

O APRENDIZADO DE MÁQUINA COMO MÉTODO DE ANÁLISE DA PAISAGEM NA BACIA DO TUCUNDUBA, BELÉM, BRASIL

João Vitor do Monte de Oliveira¹
Rodrigo José Zonzin Esteves²
Cauã Oliveira Lima³
Rita Denize de Oliveira⁴

INTRODUÇÃO

A Bacia do Tucunduba está localizada a sudeste do município de Belém, com integração dos bairros de Canudos, Curió-Utinga, Guamá, Marco, São Brás, Terra Firme e Universitário, no Pará. É composta por uma área definida por planícies sujeitas à inundação, a região interliga topografia de planícies aos terraços fluviais e áreas de terra firme ao longo do sistema de drenagem (Luz, Rodrigues e Cristo, 2012). Possui diversas paisagens, como: de florestas de terra firme, mata de várzea e terraços fluviais, que foram gradativamente substituídas por matas alteradas, de capoeira e áreas urbanizadas.

A paisagem como conceito é representada de diversas maneiras. De forma nuclear, no entanto, ela se constitui dinamicamente a partir dos objetos e elementos presentes em determinado ambiente, onde sua interação com os seres humanos delimitam o conceito de espaço geográfico (Santos, 2022). Ainda nesse sentido, Ab'Sáber (2021) afirma que a paisagem é “herança de processos fisiográficos e biológicos, e patrimônio coletivo dos povos que historicamente as herdaram como território de atuação de suas comunidades”.

A substituição das matas primárias para ambientes urbanizados na Amazônia é uma alteração da paisagem recente em relação às cidades europeias (Ribeiro *et al.*, 2019; Sun, Chen e Huang, 2020). Isso ocorre pois, historicamente, as tentativas de “modernização” das áreas isoladas das grandes redes do capital implicaram na

¹ Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, vitormonte174@gmail.com;

² Graduando do Curso de Ciência da Computação da Universidade Federal de São João del Rei - UFSJ, rodrigojzonzin@email.com;

³ Graduando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará – UFPA e Bolsista de Iniciação Científica do Museu Paraense Emílio Goeldi - MPEG, caualima@museu-goeldi.br;

⁴ Doutora e professora do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará; ritadenize@ufpa.br

necessidade de adaptação do modo de vida dos povos que vivem no território amazônico.

O estabelecimento do controle colonial, ocorreu a fundação de Belém no início do século XVII. Posteriormente, a expansão da área urbana orientou-se das planícies da Baía do Guajará em direção ao continente. Na virada dos séculos XIX e XX, durante a *Belle Époque*, e consonante com o Ciclo da Borracha, o movimento de expansão da *urbes* se intensificou (Da Costa Tavares, 2011; Gonçalves, 2023).

Além disso, o avanço da urbanização do município excluiu de forma explícita as populações mais pobres dos ambientes de terra firme; não apenas na composição demográfica do espaço, como também para o lazer em determinados espaços urbanos (Silva, 2023). O lazer da população com menor renda limitava-se aos poucos lugares da capital, como os igarapés, que, à época, ainda não haviam sido canalizados.

Neste contexto, sabe-se que se a bacia do Tucunduba fosse majoritariamente formada por áreas altas, e poucos ambientes inundáveis, o processo de urbanização de interesse da classe dominante seria orientado para a formação de lotes nessa área. Este fato ressalta a conformidade do avanço da urbanização nas áreas altas através do poder, ou seja, a relação dos grupos que detinham o maior poder aquisitivo para com o território.

