



Análise comparativa de uso e cobertura da terra no município de Alcântara, Maranhão, Brasil

Comparative Analysis of Land Use and Land Cover in Alcântara, Maranhão, Brazil

Nayara Ketlen Cunha Ribeiro¹, Jardenilson Souza Garcia¹, Ana Maria Bender Seidenfuss das Neves², Sergio Serra Silva³, Emanuele Silva Costa³, Anderson Diego da Silva Araujo³, Jefferson Matos Teixeira⁴, Aline Bessa Veloso⁵, João Paulo Tenório da Silva Santos⁶, Daniely Gaspar De Sousa⁶, Yllana Ferreira Marinho⁶, Joel Artur Rodrigues Dias⁶, Mikele Candida Sousa de Sant'Anna⁶, Hilton Costa Louzeiro⁶, Adilson Matheus Borges Machado⁶

- 1 – Estudantes do Ensino Médio, Centro Educa Mais Aquiles Batista, Alcântara, Maranhão, Brasil;
- 2 – Professora, Centro Educa Mais Aquiles Batista, Alcântara, Maranhão, Brasil;
- 3 – Estudantes de graduação em Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Pinheiro, Maranhão, Brasil;
- 4 – Graduado em Engenharia de Pesca, Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Pinheiro, Maranhão, Brasil;
- 5 – Coordenadora de Desenvolvimento de Competências e Tecnologia, Agência Espacial Brasileira (AEB), Brasil;
- 6 – Professores, Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Maranhão, Brasil;

Estudantes: Nayara Ketlen Cunha Ribeiro¹, Jardenilson Souza Garcia¹

Consentimento dos Pais: Sim

Escola: Centro Educa Mais Aquiles Batista Vieira

Professor: Ana Maria Bender Seidenfuss das Neves²

Data: 18/02/2025



ABSTRACT

Transformations in land use and land cover (LULC) reflect complex environmental and socioeconomic dynamics, driven by both natural processes and human activities. These changes can profoundly impact biodiversity, water resources, and local climate, highlighting the need for continuous monitoring. In Alcântara, Maranhão, LULC transformations over the past three decades have been primarily influenced by agricultural expansion and aerospace projects. This study aims to analyze LULC changes in Alcântara over the last 30 years while fostering scientific education and community engagement through the GLOBE STEAM program. A mixed-methods approach was employed, integrating quantitative and qualitative analyses to identify landscape change patterns. Data were obtained from MapBiomas (Landsat 30m) and Sentinel-2 (10m) using Google Earth Engine and QGIS 3.34.4 LTR. The results indicate relative stability in mangrove and forest areas, while urban infrastructure has expanded despite a declining population. Forest cover decreased by 55.50 km², whereas pastureland increased by 79.73 km². The findings suggest a trend of forest conservation alongside gradual urban expansion, contributing to a deeper understanding of local environmental dynamics. These insights provide valuable input for territorial planning policies. Future research should further explore the relationship between LULC changes and environmental indicators, such as surface temperature variations and precipitation trends.

Keywords: LULC, MapBiomas, remote sensing, GLOBE, STEAM.



1. Research question and hypothesis

Question: Como as análises de uso e cobertura da terra (LULC), associadas à ciência cidadã por meio do Programa GLOBE e seus protocolos, podem contribuir para o planejamento territorial sustentável de Alcântara, minimizando impactos ambientais com vistas a um planejamento das atividades antrópicas, associado à conservação da biodiversidade e ao desenvolvimento social, econômico e sustentável da região?

Hypothesis: As análises de uso e cobertura do solo (LULC) são indispensáveis para a busca pelo planejamento racional e ordenado das atividades que levam à expansão de mercado e avanço da infraestrutura urbana que poderá gerar impactos e processos negativos no planejamento territorial e na implementação de políticas públicas sustentáveis. Além disso, artigos científicos indicaram que os impactos das mudanças de LULC contribuem direta e indiretamente para questões ambientais, como poluição do ar e da água, desertificação, os processos hidrológicos em grandes bacias, reduzir a resiliência da floresta a eventos extremos (por exemplo, seca) e degradação da terra que geram o aumento das emissões de carbono (Zhang et al. 2022; Seixas et al. 2025).

A paisagem de Alcântara passou por transformações ao longo das últimas três décadas, caracterizadas pela expansão urbana e a conservação das áreas naturais. Existem poucos estudos acerca da dinâmica da paisagem utilizando geoprocessamento, sensoriamento remoto associados a dados de campo no município de Alcântara, no Maranhão. Nesta perspectiva, a ciência cidadã, promovida pelo Programa GLOBE, pode fornecer metodologias para a coleta de dados relacionados aos protocolos de cobertura do solo *in situ* com participação ativa dos estudantes no monitoramento ambiental no município de Alcântara, Maranhão. Tal contribuição permite a compreensão das dinâmicas ambientais que moldam a região em escala de detalhes.

2. Introduction

As transformações no uso e cobertura da terra (LULC) são indicadores para compreensão das dinâmicas ambientais e socioeconômicas de uma região. As atividades humanas estão alterando os padrões existentes de LULC, e as alterações nessas características podem resultar de processos naturais ou de atividades humanas, impactando diretamente a biodiversidade, os recursos hídricos e o clima local. Estudos anteriores indicam que mudanças no LULC podem levar à fragmentação de habitats e à degradação ambiental, afetando a resiliência dos ecossistemas (Manzanarez et al., 2022; Ullah et al., 2024).



No entanto, os desafios relacionados à qualidade dos dados são importantes no processo de construção de análises mais condizentes com a realidade, para o sucesso de projetos de monitoramento ambiental. A consistência dos dados é um fator muito importante, especialmente quando os mapas são gerados a partir de um único sensor, garantindo homogeneidade na aquisição e processamento das informações. Embora essa abordagem traga vantagens, também impõe desafios, os quais cientistas de dados podem identificar discrepâncias entre os produtos (i.e., GlobCover 2005 e 2009) (Congalton *et al.*, 2014). Essas variações ressaltam a necessidade de métodos de validação, assegurando maior confiabilidade na análise e interpretação das mudanças na cobertura da terra ao longo do tempo (Nedd *et al.*, 2021).

