

ANÁLISE MULTITEMPORAL DO USO E COBERTURA DA TERRA EM SANTO ANTÔNIO DO TAUÁ/PARÁ

Glênea Rafaela de Souza Costa¹

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

rafaelacosta91@yahoo.com.br

Milena Marília Nogueira de Andrade²

Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

milenamaria@yahoo.com.br

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Glênea Rafaela de Souza Costa y Milena Marília Nogueira de Andrade (2020): "Análise multitemporal do uso e cobertura da terra em Santo Antônio do TAUÁ/PARÁ", Revista DELOS, Vol 13 Nº 37 (diciembre 2020). En línea:

<https://www.eumed.net/es/revistas/delos/vol-13-no-37-diciembre-2020/uso-cobertura-terra>

RESUMO

O objetivo do trabalho foi mapear e quantificar as classes do uso e cobertura da terra no município de Santo Antônio do Tauá/Pará (Brasil) nos anos de 1984, 1994, 2004 e 2018. A metodologia utilizada inclui técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Os dados orbitais foram adquiridos a partir do *download* gratuito das imagens do satélite Landsat 5 e 8 dos anos de 1984, 1994, 2004 e 2018. Inicialmente foram utilizadas técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI) para melhoramento de contraste e composição colorida. Posteriormente foi feita uma classificação supervisionada *pixel-a-pixel* através do método de máxima verossimilhança inserido em um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Realizou-se um trabalho de campo para validação e correção das oito classes determinadas, sendo elas: vegetação densa, vegetação não densa, área urbanizada, extração de areia, água, solo exposto, habitações rurais e estradas não pavimentadas. Nos resultados, observaram-se as mudanças ocorridas em cada classe, calculadas através de uma matriz de transição, e por fim, gerou-se um mapa temático do uso e cobertura da terra do município de Santo Antônio do Tauá/Pará. Destacam-se o aumento de área urbanizada, habitações rurais e extração de areia. Nesse sentido, ressalta-se a importância da identificação dos padrões de modificações para futuros estudos da área e a elaboração de programas que visem ao manejo adequado da terra e à conservação ambiental.

¹ Engenheira Ambiental e de Energias Renováveis. Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

² Professora Adjunta da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Doutora em Desenvolvimento Socioambiental.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, Classificação supervisionada, Matriz de transição, Áreas urbanas, Pará

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE USO Y COBERTURA DEL SUELO EM SANTO ANTÔNIO DO TAUÁ/PARÁ

RESUMEN

El objetivo del trabajo fue mapear y cuantificar las clases de uso y cobertura del suelo en el municipio de Santo Antônio do Tauá / Pará (Brasil) en los años 1984, 1994, 2004 y 2018. Una metodología utilizada incluye geoprocésamiento y teledetección. Los datos orbitales se obtuvieron de la descarga gratuita de las imágenes de satélite Landsat 5 y 8 de los años 1984, 1994, 2004 y 2018. Inicialmente, se utilizaron técnicas de Procesamiento de Imágenes Digitales (PID) para mejorar el contraste y la composición del color. Posteriormente, se realizó una clasificación supervisada píxel a píxel utilizando el método de máxima verosimilitud insertado en un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se realizó un trabajo de campo para validar y corregir las ocho clases determinadas, a saber: vegetación densa, vegetación no densa, área urbanizada, extracción de arena, agua, exposición del suelo, viviendas rurales y caminos sin pavimentar. En los resultados se observaron los cambios ocurridos en cada clase, calculados a través de una matriz de transición, y finalmente se generó un mapa temático de uso del suelo y cobertura del suelo en el municipio de Santo Antônio do Tauá / Pará. Hubo particularmente el incremento en el área urbanizada, vivienda rural y extracción de arena. En este sentido, se enfatiza la importancia de identificar los patrones de modificación para futuros estudios del área y la elaboración de programas que apunten al adecuado manejo del territorio y la conservación ambiental.

Palabras clave: Teledetección, Clasificación supervisada, Matriz de transición, Areas urbanas, Pará

MULTITEMPORAL ANALYSIS OF LAND USE AND LAND COVER IN SANTO ANTÔNIO DO TAUÁ/PARÁ

ABSTRACT

This work aimed to map and quantify the classes of land use and cover in the municipality of Santo Antônio do Tauá / Pará (Brazil) in the years 1984, 1994, 2004, and 2018. The methodology used includes geoprocessing and remote sensing techniques. The orbital data was acquired from the free download of Landsat 5 and 8 satellite images from the years 1984, 1994, 2004, and 2018. Initially, Digital Image Processing (DPI) techniques were used to improve contrast and color composition. Subsequently, a supervised pixel-by-pixel classification was performed using the maximum likelihood method inserted in a Geographic Information System (GIS). Field work was carried out to validate and correct the eight determined classes, which are: dense vegetation, non-dense vegetation, urbanized area, extraction of sand, water, exposed soil, rural dwellings, and unpaved roads. In the results, the

changes that occurred in each class were observed, calculated through a transition matrix, and finally, a thematic map of land use and land cover in the municipality of Santo Antônio do Tauá / Pará was generated. We highlight the increase in an urbanized area, rural housing, and sand extraction. In this sense, the importance of identifying the modification patterns for future studies of the area and the elaboration of programs that aim at the adequate management of the land and environmental conservation is emphasized.

Keywords: Remote sensing, Supervised classification, Transition matrix, Urban areas, Pará.

1. INTRODUÇÃO

A utilização do geoprocessamento está diretamente ligada à espacialização de informações e dados da superfície terrestre. Destacam-se o Sensoriamento Remoto (SR), o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o Processamento Digital de Imagens (PDI) para caracterização do uso e cobertura da terra (Rosa, 2005; Souza, 2017). Esta informação é sintetizada com o mapeamento de classes que indicam a distribuição espacial de diferentes tipologias identificadas pelos padrões homogêneos característicos na superfície terrestre através de *softwares* dedicados exclusivamente para tratamento de imagens (Leite & Rosa, 2012; Sausen, 2010).

A modificação da superfície terrestre é visualizada por elementos geometricamente interpretados em imagens de satélite. Em áreas urbanas o padrão geométrico é utilizado para reconhecimento e delimitação de áreas. O crescimento urbano é responsável por grandes alterações na forma como a terra é usada e ocupada (Briassoulis, 2000).

A densidade demográfica e concentração das cidades no Estado do Pará, é maior na mesorregião Metropolitana de Belém (11 municípios) que possui 2.729.411 habitantes (IBGE, 2020). Esse processo de municipalização foi intensificado nas décadas de 1960 e 1970 quando houve a criação de municípios a partir dos Planos de Integração Nacional (Cidade-Brasil, 2019; Trindade Júnior, 2016) . Inserido nessa mesorregião, está o município de Santo Antônio do Tauá.