O Aprendizado de Máquina (*ML*, do inglês *Machine Learning*) é uma área da Inteligência Artificial que utiliza procedimentos de representação de conhecimento incerto para a predição, classificação, redução de dimensionalidade e clusterização de dados (Géron, 2019). O *ML* foi utilizado com sucesso na análise da paisagem em estudos: na costa amazônica, na Ilha de Cotijuba, Belém-PA (Brito, Coelho e Beltrão, 2023), na predição de cenários de desmatamento em Rondônia (Floreano e Moraes, 2021) e na simulação de ilhas de calor em ambientes urbanos em Bangladesh (Kafy *et al.*, 2020).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar se as regiões mais altas da bacia ainda funcionam como vetor do crescimento urbano na paisagem da Bacia do Tucunduba. Para esse propósito, empregou-se o uso de imagens orbitais de sensoriamento remoto classificadas por métodos de aprendizado de máquina, avaliando-se a mudança da paisagem em um período de 30 anos, no intervalo de 1994, 2009 e 2024.

METODOLOGIA

A área de estudo da bacia hidrográfica foi delimitada em *software* de geoprocessamento de acordo com o polígono disponibilizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2024).

Para a caracterização dos padrões de Uso e Cobertura do Solo, utilizou-se imagens Landsat-5, Landsat-8 e Landsat-9, de reflectância de superfície, para os anos de 1994, 2009 e 2024, respectivamente, no *Google Earth Engine* (Gorelick *et al.*, 2017). As imagens foram selecionadas para o período de inverno do hemisfério sul, entre os meses de maio e junho, e aquelas com a menor cobertura de nuvens foram selecionadas. Além disso, um vetor com a rede de drenagem do município de Belém foi obtido através do portal da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará-Semas (Pará, 2024).

A classificação temática das imagens foi realizada utilizando-se o algoritmo de aprendizado supervisionado *Random Forest* (RF). As classes de interesse foram definidas como: Floresta (1), Área Urbana (2), Vegetação Capoeira (3), Corpos d'Água (4) e Solo Exposto (5). Cabe ressaltar que a Classe 3 também engloba aspectos morfológicos característicos de vegetação arbustiva e de capoeira. Isso ocorre devido à similaridade das características espectrais dos alvos em análise.

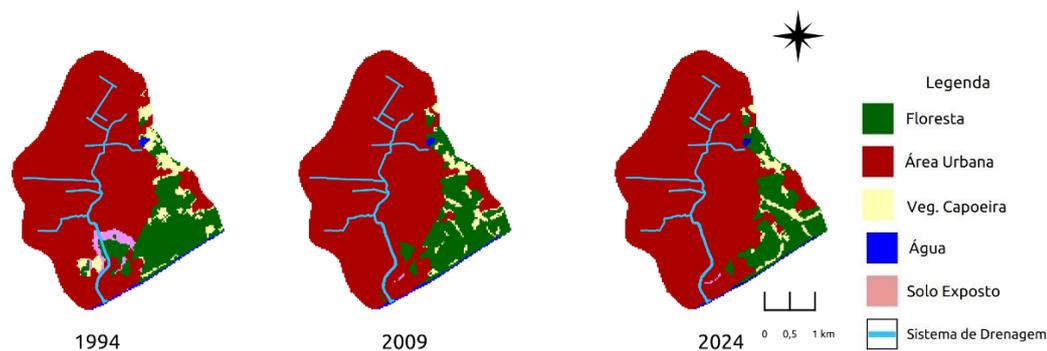
Uma amostragem de 100 pixels por classe foi realizada para cada imagem e, em seguida, utilizada como *input* do RF. Os hiperparâmetros do algoritmo foram definidos de acordo com trabalho anterior: *Number of Trees* = 100, *Variables per Split* = 2, *Minimum Leaf Population* = 1 e *Bag Fraction* = 0.4 (Sun e Ongsomwang, 2023)

As imagens classificadas foram recortadas para a área de estudo e exportadas para análise estatística.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta as imagens após a classificação temática. A mudança da paisagem de ambientes fluviomarinhos para áreas urbanizadas, principalmente em áreas distantes da cidade, ressalta a pouca preocupação quanto à preservação da drenagem e recuperação da vegetação de várzea.