Dentro desse cenário, o projeto GLOBE (*Global Learning and Observations to Benefit the Environment* - GLOBE) (<https://www.globe.gov>), é um programa internacional de ciência e educação em operação desde 1995 (GLOBE, 2024). É importante ressaltar que a coleta de dados a partir de programas como o GLOBE dão suporte à validação e interpretação de dados de sensoriamento remoto usados para classificação e mapeamento da cobertura da terra. No estado do Maranhão, especialmente na cidade de Alcântara, mudanças de uso da terra têm sido observadas ao longo das últimas décadas. A região, caracterizada por uma rica diversidade ecológica e cultural, tem sido influenciada por diversas atividades humanas, incluindo agricultura, pesca e, mais recentemente, projetos aeroespaciais. O protocolo de cobertura da terra no aplicativo do GLOBE Observer primeiro treina cientistas cidadãos e, em seguida, facilita o registro da cobertura da terra com fotografias e classificações georreferenciadas, disponibilizando os dados em tempo real.

A relevância deste estudo reside na necessidade de compreender como essas transformações afetam o meio ambiente e as comunidades locais. Ao investigar as mudanças no LULC em Alcântara, é possível identificar padrões de uso da terra que podem estar contribuindo para a degradação ambiental ou, inversamente, para a conservação dos recursos naturais. Além disso, ao envolver estudantes locais por meio dos programas GLOBE (*Global Learning and Observations to Benefit the Environment*) sob a perspectiva da metodologia STEAM (*Science, Technology, Engineering, Arts e Math* - Ciência, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática em português), o estudo promove a educação científica e o engajamento comunitário na conservação do meio ambiente.



A participação ativa dos estudantes no monitoramento ambiental não apenas enriquece o processo educativo, mas também contribui para a construção de um banco de dados ambiental relevante para a comunidade científica e para a sociedade. Por exemplo, atividades de campo envolvendo a coleta de dados sobre a cobertura da terra e a qualidade da água permitiram que os estudantes aplicassem conceitos teóricos na prática, desenvolvendo habilidades científicas e uma compreensão mais profunda das dinâmicas ambientais locais.

Para a comunidade de Alcântara, compreender as transformações no uso e cobertura da terra é fundamental para o desenvolvimento de políticas públicas que promovam o uso sustentável dos recursos naturais. Além disso, o envolvimento dos estudantes locais em atividades de monitoramento ambiental fortalece o vínculo entre a comunidade e o meio ambiente, promovendo a conscientização ambiental e a formação de cidadãos comprometidos com a sustentabilidade.

Este estudo tem o objetivo de investigar as transformações no uso e cobertura da terra em Alcântara, Maranhão, ao longo dos últimos 30 anos, integrando a participação dos estudantes locais por meio dos programas GLOBE STEAM. A hipótese central é que, nesse período, Alcântara apresentou mudanças no uso e cobertura da terra, caracterizadas pela expansão de áreas urbanizadas e modificações nas áreas naturais. Além disso, a integração de estudantes locais em atividades de monitoramento ambiental, através dos programas GLOBE STEAM, não apenas enriqueceu o processo educativo, mas também forneceu dados importantes que contribuem para a compreensão dessas transformações e para a promoção da ciência cidadã no município.

3. Materials and methods

3.1. Study area

A pesquisa foi realizada no município de Alcântara, Maranhão, localizado na Mesorregião Norte Maranhense, Microrregião Litoral Ocidental Maranhense, uma região caracterizada por um ecossistema diversificado com bioma predominantemente amazônico. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é tropical (Aw') com dois períodos bem definidos: um chuvoso, de janeiro a junho, e outro de estiagem, correspondente aos meses de julho a dezembro (Cavalcanti et al., 2022). As principais atividades econômicas envolvem agricultura, pesca e projetos espaciais (Figura 1).

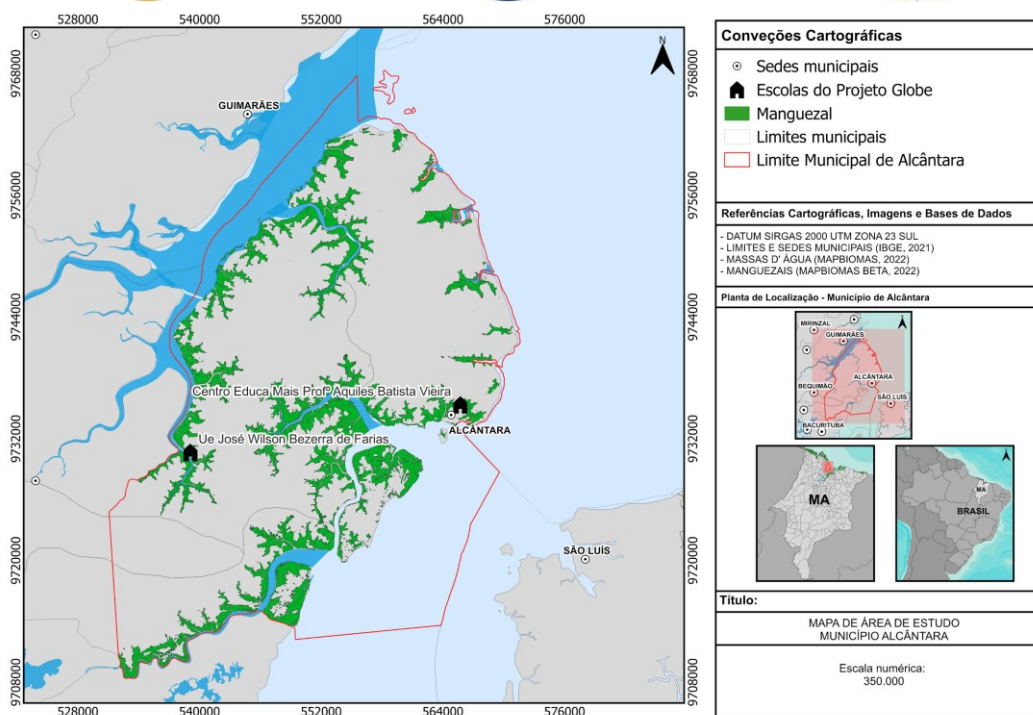


Figura 1 - Mapa e Área de Estudo do município de Alcântara, MA.

3.2. Data summary and analysis

A metodologia adotada neste estudo estabelece uma relação direta entre os conjuntos de dados analisados e as questões de pesquisa levantadas, utilizando abordagens quantitativas e qualitativas para interpretar as mudanças no uso e cobertura da terra na região de Alcântara. Os dados coletados utilizando os protocolos do GLOBE, especificamente o protocolo de Cobertura do Solo (*Land Cover*), que permite a caracterização da paisagem terrestre por meio de observações visuais e imagens de satélite. Este protocolo envolve a coleta de dados por meio de fotos georreferenciadas e a comparação com imagens de sensoriamento remoto.