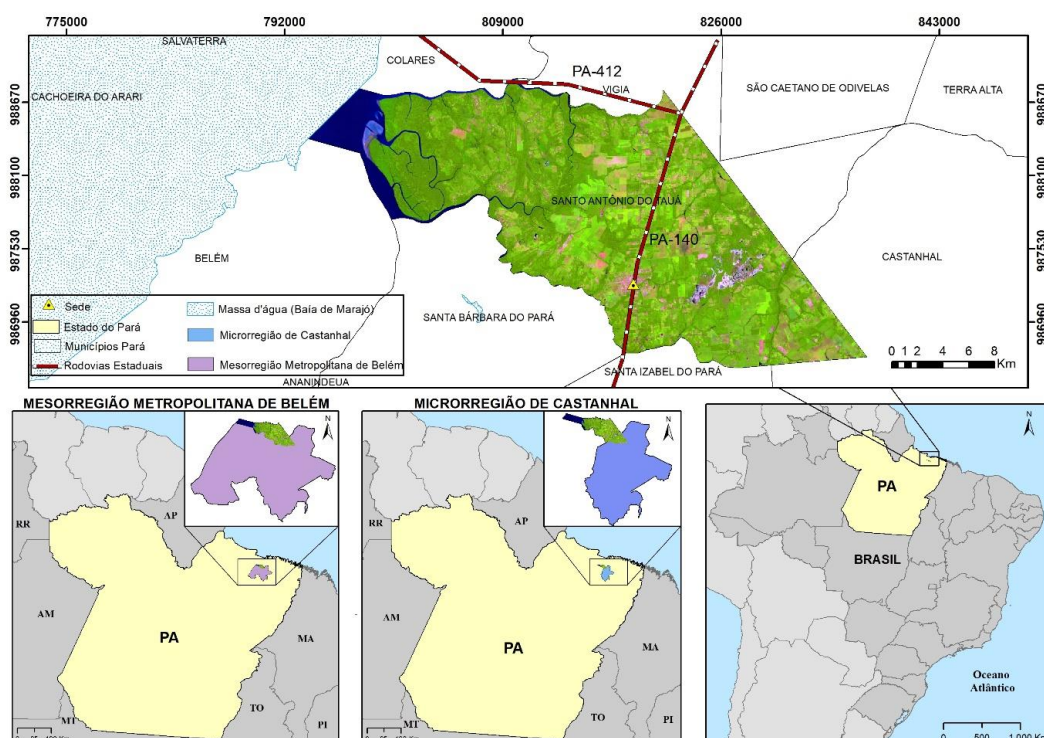
A ocupação inicial de Santo Antônio do Tauá ocorreu por meio dos rios, com a implantação da agricultura e com um engenho de açúcar, adquirindo a categoria de município em dezembro de 1961 (Lei Estadual nº2460), incentivando o expressivo crescimento urbano com o aumento populacional na sede do município após a emancipação (IBGE, 2017). Este município registrou um processo de alteração da cobertura vegetal original para a implantação de cultivos itinerantes de espécies agrícolas de subsistência (milho, arroz, feijão e mandioca); e atualmente tem como atividade local o agronegócio através da cultura do dendê e a extração de areia (Nascimento & Santos, 2017; Pinto, 2017). Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo mapear e quantificar as classes do uso e cobertura da terra do município de Santo Antônio do Tauá/Pará nos anos de 1984, 1994, 2004 e 2018.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde ao município de Santo Antônio do Tauá/Pará, inserido na mesorregião Metropolitana de Belém e na microrregião de Castanhal (Figura 1), abrangendo uma área de aproximadamente 538 km². A população estimada em 2020 foi de 31.918 pessoas e o município está distante da capital do Estado do Pará, Belém, cerca de 55 km por via rodoviária – BR-316 e PA-140 (IBGE, 2020).

Figura 1. Mapa de localização do Município de Santo Antônio do Tauá/PA.



Fonte: Elaborado pela autora (2019) a partir de dados do IBGE e imagem Landsat (2018) da base USGS.

2.2 Base de dados

Para a elaboração dos mapas referentes aos anos de 1984, 1994, 2004 e 2018, utilizaram-se as informações cartográficas em arquivos digitais no formato *shapefile* (.SHP) adquiridos da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados vetoriais após terem suas informações geográficas reprojetadas, foram recortados observando os limites da área de estudo.

As imagens dos satélites Landsat 5 (27/07/1984, 21/06/1994 e 09/09/2004) e 8 (07/06/2014) foram utilizadas para análise multitemporal e fornecidas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos - United States Geological Survey (USGS) com porcentagens de nuvens inferior a 3%. As cenas

utilizadas foram da órbita/ponto 223/61 e as imagens foram reprojctadas para o sistema de projeção UTM - SIRGAS 2000, fuso 22S, através da ferramenta *project raster* localizada no ArcToolbox.

2.3 Produção cartográfica

Essa etapa foi realizada em laboratório para a elaboração de mapas com auxílio do *software* ArcGIS10.5. Para análise quanto à identificação do uso e cobertura da terra, aplicaram-se às imagens técnicas de PDI de realce e composição colorida de imagens (Tabela 1). De acordo com Fonseca (2000), melhorar a análise e interpretação as imagens precisam passar por processos de realce do contraste. Rosa (2007) explica que o realce se refere à modificação de imagens para torná-las mais apropriadas às capacidades da visão humana. As técnicas de realce de imagens modificam, através de funções matemáticas, os níveis de cinza ou os valores digitais de uma imagem, destacando informações espectrais e melhorando a qualidade visual da imagem, e através disso, facilitam a sua interpretação.

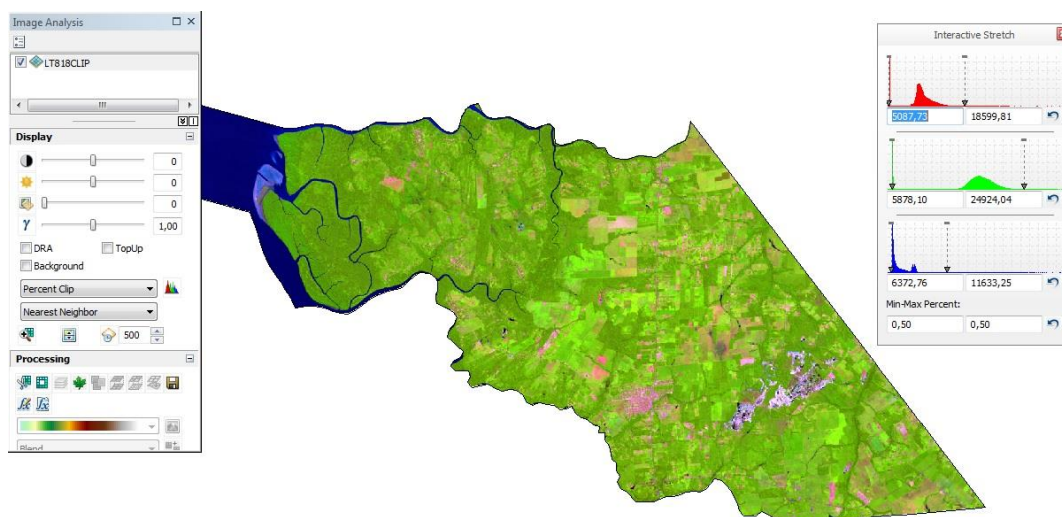
Tabela 1. Etapas de processamento de imagens

Etapa	Recurso Tecnológico
Realce de Imagens	Realce de contraste
	Transformações RGB
Análise de Imagens	Extrações de atributos
	Classificação supervisionada

Fonte: Alves (2017)

O realce de contraste aplicado nas imagens foi a Equalização de Histogramas a partir do menu Image Analysis. Escolheu-se a opção *percent clip* pois é um realce automático que realiza um corte nos níveis pretos e brancos do histograma. Conforme Câmara et al. (1996) é uma transformação não-linear que considera a distribuição acumulativa da imagem original, gerando uma imagem resultante com um histograma mais uniforme (Figura 2).