Figura 1. Evolução das unidades de uso do solo, entre elas: área urbana, água, floresta, vegetação capoeira e sistema de drenagem.



Fonte: Os autores (2024).

A degradação ambiental na bacia do Tucunduba se intensifica no final do século XX, com a ocupação espontânea de grupos de trabalhadores urbanos e rurais de diversas localidades. Em uma análise mais recente, em 1994, tais áreas já se encontravam ocupadas por infraestrutura urbana, correspondendo a 75,69% da área de estudo. Entretanto, para o período analisado, um intenso processo de degradação ambiental ainda foi observado, apresentando a substituição da cobertura florestal por vegetação capoeira. A dinâmica de mudança de uso e cobertura do solo pode ser observada na Tabela 1, que apresenta a evolução das áreas ocupadas por cada uma das classes em análise.

Tabela 1: Área superficial (km²) das classes água, área urbana, vegetação capoeira, solo exposto e floresta.

Classe	1994	2009	2024
Floresta	2,1222	1,9800	1,6668
Área Urbana	9,6183	10,2195	10,5336
Veg. Capoeira	0,6012	0,3762	0,3771
Água	0,1197	0,1233	0,1179
Solo Exposto	0,2457	0,0081	0,0117

Fonte: Os autores (2024).

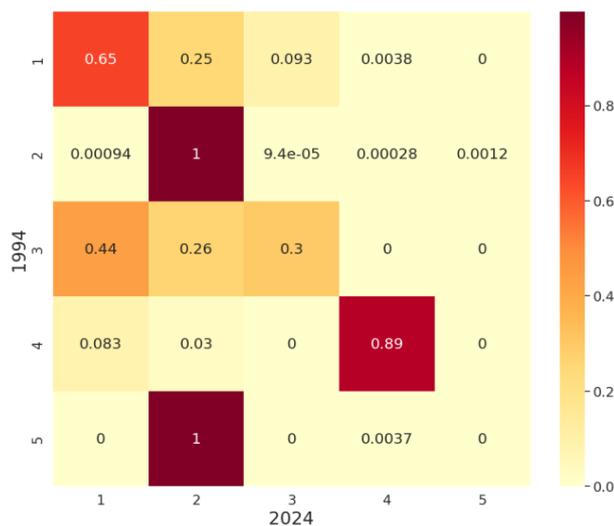
Além disso, sabe-se que as áreas de floresta de terra firme foram escolhidas para a construção de grandes vias de trânsito, como as avenidas Perimetral e Celso Malcher. Essas intervenções foram feitas mesmo com parte da população sem acesso a esgoto e drenagem de qualidade, resultando na persistência de alagamentos por décadas na bacia

do Tucunduba (G1 Pará, 2023). Anteriormente ao Projeto de Macrodrenagem da Bacia do Tucunduba, havia a possibilidade de recuperação de igarapés, quando ainda existiam alguns ambientes em várzeas na região.

A Figura 2 apresenta o mapa de transição de classes nos anos inicial e final da análise. A transformação das áreas florestais (Classe 1) em vegetação capoeira (Classe 3) foi intensa ao longo do período em análise, 9,3% entre os anos inicial e final. Esse fato é exemplificado pela construção da Av. Liberdade, que ocupa áreas florestais para o desenvolvimento de infraestrutura para a recepção da COP 30.

O movimento contrário também foi observado, onde cerca de 44% das áreas de vegetação capoeira, que tinham predomínio de gramíneas e vegetação de médio porte, foram substituídas por florestas de terra firme. Esse fenômeno ocorreu na região nordeste da área de estudo, onde estão presentes a Embrapa e o Museu Paraense Emílio Goeldi. Esse fato destaca a importância de autarquias públicas na preservação do patrimônio ambiental urbano.

Figura 2: Matriz de Transição (1994 - 2024).



Fonte: Os autores (2024).