Para analisar as transformações na cobertura e uso da terra em Alcântara entre 1985 e 2023, foram utilizados dados da Coleção 9 do MapBiomias, que utiliza imagens do satélite Landsat com resolução espacial de 30 metros. Esses dados foram obtidos no Google Earth Engine e processados no QGIS 3.34 LTR para a criação de mapas temáticos anuais. A organização e análise dos dados de área (km²) foram realizadas no Excel Online, enquanto a análise numérica e a criação de gráficos foram conduzidas em Python no Google Colab. Essas ferramentas permitiram o processamento eficiente de dados geoespaciais, facilitando a identificação de padrões e mudanças na paisagem ao longo do tempo.

Com o objetivo de comparar os dados de 30 metros com dados de maior resolução, foi utilizada a Coleção BETA do MapBiomias, disponível para o período de 2016 a 2022. Essa



coleção, ainda em fase experimental, representa um avanço no mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil, utilizando imagens do satélite Sentinel-2 com resolução espacial de 10 metros, adotando metodologia e legenda semelhantes à Coleção 7.1 do MapBiomass. Foi realizada também atividades de campo com os alunos do 1º ano do ensino médio da CEM Aquiles Batista, localizada na cidade de Alcântara, com o objetivo de integrar conceitos práticos de Land Cover (cobertura da terra) e qualidade de água.

A atividade contou com a participação de 15 alunos, visando o entendimento dos conceitos discutidos previamente em sala de aula, Capacitados através do Programa GLOBE e da metodologia STEAM, os alunos participaram da coleta de dados em campo utilizando o aplicativo *GLOBE Observer*, que permitiu o registro de observações ambientais, como cobertura da terra. Esses dados enriquecem o banco de dados do GLOBE e foram posteriormente integrados aos dados do MapBiomass para uma análise mais abrangente (Figura 2).



Figura 2 - Utilização do aplicativo GLOBE na coleta de dados do uso da terra no município de Alcântara, Maranhão, Brasil.

* As imagens dos estudantes foram distorcidas para proteger os direitos de imagem daqueles cujos pais não assinaram o NASA Media Release for Parent and Minor.

Os dados coletados utilizando os protocolos do GLOBE, especificamente o protocolo de Cobertura do Solo (*Land Cover*), que permite a caracterização da paisagem terrestre por meio de observações visuais e imagens de satélite. Os locais de amostragem foram escolhidos



com base em critérios de representatividade ambiental, incluindo áreas urbanizadas e de vegetação natural, como o mapa mostra os pontos de coleta no Porto do Jacaré e na Fonte das Pedras (Figura 3).

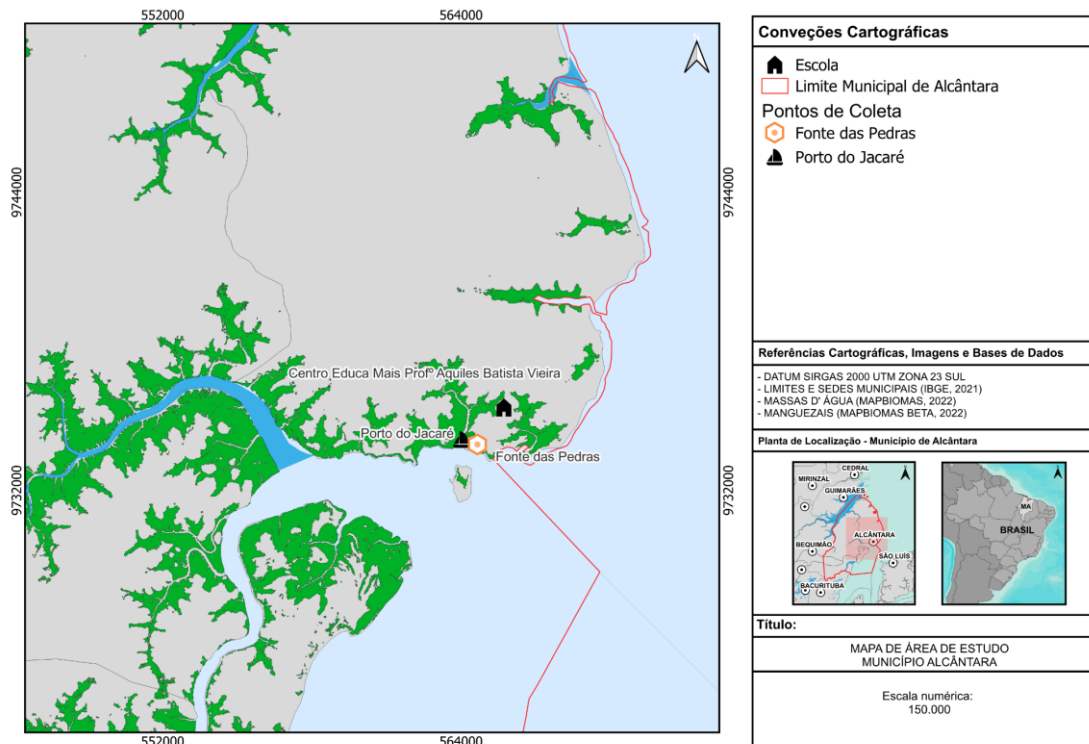
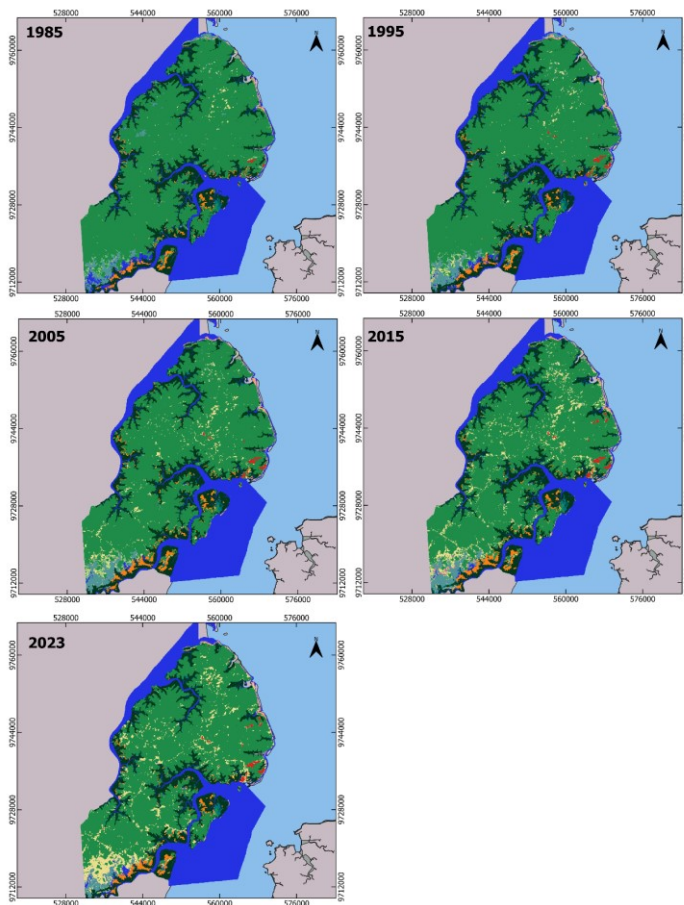


Figura 3 - Mapa de localização dos pontos de aplicação dos protocolos GLOBE no município de Alcântara, MA.