Figura 2. Mapa de realce de contraste a partir da equalização de histograma



Fonte: Elaborado pela autora (2019) a partir das imagens Landsat, software Arcgis 10.5

Para cada cena Landsat 5 selecionada, foi gerada uma composição colorida *RGB* com a seguinte relação filtro-banda: *Red=SWIR*³, *Green=NIR*⁴ e *Blue=RED*⁵, com as bandas R5G4B3 para melhor definir limites entre solo e água e vegetação em tons de verde. Foi utilizada a composição colorida com as bandas R6G5B4, para cada cena landsat 8, com relação filtro-banda: *Red=SWIR-1*, *Green=NIR* e *Blue=RED*. O termo composição colorida falsa-cor é a forma mais tradicional de se combinar 3 bandas espectrais de satélite para a formação de uma composição colorida (Crósta, 1992).

A partir das composições, as imagens foram submetidas à classificação supervisionada por máxima verossimilhança com o uso da ferramenta Maximum Likelihood Classification. Foi considerando o sistema básico de classificação da cobertura e do uso da terra proposto pelo IBGE (2013) na qual foi possível classificar oito classes: vegetação densa, vegetação não densa, água, extração de areia, solo exposto, área urbanizada, estrada não pavimentada e habitações rurais. A classificação supervisionada refere-se à interpretação de imagens de sensoriamento remoto, baseando-se na detecção de assinaturas espectrais de elementos na imagem. Para isso utilizam-se as cores, texturas, arranjos e formas de cada feição observada na imagem (IBGE, 2006; Rosa, 2007).

Foram definidas e coletadas 50 amostras de treinamento para cada classe presente nas imagens, utilizando-se a ferramenta *image classification* - Training Sample Manager (Fernandes et al., 2015). Com a definição das classes mapeadas e as áreas utilizadas nas amostras de treinamento, teve-se um conhecimento prévio da área representada da imagem. Após a classificação, na fase de pós-processamento, transformou-se as classes em vetor para usar a ferramenta *eliminate*, que consiste na eliminação de grupo de células com áreas dispersas na imagem classificada, com o objetivo de melhorar a qualidade visual da imagem final e eliminando pequenas células ou pixels isolados, definidos por Lillesand, Kiefer e Chipman (2008) como aspecto

³ Infravermelho de ondas curtas (*shortwave-infrared*).


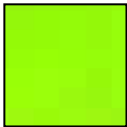
⁴ Infravermelho próximo (*near-infrared*).

⁵ Vermelho (*red*)

ruidoso.

A análise de cada classe baseou-se em uma chave de interpretação, a qual serviu de subsídio para a análise visual e vetorização de polígonos (Tabela 2).

Tabela 2. Chave de interpretação

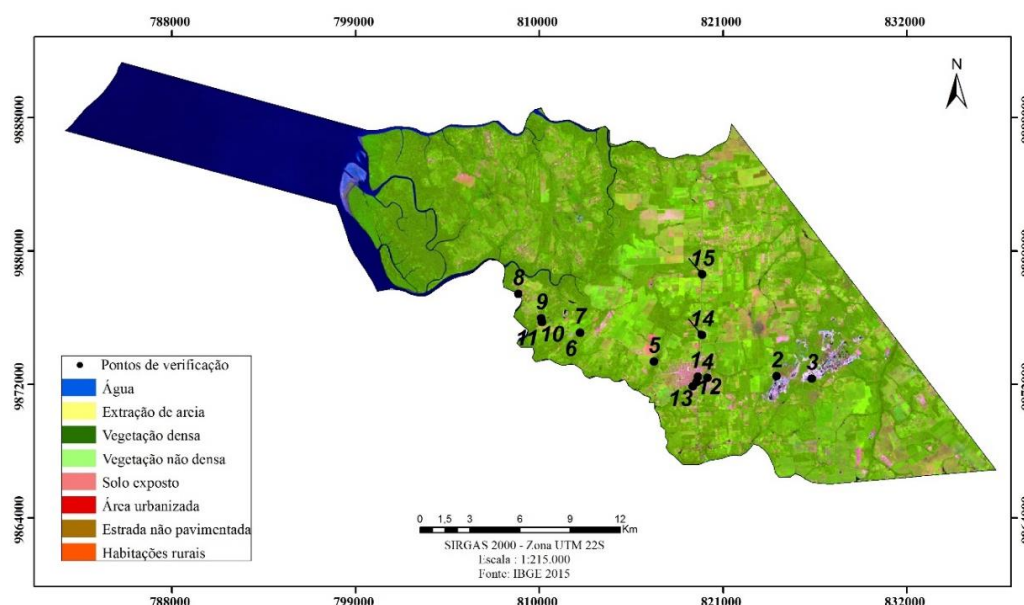
Uso e Cobertura	Cor/Tonalidade	Descrição da área
Água		Todas as classes de águas interiores e costeiras, como cursos de água e canais, corpos d'água naturalmente fechados, além das lagoas costeiras ou lagoas, estuários e baías (IBGE, 2013).
Área urbanizada		Áreas estruturadas por edificações e sistema viário, predominando as superfícies artificiais não agrícolas como metrópoles e áreas de rodovias (IBGE, 2001)
Habitação rural		Constituída por áreas em processo de urbanização incipiente, ou áreas sem adensamento habitacional (IBGE, 2013)
Estrada não pavimentada		São faixas de terreno com características adequadas para permitir o deslocamento de pessoas e veículos, porém sem asfaltamento (Cunha, 2010).
Extração de areia		Áreas de exploração ou extração de substâncias minerais não metálicas (IBGE, 2013).
Solo exposto		Áreas desprovidas de vegetação ou de cultura (Shinzato, Jaques & Cavedon, 2019).
Vegetação densa		Consideram-se as formações arbóreas com porte superior a 5 metros, floresta nativa (IBGE, 2013)
Vegetação não densa		Caracteriza-se por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso (IBGE, 2013).

Fonte: Elaborada pela autora (2019) a partir de dados do IBGE

2.4 Trabalho de campo

O trabalho de campo foi realizado para conhecer a área de estudo e ratificar os resultados obtidos na pesquisa. Assim, no dia 04 de setembro de 2019, foi realizada uma visita *in loco* para a validação dos resultados obtidos no mapeamento preliminar. Foram obtidos 15 pontos de controle de classes com auxílio de Sistema de Posicionamento Global – Global Positioning System (GPS) distribuídos na área de estudo. O acesso foi feito pela PA-140 e estradas vicinais para visitar pelo menos um ponto para cada classe previamente estabelecida e fazer um registro fotográfico (Figura 3).

