data from various airborne sensors for soil mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v. 6, n. 1, p. 89–100, 1985. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431168508948426>
- EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras da área do polo Tapajós**. Rio de Janeiro: Embrapa; SNLCS, 1983.
- FERNANDES, D. L. **Na trilha do lixo**. Santarém: Instituto Cultural Boanerges Sena, 2004.
- FERREIRA, S. J. F.; PINEL, S.; RÍOS-VILLAMIZAR, E. A.; MIRANDA, S. A. F.; PASCOALOTO, D.; VITAL, A. R. T.; MONTEIRO, M. T. F.; SILVA, M. S. R.; CUNHA, T. R. B.; SANTOS, A. S.; BENDER, S.; CUNHA, H. B. Impact of rapid urbanization on stream water quality in the Brazilian Amazon. **Environmental Earth Sciences**, v. 80, Article 316, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09621-7>
- FISHER, P.; UNWIN, D. J. Re-presenting geographical information systems. In: FISHER, P.; UNWIN, D. J. (ed.). **Re-presenting GIS**. Londres: John Wiley & Sons, 2005. p. 1–13.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- IBGE. **Brasil/Pará/Santarém: população**. Brasília: IBGE, [2017]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santarem/panorama>. Acesso em: 7 jul. 2021.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159–174, 1977. DOI: <https://doi.org/10.2307/2529310>
- LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

- LIGTVOET, W.; BOUWMAN, A.; KNOOP, J.; DE BRUIN, S.; NABIELEK, K.; HUITZING, H.; JANSE, J.; VAN MINNE, J.; GERNAAT, D.; VAN PUIJENBROEK, P.; DE RUITER, J.; VISSER, H. **The geography of future water challenges**. The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2018. Disponível em: [https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2018-the-geography-of-future-water-challenges-2920\\_2.pdf](https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2018-the-geography-of-future-water-challenges-2920_2.pdf). Acesso em: 26 fev. 2021.
- LONGLEY, P. A.; MICHAEL, F. G.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. **Geographical information systems and science**. 3. ed. Chichester: American Geographical Society, 2011. v. 4.
- LOWE-MCCONNELL, R. H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. São Paulo: Edusp, 1999.
- NOGUEIRA, A. C. F.; SANSON, F.; PESSOA, K. A expansão urbana e demográfica da cidade de Manaus e seus impactos ambientais. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: INPE, p. 5.427–5.434, 2007.
- OLIVEIRA, A. P. G.; MIOTO, C. L.; PARANHOS FILHO, A. C.; GAMARRA, R. M.; RIBEIRO, A. A.; MELOTTO, A. M. Uso de geotecnologias para o estabelecimento de áreas para corredores de biodiversidade. **Revista Árvore**, v. 39, n. 4, p. 595–602, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000400001>
- OLIVEIRA, J. M. G. C. Expansão urbana e periferação de Santarém–PA, Brasil: questões para o planejamento urbano. *In*: COLÓQUIO INTERNACIONAL DE GEOCRÍTICA, 10., 2008, Barcelona. **Anais [...]**. Barcelona: Universitat de Barcelona, 2008.
- PIMENTEL, D. R.; MELO, S. Proteção ambiental no igarapé do Urumari, cidade de Santarém, Pará, Brasil. **Em Foco**, ano 11, n. 22, p. 7–13, 2014.
- PRIMO, D. C.; VAZ, L. M. S. Degradação e perturbação ambiental em matas ciliares: estudo de caso do rio Itapicuru-Açu em Ponto Novo e Filadélfia, Bahia. **Diálogos & Ciência**, v. 7, p. 1–11, 2006.
- RIBEIRO, F. L. Unplanned urban development: a neglected global threat. **Current Urban Studies**, v. 9, n. 3, 434–444, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4236/cus.2021.93027>
- RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis**. 4. ed. Berlin: Springer Verlag, 2006.
- RICO, A.; OLIVEIRA, R.; NUNES, G. S.S.; RIZZI, C.; VILLA, S.; VIZIOLI, B. C.; MONTAGNER, C. C.; WAICHMAN, A. V. Ecological risk assessment of pesticides in urban streams of the Brazilian Amazon. **Chemosphere**, v. 291, p. 1, 132821, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132821>.
- SANTARÉM. **Lei no 18.715 de 29 de agosto 2011. Lei de Criação da Área de Proteção Ambiental (APA) Saubal**. Santarém: Prefeitura Municipal de Santarém, 2011.
- SANTOS, M. **Técnica, espaço, tempo**: globalização e meio técnico-científico informacional. São Paulo: Hucitec, 1994.
- SANTOS, M.; SILVEIRA, M. L. **O Brasil**: território e sociedade no início do século XXI. São Paulo: Record, 2001.
- SHERMAN, G.; SUTTON, T.; BLAZEK, R.; HALASZ, S.; HUGENTOBLE, M. **QGIS 2.18.26**. Geographic information system developers manual. Las Palmas: QGIS Association, 2017. Disponível em: [http://docs.qgis.org/3CVERSÃO%3E/en/docs/user\\_manual/](http://docs.qgis.org/3CVERSÃO%3E/en/docs/user_manual/). Acesso em: 17 ago. 2017.
- SILVA, A. S. **Uso potencial das terras no município de Catalão (GO)**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.
- SILVA, M. S. **Sistemas de informações geográficas**: elementos para o desenvolvimento de bibliotecas digitais geográficas distribuídas. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências da Informação) – Faculdade de Filosofia e Ciências, Universidade Paulista, Marília, 2006.
- SOMBRA, R. N. **Fundamentos de história e geografia do Amazonas**. Manaus: Prisma, 1996.
- WEISMILLER, R. A.; PERSINGER, I. D.; MONTGOMERY, O. L. Soil inventory from digital analysis of satellite scanner and topographic data. **Soil Science Society of America Journal**, v. 41, n. 6, p. 1166–1170, 1977. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1977.03615995004100060031x>

Recebido em: 09/07/2021

Aceito para publicação em: 29/03/2021