4. Results

Os mapas e o gráfico apresentados revelam a evolução do uso e cobertura da terra no município de Alcântara, Maranhão, de 1985 a 2023, destacando a dinâmica territorial ao longo do período analisado (Figura 4). As áreas de manguezais e formação florestal são as mais predominantes e apresentam relativa estabilidade. As áreas de infraestrutura urbana mostram um crescimento ao longo do período, especialmente próximas à sede municipal, essa tendência aponta para o crescimento populacional que saiu de 21.521 em 2010 e passou para 18.467 em 2022, uma queda de -14,2% (IBGE, 2022).



Conversões Cartográficas	
Classes de Uso e Cobertura da Terra	
	Formação Florestal
	Savanna Formation
	Manguezal
	Floresta Alagável
	Campo Alagado e Área Pantanosa
	Formação Campestre
	Pastagem
	Praia, Duna e Areal
	Área Urbanizada
	Outras Áreas não Vegetadas
	Apicum
	Rios, Lagos e Oceanos
	Outras Lavouras Temporárias
Referências Cartográficas	
- DATUM SIRGAS 2000 UTM ZONA 23 SUL	
- DADOS DE USO E COBERTURA DA TERRA (MAPBIOMAS, 2023)	
- LIMITES E SEDES MUNICIPAIS (IBGE, 2022)	
Planta de Localização - Alcântara - MA	
Elaboração:	
Elaboração: Sérgio Serra Silva	
Orientador: Dr. Adilson Matheus Borges Machado	
Título:	
MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA MUNICÍPIO DE ALCÂNTARA - MA	
Escala	
Escala Numérica: 1:440.000	

Figura 4 - Mapa de uso e cobertura da terra do município de Alcântara na resolução de 30 metros.

Com base nos resultados obtidos (Figura 5), observa-se que a formação florestal apresentou uma redução de 55,50 km² entre 1985 e 2023, que pode estar associado a processos de desmatamento e conversão para outros usos, como a expansão da pastagem, que aumentou em 79,73 km². A formação savânica e os campos alagados tiveram reduções de 5,07 km² e 15,71 km², respectivamente. Por outro lado, a floresta alagável apresentou um pequeno aumento de 2,50 km², sugerindo possíveis variações sazonais ou processos naturais de recuperação da vegetação aluvial.

As áreas de apicum apresentaram variações menos expressivas. A pastagem apresentou um aumento de 79,73 km² entre 1985 e 2023, indicando a intensificação da agropecuária na região. Essas flutuações podem estar associadas a atividades humanas, como a pecuária e a exploração de recursos naturais, ou a mudanças climáticas que influenciam diretamente os usos temporários do solo. Classes menores, como praia e duna, permanecem estáveis, enquanto áreas como outras lavouras temporárias oscilam, possivelmente em função de demandas sazonais da agricultura local (Tabela 1).



Tabela 1. Tabela de transição do uso da terra de 1985 a 2023 na resolução de 30 metros.

Classes	1985 (km ²)	2023 (km ²)	Variação (2023 - 1985) (km ²)
Formação Florestal	809,16	753,66	-55,50
Formação Savânica	6,40	1,33	-5,07
Mangue	218,89	215,57	-3,32
Floresta Alagável	13,20	15,70	+2,50
Campo Alagado e Área Pantanosa	32,03	16,32	-15,71
Formação Campestre	2,24	1,18	-1,06
Pastagem	4,67	84,40	+79,73
Praia, Duna e Areal	4,00	5,08	+1,08
Área Urbanizada	1,41	6,18	+4,77
Apicum	22,39	23,99	+1,60
Rio, Lago e Oceano	371,33	361,25	-10,08

O gráfico evidencia transformações no uso e cobertura da terra no Brasil entre 1985 e 2023. A formação florestal apresentou uma redução de 55,50 km² entre 1985 e 2023. A pastagem aumentou em 79,73 km² no mesmo período. Já o campo alagado e a área pantanosa diminuíram em 15,71 km² (Figura 5).

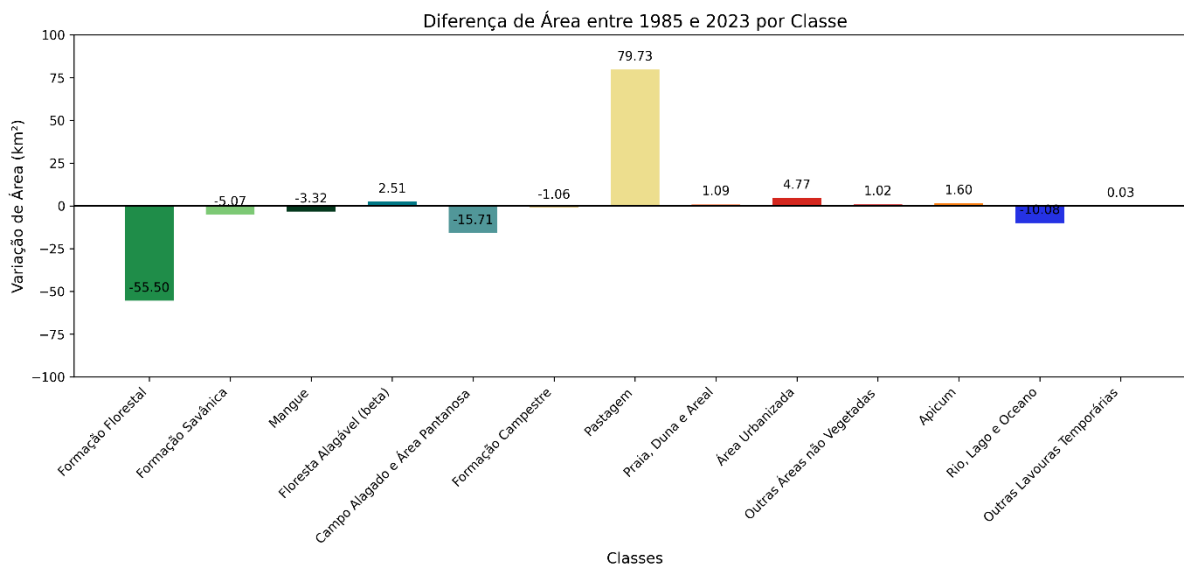


Figura 5 - Gráfico com as áreas de transição (km²) entre 1985 e 2023 na resolução de 30 metros.