Figura 3. Mapa dos pontos visitados em campo



Fonte: Elaborado pela autora (2019) a partir das imagens Landsat, software Arcgis 10.5

2.5 Análise multitemporal e Matriz de transição

A análise de cada uso e cobertura da terra no período observado foi feita com base nos resultados da classificação supervisionada das imagens dos anos de 1984, 1994, 2004 e 2018, para reconstituição da evolução temporal da paisagem do município de Santo Antônio do Tauá/Pará. Os resultados foram discutidos com a criação de gráficos e tabelas, sendo elaborados mapas de uso e de cobertura da terra da área de estudo para os anos pesquisados. De acordo com Huang et al. (2000) a análise multitemporal da paisagem só é possível devido a disponibilidade de imagens de satélite da mesma região ao longo do tempo. Dessa forma, isso possibilita, conforme Santos (2004), a comparação de séries de dados temporais, cujo resultado é a detecção de mudanças ocorridas nos usos e cobertura da terra.

Através do uso da matriz de transição é possível quantificar as transformações multitemporais com maior exatidão (Almeida, Monteiro & Camara, 2003; Basse et al., 2014). O processo markoviano calcula a probabilidade da mudança através da construção de uma matriz de probabilidades de transição e uma matriz de transição de áreas a partir dos cálculos das mudanças das variáveis mapeadas. Essas variáveis são as classes de uso e cobertura da terra analisadas em dois tempos sucessivos, tempo presente (t0) e tempo passado (t1) (Ricobom & Caneparo, 2017).

No *software* Arcgis 10.5 foi realizada a tabulação cruzada dos mapas de cobertura da terra no período de 1984 a 1994, 1994 a 2004, e 2004 a 2018, gerando três matrizes. Posteriormente foi utilizando a ferramenta *tabulate area* e exportação para o excel - *table to excel*. Com a organização das planilhas foi possível analisar a cada par de anos as transformações de cada classe.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

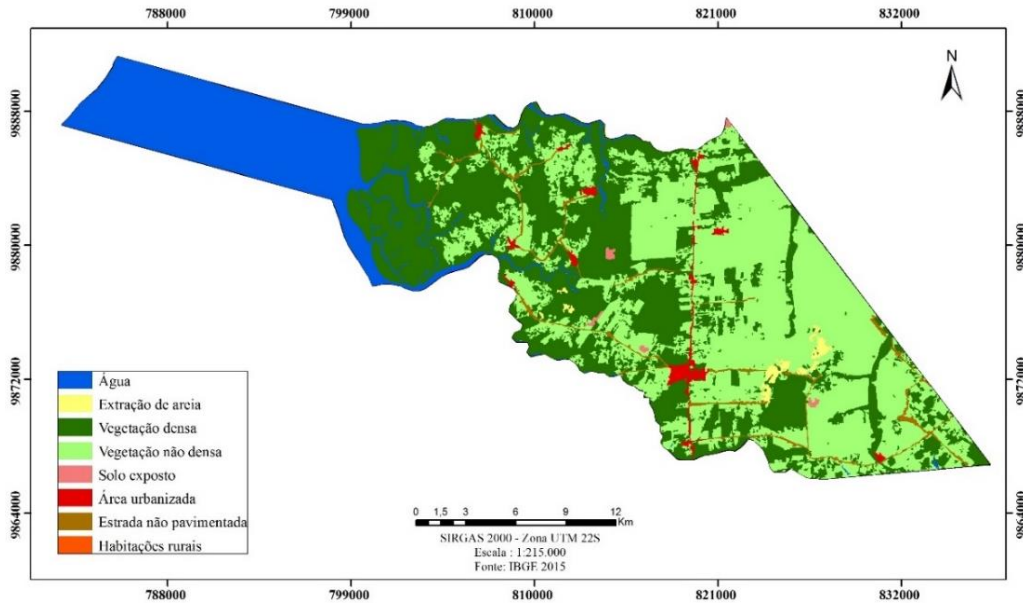
3.1 Uso e cobertura da terra

A classificação supervisionada das imagens dos anos de 1984 (Figura 4), 1994 (Figura 5), 2004 (Figura 6) e 2018 (Figura 7) mostra a variação da ocupação de uso e cobertura da terra na área de estudo.

As vegetações densa e não densa são as classes de maior extensão no município em todo o período analisado. A vegetação não densa, entre os anos de 1984 a 2004, sempre esteve em maior proporção passando de 214,95 km² (39,92%) em 1984 para 245,02 km² (45,50%) em 1994, e 226,40 km² (42,02%) em 2004. De 2004 para 2018 ocorreu uma diminuição da vegetação não densa, caindo para 177,83 km² (33,02%). Entre 1984 e 2004 o aumento dessa classe está relacionado a conversão de área de floresta em classe arbustiva ou gramíneo-lenhosa em consequência do desmatamento de 313 km² de área em 2004 suprimindo a vegetação mais densa (INPE, 2019). Esta supressão relaciona-se à incorporação de terras por práticas agropecuárias, cuja participação é de 23,13% no território total do município onde se destaca a produção de frutas variadas, hortaliças, dendê (representando 2,57% da produção paraense) e na criação de galináceos e seus produtos (aves para abate e ovos) e a introdução de pastagem e lavouras temporárias (IBGE, 2017; Pará, 2014; Siqueira, 2018). Os problemas socioambientais ocasionados pela aceleração da produção do dendê são relacionados a manutenção da Reserva Legal ⁶ em áreas com até 10 hectares (Siqueira, 2018).

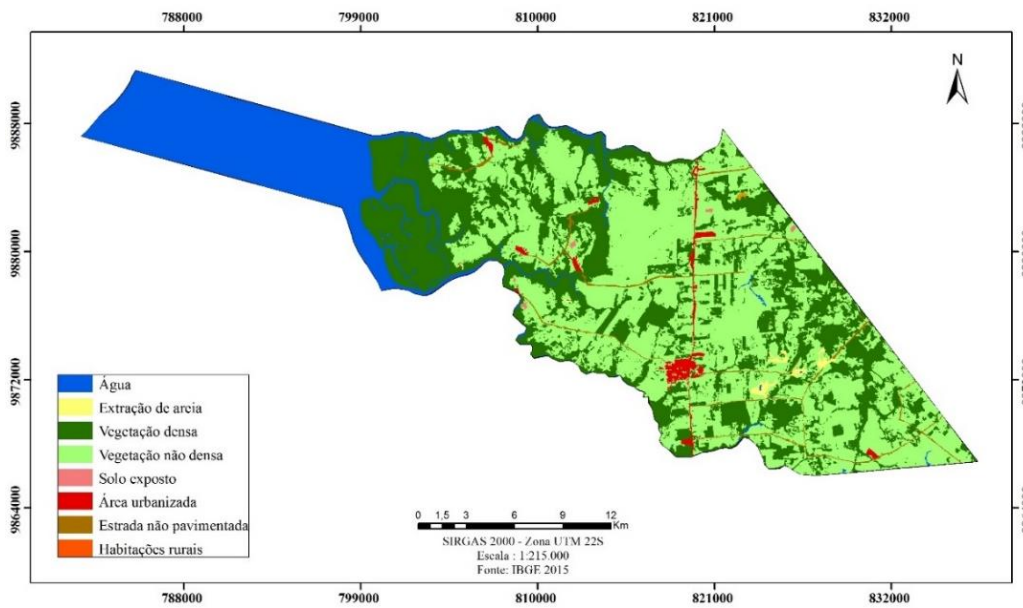
Figura 4. Mapa de uso e cobertura da terra (1984)

⁶Área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa (Brasil, 2012).