A principal transição ocorreu, como esperado, da Classe Floresta para a Classe Área Urbana. Nesse caso, a fitofisionomia amazônica deu lugar às áreas ocupadas por pessoas e prédios a uma taxa de 25%. Como se verifica na Figura 1, a infraestrutura urbana tem comprimido as áreas florestais para uma faixa cada vez mais estreita no sentido Oeste-Leste.

Em caso isolado, houve uma forte ocupação urbana no sul da bacia, porém, inicialmente relacionadas as infraestruturas da Universidade Federal do Pará, e posteriormente, aos residenciais Liberdade I e II, no bairro Universitário. Pois a ocupação em áreas que estão as estruturas da instituição federal, ocorreu em ambientes inundáveis e de floresta, e nos residenciais, a ocupação ocorreu a partir do projeto de reassentamento dos residenciais, desenvolvido em 2008 pela Companhia de Habitação do Estado do Pará-COHAB (Nascimento e Leão, 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A ocupação em planícies fluviais, terraços e florestas de terra firme pela população reflete a transformação dos ambientes da bacia do Tucunduba diante do desenvolvimento urbano nas periferias de Belém-PA, mesmo desproporcional a realidade. As análises evidenciaram uma evolução contínua da mancha urbana sobre as áreas de vegetação capoeira e floresta na porção sul da bacia. Essas áreas, no entanto, deveriam ser preservadas para a recuperação faunística e florística dos ambientes. A análise dos dados revela ainda que, em vez de crescimento das áreas florestais, houve uma conversão dessas em mata capoeira e alterada.

A paisagem da bacia se transformou de forma rápida em relação a outras localidades em razão da rápida ocupação urbana em Belém. De forma problemática, nas áreas de florestas, ocorreu o aterramento das nascentes de afluentes do Tucunduba. Identificou-se a destruição dos ambientes de forma contínua na periferia, região predominantemente de planícies e terraços fluviais.

A influência do ser humano transformou e canalizou mais de 12 corpos d'água na região. Essa ação totaliza mais de 22,24 km de drenagens concretadas, com exceção do rio principal, que apresenta cobertura vegetal arbustiva e arbórea. Por estarem em planícies de inundação, a influência da maré provoca o agravamento dos problemas de inundação quando coincidem com intensos períodos chuvosos, resultando em maiores inundações, e, alagamentos em áreas altas com escassez de drenagem.

Por fim, os resultados obtidos mostram que a mudança desses ambientes visa contribuir para uma menor infiltração de água, devido a contínua intervenção nos solos de ambientes de floresta e capoeira da área de estudo, onde o bairro mais afetado da bacia será o bairro de Terra Firme, com maiores proporções de alagamentos. Nessa região, há diversas áreas aterradas que, mesmo com problemas relacionados à coleta de

esgoto e drenagem desde a sua fundação, são consideradas áreas urbanizadas há décadas.

Palavras-chave: Ambientes; Florestas; Ocupação.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A. N. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas** / Aziz Nacib Ab'Sáber. – 8. ed. – Cotia, SP: Ateliê Editorial, 2021. 160 p.

BRASIL. Agência Nacional de Água e Saneamento Básico. **Nível 2 de Sub-bacias do Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, 2024. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/6141f37f-f15d-42e7-8495-ae9ddad0846f>. Acesso em: 25 ago. 2024.

BRITO, C. S. dos S; COELHO, B. C; BELTRÃO, N. E. S. Utilização de Algoritmos de Aprendizagem de Máquina para Classificação de Imagens e Avaliação da Degradação Ambiental na Ilha de Cotijuba (PA). **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE - Florianópolis-SC, Brasil. 2023. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2023/05.18.16.13/doc/156509.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2024.

DA COSTA TAVARES, M. G. **A Amazônia brasileira: formação histórico-territorial e perspectivas para o século XXI**. GEOUSP Espaço e Tempo (Online), v. 15, n. 2, p. 107-121, 2011.