O gráfico mostra que as classes com maior área, como formação florestal e manguezais, permanecem dominantes, enquanto as classes relacionadas à urbanização e infraestrutura têm mostrado crescimento. Os dados evidenciam um padrão de substituição das formações naturais por áreas de uso antrópico, especialmente pastagem e infraestrutura urbana. A redução das



áreas florestais e savânicas sugere a conversão para atividades agrícolas e pecuárias, o que pode ter impactos ambientais, como aumento da erosão do solo e redução da biodiversidade.

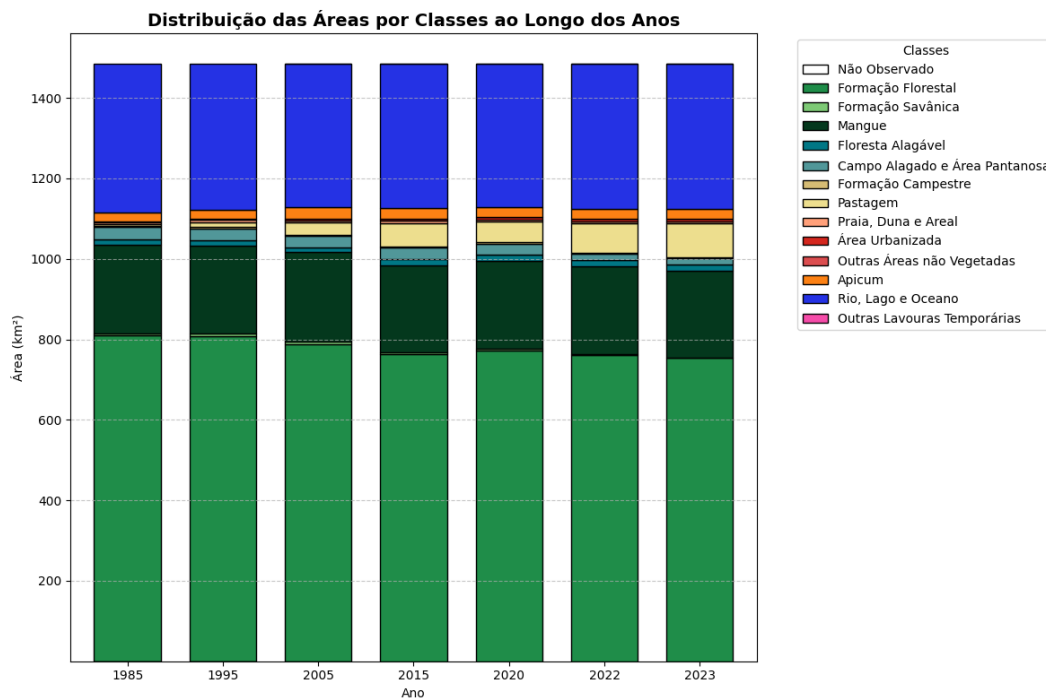


Figura 6 - Gráfico com as áreas (km²) das classes de uso e cobertura da terra (1985 - 2023) com resolução espacial de 30 metros.

O aplicativo do *Globe Observer* foi utilizado para permitir que os estudantes entendessem como ser um cientista cidadão a partir da coleta de dados consistentes usando a ferramenta do uso da terra. As variáveis de LULC são importantes nas análises de dados sobre o desmatamento e a expansão agrícola no bioma Amazônia (Seixas *et al.*, 2025), mudanças nos padrões de precipitação em decorrência do desmatamento (Debortoli *et al.*, 2016), alteração dos padrões da paisagem e sua relação com o aumento da temperatura da superfície terrestre (Ullah *et al.*, 2024), entre outras aplicações.

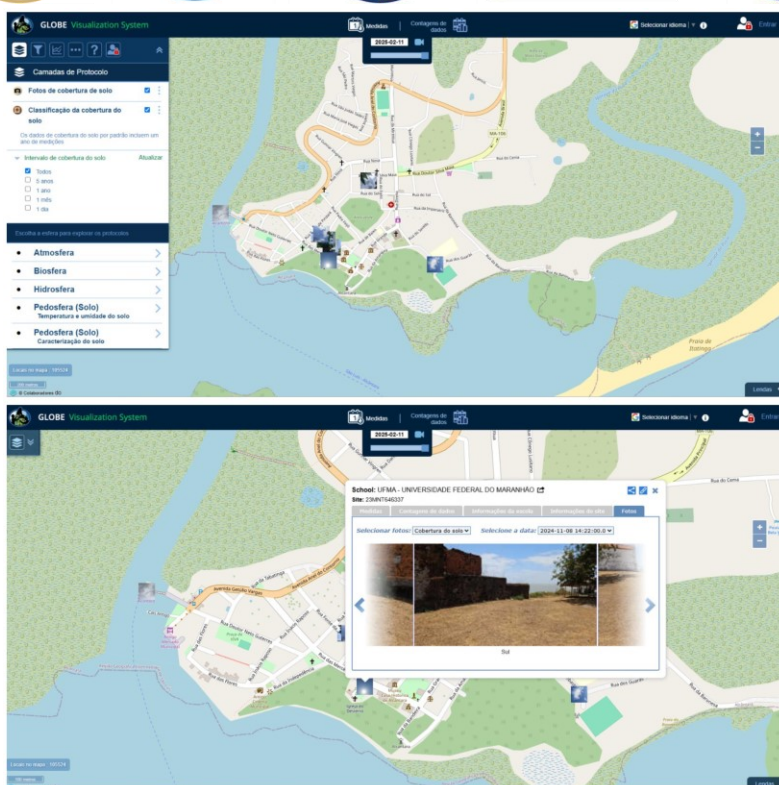


Figura 7 - Dados obtidos no aplicativo GLOBE Observer utilizando o protocolo Land Cover.

Os mapas comparativos de uso e cobertura da terra para o município de Alcântara, baseados em imagens dos sensores Landsat (30m) e Sentinel-2 (10m), mostraram mudanças entre os anos de 2016, 2020 e 2022. A formação florestal, predominante na região, apresentou uma diminuição ao longo do tempo seguindo e as áreas de uso antrópico, como pastagens e lavouras temporárias, apresentaram um aumento perceptível, especialmente entre 2016 e 2020, sugerindo um avanço das atividades de agricultura.