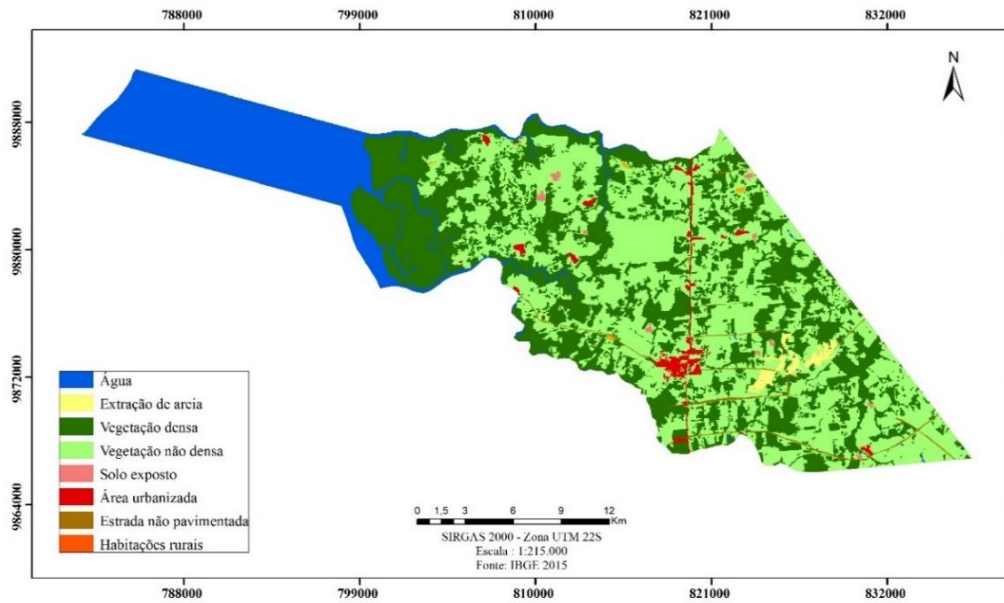
Fonte: Elaborado pela autora (2019) a partir das imagens Landsat, software Arcgis 10.5

Figura 5. Mapa de uso e cobertura da terra (1994)



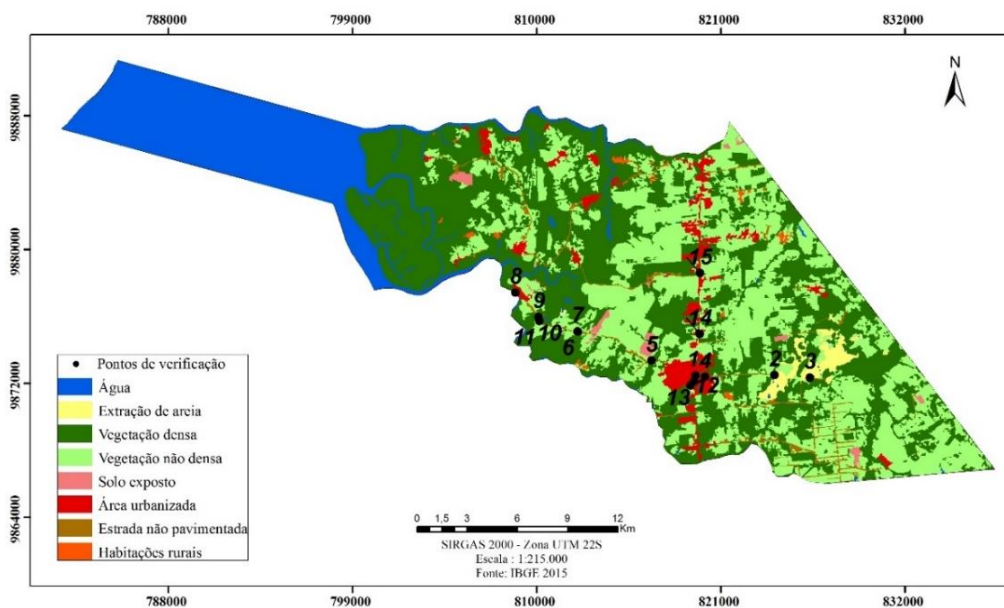
Fonte: Elaborado pela autora (2019) a partir das imagens Landsat, software Arcgis 10.5

Figura 6. Mapa de uso e cobertura da terra (2004)



Fonte: Elaborado pela autora (2019) a partir das imagens Landsat, software Arcgis 10.5

Figura 7. Mapa de uso e cobertura da terra (2018)



Fonte: Elaborado pela autora (2019) a partir das imagens Landsat, software Arcgis 10.5

A vegetação densa, por sua vez, tinha em 1984 uma área total de 209,84 km² (38,97%), em 1994 uma área de 182,81 km² (33,95%), e em 2004 houve um aumento totalizando em 201,92 km² (37,50%). Em 2018, passou a ter 226,78 km² (42,11%) (Tabela 3). Por conta da classificação utilizada, não foi feita uma separação das áreas de cultivo e das áreas de vegetação nativa que na escala de 1:215.000 apresenta resposta espectral similar (Manziona, Tanikawa & Soldera, 2013). Portanto esse aumento justifica-se com o crescimento da área colhida de dendê de 2006 a 2016 (4.300 ha), que em 2010 era de 2.600 (4,65%) hectares e em 2016 chegou a 6.900 hectares (8,6%)

(FAPESPA, 2017).

Tabela 3. Comparação do uso e cobertura da terra no período estudado.

CLASSE	1984		1994		2004		2018	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Vegetação densa	209,84	38,97	182,81	33,95	201,92	37,50	226,78	42,11
Vegetação não densa	214,95	39,92	245,02	45,50	226,40	42,04	177,83	33,02
Área urbanizada	6,10	1,13	6,32	1,17	7,07	1,31	17,24	3,20
Extração de areia	3,28	0,61	2,19	0,41	4,60	0,85	7,08	1,32
Solo Exposto	1,12	0,21	0,47	0,09	1,31	0,24	3,51	0,65
Habitações rurais	0	0	0,23	0,04	0,53	0,10	1,88	0,35
Estrada não pavimentada	9,54	1,77	6,01	1,12	3,63	0,68	8,38	1,56
Água	93,50	17,36	95,31	17,70	92,88	17,25	95,65	17,76

Fonte: Elaborada pela autora (2019) a partir do software Arcgis 10.5

A área urbanizada foi uma das classes que junto com as habitações rurais aumentou nos anos estudados. A área urbanizada passou de 6,10 km² (1,13%) em 1984 para 17,24 km² (3,20%) em 2018 ampliando-se, principalmente, no entorno da sede urbana e da rodovia PA – 140, localizada na porção central da área de estudo (Figura 8). A ocupação na margem das estradas proporciona elevados índices de modificação da paisagem natural (Leal, 2006; Nascimento & Santos, 2017).