FLOREANO, I. X; MORAES, L. A. F. de. Land use/land cover (LULC) analysis (2009–2019) with Google Earth Engine and 2030 prediction using Markov-CA in the Rondônia State, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 4, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09016-y>. Acesso em: 25 ago. 2024.

GÉRON, A. **Hands-on machine learning with scikit-learn & tensorflow: concepts, tools, and techniques to build intelligent systems**. By Aurélien Géron, 2 ed. Editor: Nicole Tache, O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472, 2019. 510pp.

G1 PARÁ. Forte chuva alaga posto de saúde na Terra Firme e deixa diversos pontos de alagamentos em Belém. **G1 Pará**, Belém-PA, 11 maio 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2023/05/11/forte-chuva-alaga-posto-de-saude-na-terra-firme-e-deixa-diversos-pontos-de-alagamentos-em-belem.ghtml>. Acesso em: 23 ago. 2024.

GONÇALVES, A. M. O processo de urbanização na cidade de Belém do Pará durante a Belle Époque e seus impactos. **Oficina do Historiador**, v. 15, n. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.15448/2178-3748.2022.1.37865>. Acesso em: 25 ago. 2024.

GORELICK, N; HANCHER, M; DIXON, M; ILYUSHCHENKO, S; THAU, D; MOORE, R. Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. Acesso em: 25 ago. 2024.

KAFY, A. A; RAHMAN, M. S; FAISAL, A. A; HASAN, M. M; ISLAM, M. Modelling future land use land cover changes and their impacts on land surface temperatures in Rajshahi, Bangladesh. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 18, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100314>. Acesso em: 25 ago. 2024.

LUZ, L; RODRIGUES, J. E; CRISTO, L. SILVA, A. L. Estudo geomorfológico em bacias urbanas: uma análise da bacia do tucunduba, Belém–Pa. IX Sinageo – 9º Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais do 9º Sinageo**, Rio de Janeiro, v. 9, 2012. Disponível em: <https://www.sinageo.org.br/2012/trabalhos/2/2-284-516.html>. Acesso em: 26 ago. 2024.

NASCIMENTO, V; LEÃO, M. Urbanização De Assentamentos Precários: As Intervenções Na Bacia Do Tucunduba Em Belém-PA. **VI Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo**, 2020.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (Pará). **Sistema de Informações Geográficas (SIG) do Pará**. Governo do Pará, Belém, 2024. Disponível em: <http://sistemas.semas.pa.gov.br/sigerhpa/sig/app/index.html#>. Acesso em: 25 ago. 2024.

RIBEIRO, R. M; AMARAL, S; MONTEIRO, A. M. V; DAL'ASTA, A. P. Os processos de urbanização e conversão florestal na Amazônia paraense – um estudo multiescalar. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 35, n. 3, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.20947/s102-3098a0068>. Acesso em: 25 ago. 2024.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado: fundamentos teóricos e metodológicos da geografia**. Milton Santos, 6 ed., Edusp, São Paulo, 2022. 122p,

SILVA, R. B. da. **A implementação dos bondes elétricos na cidade de Belém: o liberalismo higienista da elite belenense (1900-1909)**. Orientadora: Siméia de Nazaré Lopes. 2023. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em História) – Campus Universitário de Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2023. Disponível em: <https://bdm.ufpa.br:8443/jspui/handle/prefix/5872>. Acesso em: 25 ago. 2024.

SUN, L; CHEN, J; LI, Q; HUANG, D. Dramatic uneven urbanization of large cities throughout the world in recent decades. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19158-1>. Acesso em: 25 ago. 2024.

SUN, J; ONGSOMWANG, S. Optimal parameters of random forest for land cover classification with suitable data type and dataset on Google Earth Engine. **Frontiers in Earth Science**, v. 11, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/feart.2023.1188093>. Acesso em: 25 ago. 2024.