Além disso, os manguezais permanecem estáveis e distribuídos ao longo da linha de costa sem grandes alterações. As classes Apicum e Outras Áreas Não Vegetadas mostraram uma leve expansão ao longo dos anos, possivelmente refletindo processos naturais de sedimentação e variações na dinâmica costeira. A comparação entre os sensores Landsat e Sentinel-2 revela que o Sentinel-2, com sua maior resolução espacial (10m), consegue capturar melhor pequenas áreas de uso antrópico e mudanças sutis na vegetação, enquanto o Landsat (30m) oferece uma visão geral consistente, porém com menor detalhamento, suavizando algumas transições na paisagem (Figura 8).

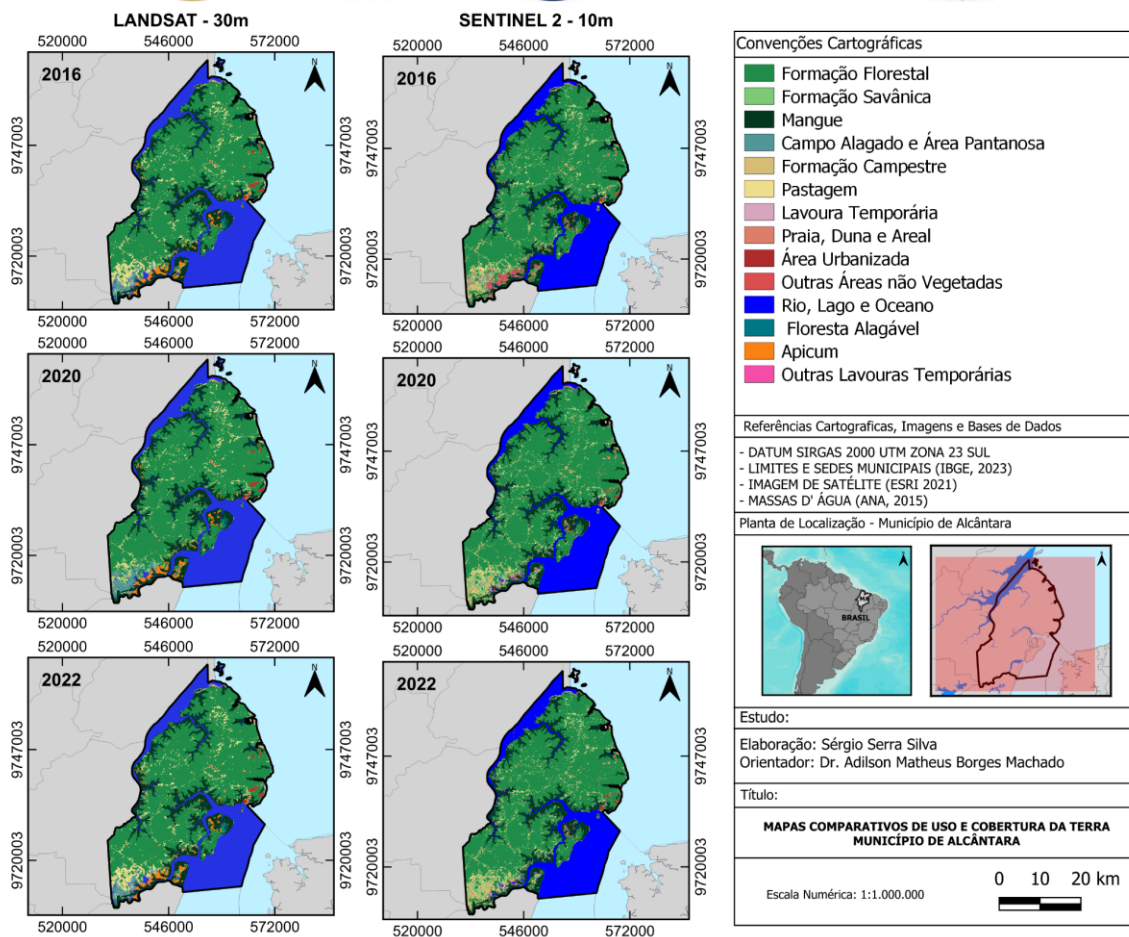


Figura 8 - Mapa comparativo de uso e cobertura da terra do município de Alcântara na resolução de 30 metros (Landsat) e 10 metros (Sentinel-2).

O gráfico apresenta as diferenças na estimativa de áreas entre as resoluções de 10 metros (Sentinel-2) e 30 metros (Landsat) para diferentes classes de LULC no município de Alcântara (Figura 9). Observa-se que a classe de formação florestal apresenta uma diferença positiva (+35,02 km²). Da mesma forma, a vegetação savânica também apresenta uma diferença positiva (+18,57 km²) na estimativa feita com a resolução mais detalhada. Em contrapartida, as classes de mangue (-28,49 km²) e vegetação alagável (-23,46 km²) apresentam reduções quando analisadas com maior resolução. As classes de pastagem (-1,33 km²) e área urbanizada (-3,67 km²) mostram menores diferenças.

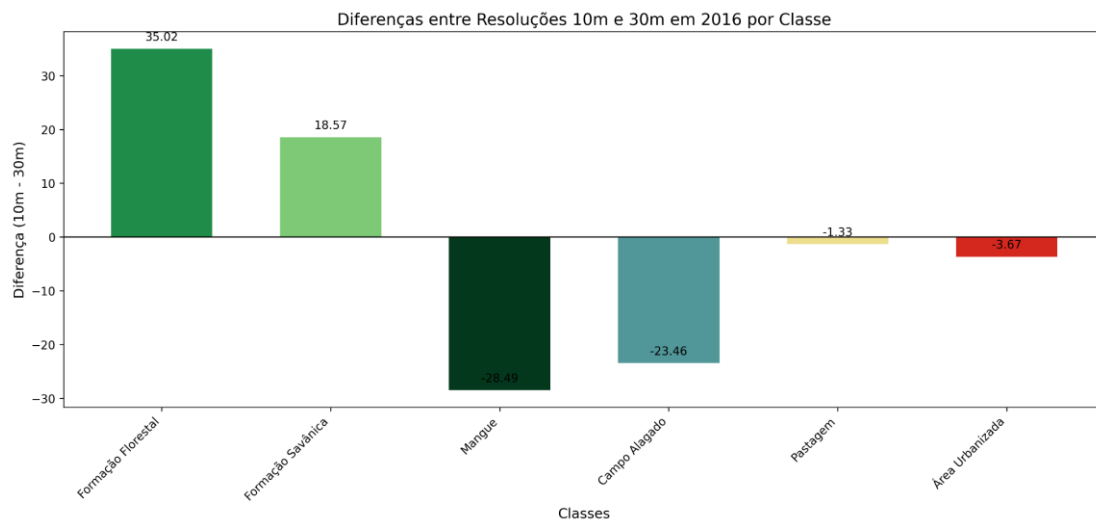


Figura 8 - Gráfico comparativo com os valores de uso e cobertura da terra do município de Alcântara (10 metros - 30 metros) para os anos de 2016 e 2022.