Já as habitações rurais começaram a surgir a partir de 1994 com área de 0,23 km² (0,04%) em 1994 passando para 1,88 (0,35%) em 2018. No processo de substituição da terra rural por urbana, as cidades se expandem, concentrando as atividades e uma grande demanda por habitação diminuindo os lotes e estabelecendo construções mais próximas, o que estimula a retirada da vegetação e a ocupação indevida de remanescentes de matas (Cardoso, Lima & Barbosa, 2009).

Figura 8. Área urbanizada na Av. Senador Lemos (PA – 140)



Fonte: Autora (2019) a partir da pesquisa de campo realizada

As áreas ocupadas por corpos d'água no ano de 1984, 1994, 2004 e 2018 apresentaram valores estáveis de aproximadamente 17% da área de estudo. Esta classe pode variar de acordo com o volume de chuvas ocorridas a cada ano e, eventualmente, com novos represamentos de rios. O município de Santo Antônio do Tauá, é drenado por várias drenagens, sendo os principais da área de estudo o Rio Tauá, Rio Bituba, Igarapé Patauateua e Igarapé São Francisco. Os igarapés, no interior do espaço urbano, apresentam como sua principal função o uso recreativo. Entretanto, com ausência de fiscalização verificaram-se impactos ambientais relacionados a processos de assoreamento e supressão da mata ciliar (Figura 9).

Os recursos hídricos superficiais são de grande importância à gestão ambiental que na ausência de controle, em curto tempo, fica impactado com alteração dos canais e planícies, e contaminação das águas (Barbosa, 2007). A expansão urbana e o incremento das atividades de comércio e de serviços, tem intensificado a função dos rios em servir ao despejo de águas servidas e resíduos sólidos, além de serem controlados por agentes privados, que fazem deles objetos de lazer, de recreação ou de produção (piscicultura e a criação de reservatórios –açudes) (Pinto, 2017).

Figura 9. Impactos nas drenagens interiores da área de estudo com disposição inadequada de resíduos sólidos e supressão da mata ciliar.



Fonte: Autora (2019) a partir da pesquisa de campo realizada

O solo exposto sofreu poucas variações, passando de 1,12 km² (0,21%) no ano de 1984 para 3,51 km² (0,65%) no ano de 2018. As estradas não pavimentadas variaram de 9,54 km² (1,77%) em 1984 para 6,01 km² (1,12%) e 3,637 km² (0,68%) em 1994 e 2004, respectivamente. Esse constante decréscimo está relacionado ao aumento da área urbanizada e com a consequente demanda por pavimentação asfáltica. Contudo em 2018 houve um aumento da classe de estradas não pavimentadas para uma área de 8,38 km² (1,56%) indicando o aumento dos acessos para habitações mais afastadas do centro da cidade.

As estradas não pavimentadas são as principais ligações entre as propriedades rurais e povoados vizinhos, caracterizando-se pela ausência de revestimento, com pavimento constituído com materiais locais apenas conformados ou por possuírem algum tipo de revestimento primário (Griebeler, Pruski & Silva, 2009; Oliveira, 2005). São elementos presentes na paisagem, possuem a finalidade de proporcionar o deslocamento das pessoas e veículos, e, necessitam de investigação atenciosa em relação a sua implantação e manutenção considerando a topografia, clima, aptidão do terreno, a geologia e o sistema de drenagem (Cunha, 2010).

Em relação à área de extração de areia, verificou-se que nos anos estudados houve um aumento. Inicialmente em 1984 a área era de 3,28 km² (0,61%) passando para 7,08 km² (1,32%) em 2018. Apesar de ser uma porcentagem baixa de área ocupada com relação ao município (1,32%), a retirada deste recurso necessita ser feita de acordo com a legislação ambiental e mineral para evitar impactos aos meios físico, biótico e antrópico. Durante a visita de campo foi verificado antigas áreas de extração mineral sem atividades de recuperação, reabilitação ou restauração (Figura 10).

De acordo com Silva (1988) ao finalizar a atividade mineral as áreas devem ser recuperadas para evitar áreas abandonadas sem um plano de recuperação. Bauermeister e Macedo (1994)

consideram a atividade extrativista de areia causadora de problemas ambientais com transformação da paisagem. Pfaltzgraff (1994) afirma que em áreas de mineração abandonadas facilmente se instalam processos erosivos. Annibelli e Souza Filho (2007) complementam que a apesar da atividade gerar impactos, os pontos positivos com a geração de empregos diretos e indiretos e a geração de impostos são considerados para o licenciamento ambiental.

Figura 10. Área de extração de areia abandonada em Santo Antônio do Tauá



Fonte: Autora (2019) a partir da pesquisa de campo realizada

3.2 Matrizes de transição

No período de 1984 a 1994 (Tabela 4), percebeu-se, mais expressivamente, uma conversão para a vegetação não densa das classes estrada não pavimentada (61,18%), extração de areia (64,04%) e solo exposto (93,01%). Essa tendência de crescimento permanece até um pouco mais de 2004.

Não houve significativa conversão de água, onde somente 5,47% tornou-se vegetação densa e 0,22% vegetação não densa. Essa pequena variação se dá pela ocorrência de vegetação de mata ciliar ao longo das drenagens. As únicas classes que se transformaram em todas as outras, nesta década, foram a de estrada não pavimentada e a de vegetação não densa.

Tabela 4. Matriz de transição do intervalo entre 1984-1994.

De 1984	Para 1994								
	CLASSE	AGU	AUR	ENP	EXA	HAR	SXP	VED	VND
	AGU	94,03%	0%	0%	0%	0%	0%	5,47%	0,22%
	AUR	0,17%	40,78%	0,84%	0%	0%	0%	18,79%	39,27%
	ENP	0,43%	1,82%	11,57%	0,54%	0,11%	0,32%	24,75%	61,28%
	EXA	0,62%	0%	0,93%	18,96%	0%	0%	16,16%	64,04%
	SXP	0%	0%	1,81%	0%	0%	0%	6,32%	93,01%
	VED	3,14%	0,63%	0,83%	0,33%	0%	0%	54,40%	40,56%
	VND	0,22%	1,15%	1,45%	0,38%	0,12%	0,16%	27,36%	69,15%

Fonte: Elaborada pela autora (2019) a partir do software Arcgis 10.5

AGU – Água; AUR – Área urbanizada; ENP – Estrada não pavimentada; EXA – Extração de areia; HAR – Habitações rurais; SXP – Solo exposto; VED – Vegetação densa; VND – Vegetação não densa.

No período de 1994 a 2004 uma porcentagem de 0,15% de vegetação não densa se converteu para as habitações rurais (Tabela 5). Ainda durante este período, houve a conversão das habitações rurais em vegetação não densa (70,56%) e vegetação densa (13,23%) o que mostra um possível aumento nas áreas de agricultura familiar.

A conversão de área urbanizada em aproximadamente 1%, para estradas não pavimentadas pode-se estar relacionada ao surgimento das habitações rurais. Enquanto a conversão em 32,47% desta classe para vegetação não densa relaciona-se a expansão dos cultivos agrícolas no município. A mudança mais relevante, de 91,54%, ocorreu entre as classes de solo exposto para vegetação não densa, que correspondeu a uma extensão de aproximadamente 0,42 km². Essa mudança também indica a ampliação das atividades agrícolas na área de estudo.

Tabela 5. Matriz de transição do intervalo entre 1994~2004.