5. Discussion

O mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil, realizado pelo MapBiomas, revela que entre 1985 e 2022, o país perdeu 96 milhões de hectares de vegetação nativa, com uma redução de 75% para 64% na proporção de áreas naturais. Esse processo foi mais intenso na Amazônia e no Cerrado, onde 52 milhões e 31,9 milhões de hectares foram convertidos para uso antrópico, respectivamente.

A evolução do uso e cobertura da terra no município de Alcântara entre 1985 e 2022 revela uma dinâmica territorial marcada pela estabilidade de ecossistemas como manguezais e apicuns, contrastando com o crescimento constante de áreas urbanizadas e pastagem. Essa expansão urbana, especialmente próxima à sede municipal, reflete o impacto do desenvolvimento e do crescimento populacional na região. Estudos recentes, como o de Amorim (2024), destacam que as comunidades quilombolas de Alcântara têm tecnologias de construção tradicionais que promovem conforto ambiental, aproveitando condições climáticas locais, como a direção do vento e a luz solar.

O avanço da pastagem demonstra uma mudança na paisagem rural, que sem o manejo, aumenta os riscos ambientais e sociais. A redução de áreas de Formação Florestal, que conservam a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, sinaliza um alerta para políticas de conservação e manejo sustentável. As transformações observadas no uso e cobertura da terra em Alcântara, Maranhão, refletem tendências globais de conversão de áreas naturais em superfícies antrópicas. Debortoli *et al.* (2016) afirmam que a conversão e a degradação florestal



reduzem os níveis de evapotranspiração, com implicações na geração de precipitação, tanto local como em longas distâncias.

A hipótese inicial postulava que Alcântara sofreu alterações na cobertura do solo, caracterizadas pela redução das áreas naturais e pela expansão da infraestrutura urbana. Os dados analisados confirmam parcialmente essa premissa, indicando um aumento do uso antrópico ao longo dos anos, mesmo diante da redução populacional entre 2010 e 2022. No entanto, a conversão da vegetação nativa ocorreu predominantemente para áreas de pastagem, refletindo um padrão consistente.

Na análise comparativa em diferentes resoluções espaciais de classificação de LULC no município de Alcântara, a classe de formação florestal apresentou uma diferença positiva que indica que a maior resolução do Sentinel-2 capturou melhor as áreas florestais que podem estar subestimadas na resolução de 30 metros do Landsat. Da mesma forma, a vegetação savânica que também apresenta uma diferença positiva na estimativa feita com a resolução mais detalhada.

O mesmo padrão foi observado nas classes de pastagem e área urbanizada, que indicam que o Sentinel-2 captura melhor pequenas manchas de ocupação antrópica que não são tão bem delimitadas na resolução de 30 metros (i.e., estradas vicinais). As reduções nas classes de mangue e vegetação alagável são melhores delimitadas com maior resolução, sugerindo que a menor escala espacial pode estar agregando pixels vizinhos dessas classes, levando a uma superestimação no Landsat. Nasiri *et al.* (2022) mostrou que os mapas de LULC gerados a partir da série temporal Sentinel-2 apresentaram maior precisão.

Este estudo reforça que a ferramenta *Land Cover* do aplicativo *Globe Observer* promove a ciência cidadã, promovendo a participação dos estudantes no monitoramento da paisagem, reforçando a importância na complementação de dados, sobretudo demonstra a necessidade de estratégias de planejamento territorial para equilibrar o crescimento das atividades econômicas de desenvolvimento e a conservação dos recursos naturais. É preciso reforçar ainda, a necessidade de monitoramentos futuros que devem continuar avaliando essas transformações, integrando novas tecnologias em sensoriamento remoto, geoprocessamento e ciência cidadã para uma compreensão ainda mais precisa das mudanças ambientais em Alcântara, Maranhão.



6. Conclusion

A análise da evolução do uso e cobertura da terra no município de Alcântara entre 1985 e 2022 permitiu a compreensão da dinâmica territorial da região, marcada pela estabilidade de ecossistemas costeiros, como manguezais e apicuns, e pela expansão de áreas urbanizadas e pastagens. A utilização de imagens de satélite com resoluções espaciais de 10m (Sentinel-2) e 30m (Landsat), mostrou diferenças no padrão de distribuição espacial. A hipótese inicial de que Alcântara sofreu redução de áreas naturais e expansão de infraestrutura urbana foi parcialmente confirmada, evidenciando que a conversão da vegetação nativa ocorreu predominantemente para pastagens, refletindo um padrão consistente de mudança no uso do solo.

A comparação entre as resoluções espaciais demonstrou que o Sentinel-2, com maior resolução, captura com mais precisão pequenas manchas de ocupação antrópica, como áreas urbanas e pastagens, além de melhor delimitar classes de LULC fragmentadas, como formações florestais. Isso reforça a importância de utilizar tecnologias de alta resolução para monitorar transições paisagísticas. Além disso, a redução de áreas de Formação Florestal e o avanço das pastagens alertam para os riscos ambientais e sociais associados à perda de serviços ecossistêmicos, como a regulação do clima e a conservação da biodiversidade.

A análise dos resultados obtidos permitiu identificar variações no uso e cobertura da terra e nos corpos d'água superficiais na região de estudo, refletindo alterações diretas e indiretas nas dinâmicas ambientais e socioeconômicas locais. A conclusão mostra grande potencial a partir da integração de métodos avançados de sensoriamento remoto, processamento de dados espaciais e a possibilidade de integração com os dados de ciência cidadã coletados por meio do protocolo *Land Cover* do aplicativo *Globe Observer*, confirmando a importância de abordagens interdisciplinares para monitorar e compreender fenômenos ambientais complexos.

O trabalho com um mentor do projeto GLOBE em Alcântara teve um impacto muito positivo no desenvolvimento desta pesquisa, proporcionando orientação técnica e suporte metodológico que enriqueceram a análise e o processamento dos dados. A mentoria científica do estudo fomentou a aplicação prática dos resultados visando melhorias em políticas de conservação e desenvolvimento sustentável a partir de dados consistentes em sensoriamento remoto e geoprocessamento. Essa experiência reforça a importância da colaboração entre instituições públicas de ensino e a comunidade, visando avanços no entendimento das



dinâmicas territoriais e na promoção de soluções equilibradas entre o desenvolvimento econômico e a preservação ambiental.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a implementação de protocolos de monitoramento contínuo utilizando o aplicativo *GLOBE Observer*, bem como bases de dados de alta resolução e envolvendo a comunidade local por meio de iniciativas de ciência cidadã. Como ações subsequentes, recomenda-se investigar a influência do uso da terra na temperatura da superfície, índices de pluviosidade e índices de vegetação, com maior participação dos estudantes na análise dos impactos ambientais da urbanização em Alcântara.