De 1994	Para 2004								
	CLASSE	AGU	AUR	ENP	EXA	HAR	SXP	VED	VND
	AGU	95,38%	0%	0%	0%	0%	0%	3,71%	0,56%
	AUR	0%	62,67%	0,97%	0%	0%	0%	5,98%	32,47%
	ENP	0%	1,36%	23,43%	1,87%	0%	0,17%	14,60%	59,42%
	EXA	0%	0%	0%	80,87%	0%	0%	4,18%	13,94%
	HAR	0%	0%	0%	0%	35,28%	0%	13,23%	70,56%
	SXP	0%	2,18%	0%	0%	0%	2,18%	10,90%	91,54%
	VED	0,92%	0,21%	0,23%	0,35%	0%	0,11%	71,17%	26,61%
	VND	0,09%	1,09%	0,64%	0,85%	0,15%	0,43%	26,98%	69,95%

Fonte: Elaborada pela autora (2019) a partir do software Arcgis 10.5

AGU – Água; AUR – Área urbanizada; ENP – Estrada não pavimentada; EXA – Extração de areia; HAR – Habitações rurais; SXP – Solo exposto; VED – Vegetação densa; VND – Vegetação não densa

Já no último período, de 2004 a 2018 observou-se que a área urbanizada aumentou, pois, as habitações rurais tiveram 17,07 % de sua área convertida para esta classe, juntamente com a conversão de 4,24% de vegetação não densa e 1,11% de vegetação densa (Tabela 6). A maior transição foi de solo exposto para a vegetação não densa com 66,05% de área convertida. A extração de areia teve um incremento na sua área proveniente da conversão de 1,97% de estrada não-pavimentada, 0,37% de vegetação densa e 0,99% de vegetação não densa.

Notou-se também o aumento de estradas não pavimentadas com, praticamente, todas as classes tendo porcentagens convertidas para ela, com exceção da água. A conversão mais expressiva foi de solo exposto para estrada não pavimentada com 7,77%. Tanto a vegetação densa quanto a vegetação não densa foram convertidas em todas as outras classes. A vegetação densa foi convertida em água (1,78%), em área urbanizada (1,11%), em estrada não pavimentada (0,53%), em extração de areia (0,37%), em habitações rurais (0,26%), em solo exposto (0,61%) e em vegetação não densa (20,35%). Já a vegetação não densa foi convertida, principalmente, em área urbanizada

(4,24%), em estrada não pavimentada (2,62%) e em vegetação densa (31,98%).

Tabela 6. Matriz de transição do intervalo entre 2004-2018.

De 2004	Para 2018								
	CLASSE	AGU	AUR	ENP	EXA	HAR	SXP	VED	VND
	AGU	0,98%	0%	0%	0%	0%	0%	1,46%	0,09%
	AUR	0%	73,94%	0,43%	0%	0%	0%	7,51%	19,78%
	ENP	0%	1,97%	32,87%	1,97%	0%	0,56%	24,72%	31,46%
	EXA	4%	0%	0,22%	86,81%	0%	0%	6,88%	2,66%
	HAR	0%	17,07%	3,79%	0%	9,48%	0%	28,44%	39,82%
	SXP	0%	0%	7,77%	0%	0%	1,55%	24,09%	66,05%
	VED	1,78%	1,11%	0,53%	0,37%	0,26%	0,61%	74,67%	20,35%
	VND	0,24%	4,24%	2,62%	0,99%	0,56%	0,99%	31,98%	58,63%

Fonte: Elaborada pela autora (2019) a partir do software Arcgis 10.5

AGU – Água; AUR – Área urbanizada; ENP – Estrada não pavimentada; EXA – Extração de areia; HAR – Habitações rurais; SXP – Solo exposto; VED – Vegetação densa; VND – Vegetação não densa.

4. CONCLUSÃO

A análise multitemporal das classes de uso e cobertura da terra do município de Santo Antônio do Tauá/PA, teve como principal resultado o crescimento da área urbanizada e da extração de areia. A primeira passou de 6,10 km² (1,13%) em 1984, para 17,24 km² (3,20%) em 2018, e, a segunda aumentou no período de 2004-2018, passou de uma área de 4,60 km² (0,85%) para 7,08 km² (1,32%). Os resultados foram validados de forma visual e em campo, sendo que os produtos resultaram na espacialização das classes no município.

Em campo pôde-se identificar áreas abandonadas de mineração de areia. Apesar das classes área urbanizada e extração de areia estarem em crescimento constante, a vegetação densa ainda é predominante. O avanço de cultivos como a cultura do dendê está associado ao aumento da classe de vegetação não densa.

A matriz de transição possibilitou os cruzamentos necessários e a obtenção da informação de conversão de uma classe em outra. Assim, percebeu-se que no período de 1984 para 1994 a classe de solo exposto foi a que mais sofreu conversão em vegetação não densa. Outro dado relevante neste período foi a conversão de vegetação densa em vegetação não densa. No período de 1994 para 2004, destacou-se a conversão de solo exposto em vegetação não densa. No último

período, de 2004 para 2018 destacou-se o solo exposto convertido em vegetação não densa e as habitações rurais convertidas em área urbanizada.

REFERÊNCIAS

- Almeida, C. M., Monteiro, A. M. V., & Câmara, G. (2003): Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation. *Computers, Environment and Urban Systems, New York*, v. 27, n. 5, p. 481-509.
- Alves, H. R. C. (2017): Evolução do uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio Benfica – PA Fragilidades e tendências futuras. 73 f. (Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém). Recuperado em 17/03/2019 de <https://revistas.ufrrj.br/index.php/aigeo/articled/view/30229/17083>.
- Annibelli, M. B., & Souza Filho, C. F. M. de. (2007): Mineração de areia e seus impactos sócio-econômico-ambientais. In: CONGRESSO NACIONAL DO CONPEDI, 16, 2007, Belo Horizonte. *Anais...Belo Horizonte*, p. 4205-4217
- Barbosa, E. J. S. (2007): Unidades de relevo em zona costeira estuarina: Municípios de Colares e Santo Antônio do Tauá – PA. 96f. (Dissertação de Mestrado em Geografia, Universidade Federal do Pará, Belém).
- Basse, R. M., et al. (2014): Land use changes modelling using advanced methods: cellular automata and artificial neural networks. The spatial and explicit representation of land cover dynamics at the cross-border region scale. *Applied Geography*, v. 53, p. 160-171.
- Bauermeister, K. H., & Macedo, A. B. (1994): Quadro da recuperação de áreas mineradas na região leste de São Paulo. In: SIMPÓSIO SUL AMERICANO, 1; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2. *Anais... Curitiba*, p. 225-235.
- Brasil. (2012). Lei 12651 – Código Florestal. Recuperado em 29/01/2021 de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm.
- Briassoulis, H. (2000): Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches. Morgantown, WV: Regional Research Institute, West Virginia University.
- Câmara, G. N., et al. (1996): Anatomia de sistemas de informação geográficas. Campinas, SP. Unicamp, IV Escola de Computação.

- Cardoso, A. C. D., Lima, J. J. F., & Barbosa, E. J. S. (2009): Problemas socioambientais urbanos. In: MONTEIRO, M. A.; COELHO, M. C. N.; BARBOSA, E. J. S. Atlas Socioambiental: Municípios de Tomé-Açú, Aurora do Pará, Ipixuna do Pará, Paragominas e Ulianópolis. Belém: NAEA/UFPA, p.384-391.
- Cidade-Brasil. (2019): Mesorregião Metropolitana de Belém. Recuperado em 07/08/2019 de <https://www.cidade-brasil.com.br/mesorregiao-metropolitana-de-belem.html>.
- Crósta, A. P. (1992): Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. - ed. rev. - Campinas, SP: IG/UNICAMP.
- Cunha, M. C. da. (2010): Caracterização das estradas rurais não pavimentadas como elementos presentes na paisagem da bacia hidrográfica do rio das pedras, Guarapuava-PR. *Rev. GEOMAE Campo Mourão, PR*, v.1, n.2, p.73 - 91 2ºSem 2010 ISSN 2178-3306. Recuperado em 20/09/2019 de <http://www.fecilcam.br> > revista > index.php > geomae > article > view > pdf_11.
- Fapespa - Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas – (2017): Estatística Municipal, Santo Antônio do Tauá - 2º semestre de 2017 - Semestral, nº 2, jul. / dez. Recuperado em 25/09/2019 de www.fapespa.pa.gov.br.
- Fernandes, M. R. de M., et al. (2015): Mudanças do Uso e de Cobertura da Terra na Região Semiárida de Sergipe. *Floresta e Ambiente 2015*, v. 22, n.4, p. 472-482.
- Fonseca, L. M. (2000): Processamento digital de imagens. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 105p.
- Griebeler, N. P., Pruski, F. F., & Silva, J. M. A. (2009): Controle da erosão em estradas não pavimentadas. p. 166-215. In: PRUSKY, F. F. Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. 2ª. Edição. Editora UFV. 279p.
- Huang, C., et al. (2000): Detecting landcover changes based on their trajectories in the spectral space. In: Geosciences and Remote Sensing Symposium. Proceedings, IGARSS, IEEE International, vol 5.
- Ibge - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2001): Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2001. Recuperado em 20/09/2019 de <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/default.shtm>.
- Ibge - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2006): Manual Técnico de Uso da Terra. Rio de Janeiro.

- Ibge - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2013): Manual Técnico de Uso da Terra. 3º ed. Rio de Janeiro.
- Ibge - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017): Censo Demográfico 2010: malha digital: setores censitários. Recuperado em 29/09/2019 de <http://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>.
- Ibge - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020): Santo Antônio do Tauá. Recuperado em 15/02/2019 de <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/santo-antonio-do-taua/panorama>.
- Inpe - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2019): Dados do município. Recuperado em 27/09/2019 de www.dpi.inpe.br/prodesdigital/atrmunic.php?ID=1507003&ano=2018&.
- Leal, E. B. (2006): Análise ambiental da ocupação do Bairro Santos Dumont, Santo Antônio do Tauá-PA. (Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Geografia, Universidade Federal do Pará, Castanhal, PA).
- Leite, E. F., & Rosa, R. (2012): Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. *Revista Eletrônica de Geografia*, v.4, n.12, dez. 2012, p. 90-106.
- Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2008): Remote sensing and image interpretation. 6. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Manziane, R. L., Tanikawa, D. H., & Soldera, B. C. (2014): Relação entre a resposta espectral da vegetação em diferentes cultivos agrícolas e níveis freáticos em área de recarga do sistema aquífero Guarani. *Revista Águas Subterrâneas. São Paulo*, v. 28, n. 1 (2014). Recuperado em 25/09/2019 de <https://aguassubterraneas.abas.org/assubterraneas/article/view/27381>.
- Nascimento, L. A. B., & Santos, N. S. L. (2017): Impactos socioambientais em pequenos rios na cidade de Santo Antônio do Tauá – PA. 2017. 72f. (Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Geografia, Universidade do Estado do Pará, Belém).
- Oliveira, M. J. G. (2005): Hierarquização para orientar a manutenção de rodovias não pavimentadas. (Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP). Recuperado em 01/03/2019 de <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-23112006-082838/publico/MGO.pdf>.
- Pará. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. (2014): Estatística Municipal: Santo Antônio do Tauá. Belém: Fapespa.

- Pfaltzgraff, P. A. dos S. (1994): Aspectos ambientais da lavra de areia, exemplo da área produtora do Rio São João. 1994. 81 f. (Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal Rio De Janeiro. Rio de Janeiro, RJ). Recuperado em 20/09/2019 de <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/119?show=full>.
- Pinto, R. de A. (2017): Conflitos ambientais em Santo Antônio do Tauá (PA): considerações a partir do direito ambiental. (Especialização em Direito Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba). Recuperado em 18/09/2019 de <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/54145/R%20-%20E%20-%20RODRIGO%20DE%20AMORIM%20PINTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Ricobom, A. E., & Caneparo, S. C. (2017): Metodologia para geração de mapeamentos preditivos utilizando a cadeia de Markov e autômatos celulares – área piloto: perímetro urbano de Paranaguá – Paraná – Brasil. IV Simpósio Brasileiro de Geomática – SBG2017. Presidente Prudente - SP, 24-26 de julho de 2017. Recuperado em 21/10/2019 de http://docs.Fct.unesp.br/departamentos/cartografia/eventos/2017_IV_SBG/_artigos/2017_SBG_CTIG_paper_40.pdf.
- Rosa, R. (2005): Geotecnologias na geografia aplicada. *Revista do Departamento de Geografia - USP. São Paulo, v.16, 2005*. Recuperado em 31/01/2019 de <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>.
- Rosa, R. (2007): Introdução ao sensoriamento remoto. Uberlândia: Ed. UFU. 248 p.
- Santos, R. F. (2004): Planejamento Ambiental: teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos.
- Sausen, T. M. (2010): Sensoriamento Remoto e suas Aplicações para Recursos Naturais. São José dos Campos: INPE, 2010. Recuperado em 20/09/2019 de <http://www3.inpe.br/unidades/c ep/atividadesc ep/educasere/apostila.htm>.
- Shinzato, E., Jaques, P. D., & Cavedon, A. D. (2019): Uso do solo e cobertura vegetal. Recuperado em 20/09/2019 de http://www.cprm.gov.br › media › geodiversidade › solos › solos_unidades.
- Silva, H. V. (1988): Propostas para avaliar o impacto ambiental em mineração: primeira tentativa. *Ambiente, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 88-90, 1988*.
- Siqueira, A. dos S. (2018): O avanço do dendê no nordeste paraense e seus impactos a produção familiar e a projeção para o município de Santo Antônio do Tauá. (Especialização em História Agrária na Amazônia Contemporânea, Universidade Federal do Pará, Ananindeua).

Recuperado em 21/09/2019 de
https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/bitstream/prefix/976/1/TCCE_AvancoDendeNordeste.pdf

Souza, J. L. (2017): Geotecnologia como ferramenta de apoio a leis ambientais: sensoriamento remoto e sig. *Revista Olhar: Revista Científica da ESAMC. Sorocaba, SP, v.2, n.1, p. 454-464.*

Trindade Junior, S-C. C. da. (2016): Formação metropolitana de Belém (1960-1997). Belém, PA: Paka-Tatu, 2016. 392p.