REFERENCES

Amorim, M. (2024). *Conforto ambiental nos quilombos de Alcântara/MA: uma abordagem sob a ótica dos moradores*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo. Disponível em: <https://jornal.usp.br/diversidade/moradias-quilombolas-de-alcantara-no-maranhao-sao-mais-bem-planejadas-que-as-casas-oferecidas-pela-aeronautica/>.

Cavalcanti, L. F., do N Feitosa, F. A., Cutrim, M. V., de JF Montes, M., Lourenço, C. B., Furtado, J. A., & dos S Sá, A. K. D. (2022). Drivers of phytoplankton biomass and diversity in a macrotidal bay of the Amazon Mangrove Coast, a Ramsar site. *Ecohydrology & Hydrobiology*, **22**(3), 435-453.

Congalton, R. G., Gu, J., Yadav, K., Thenkabail, P., & Ozdogan, M. (2014). Global land cover mapping: A review and uncertainty analysis. *Remote Sensing*, **6**(12), 12070-12093.

Debortoli, N., Coelho, C. A., & Rodrigues, R. (2016). Detecting deforestation impacts in Southern Amazonia rainfall using rain gauges. *International Journal of Climatology*, **37**(6), 2889–2900. <https://doi.org/10.1002/joc.4886>.

Goodin, D. G., Anibas, K. L., & Bezymennyi, M. (2015). Mapping land cover and use from object-based classification: An example from a complex agricultural landscape. *International Journal of Remote Sensing*, **36**(15), 4702–4723.

Manzanarez, S., Manian, V., & Santos, M. (2022). Land use land cover labeling of GLOBE images using a deep learning fusion model. *Sensors*, **22**(18), 6895.

MapBiomás. (2024). MapBiomás Coleção 9: Mapeamento anual de cobertura e uso da terra no Brasil de 1985 a 2023. Disponível em: <https://amazon.org.br/publicacoes/mapbiomas-colecao-9-mapeamento-anual-de-cobertura-e-uso-da-terra-no-brasil-de-1985-a-2023/>

Nasiri, V., Deljouei, A., Moradi, F., Sadeghi, S. M. M., & Borz, S. A. (2022). Land use and land cover mapping using Sentinel-2, Landsat-8 Satellite Images, and Google Earth Engine: A comparison of two composition methods. *Remote Sensing*, **14**(9), 1977.

Nedd, R., Light, K., Owens, M., James, N., Johnson, E., & Anandhi, A. (2021). A synthesis of land use/land cover studies: Definitions, classification systems, meta-studies, challenges and knowledge gaps on a global landscape. *Land*, **10**(9), 994.

Seixas, H. T., Silveira, H. L. F. D., Mendes, A. P. D. S. F., Soares, F. D. S., & da Silva, R. F. B. (2025). Conversion from Forest to Agriculture in the Brazilian Amazon from 1985 to 2021. *Land*, **14**(2), 300.

Ullah, W., Ullah, S., Bräuning, A., Javed, M. F., Subhanullah, M., Abdullah, M., ... & Rahman, A. (2024). Mudanças no uso e cobertura da terra e na temperatura da superfície terrestre e sua relação com a modificação humana no território da Capital de Islamabad, Paquistão. *Brazilian Journal of Biology*, **84**, e281700.

Zhang, J., Ren, M., Lu, X., Li, Y., & Cao, J. (2022). Effect of the belt and road initiatives on trade and its related LUCC and ecosystem services of central asian nations. *Land*, **11**(6), 828.



Zhao, X., Wang, P., Gao, S., Yasir, M., & Islam, Q. U. (2023). Combining LSTM and PLUS Models to Predict Future Urban Land Use and Land Cover Change: A Case in Dongying City, China. *Remote Sensing*, **15**(9), 2370. <https://doi.org/10.3390/rs15092370>.



7. Badges

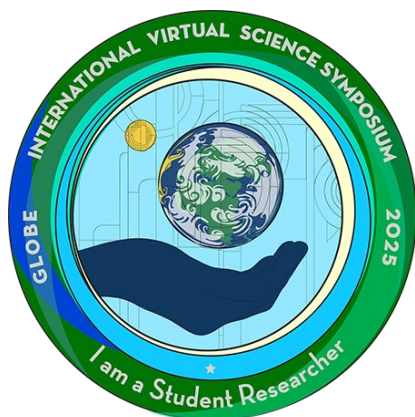


Be a Collaborator

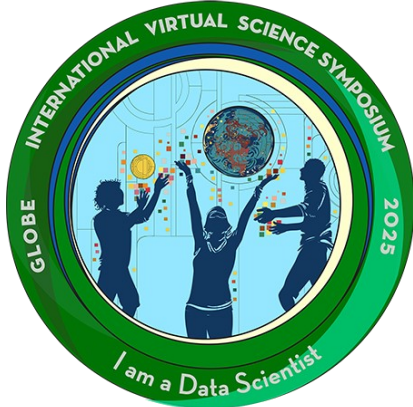
O projeto foi desenvolvido de maneira colaborativa pelos estudantes do Centro Educa Mais Aquiles Batista, com o tema "Transformações da Cobertura da Terra em Alcântara: Ciência Cidadã e Educação Ambiental". Essa abordagem participativa foi essencial para compreender as mudanças no uso e cobertura da terra no município e destacar a importância da conservação ambiental.

A união de esforços permitiu que os estudantes pudessem aplicar metodologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento para analisar as transformações da paisagem entre 1985 e 2023, utilizando dados do MapBiomas e do protocolo Land Cover do GLOBE. Durante o projeto, os alunos participaram ativamente da coleta de dados em campo, registrando informações sobre diferentes tipos de cobertura da terra e comparando com imagens de satélite.

A colaboração entre os estudantes resultou em uma abordagem integrada, permitindo a análise da relação entre as mudanças no uso da terra, o crescimento das atividades agrícolas e os possíveis impactos ambientais em Alcântara. O projeto também evidenciou a necessidade de políticas públicas voltadas para o planejamento territorial e a conservação dos recursos naturais, incentivando a participação ativa da comunidade no monitoramento ambiental no município.



Os alunos pesquisadores se propõem a contribuir para a implementação de estratégias de conservação em Alcântara, com foco na preservação das formações naturais e no planejamento sustentável do território. A pesquisa destaca a importância de combinar técnicas de geoprocessamento e o protocolo Land Cover do GLOBE para monitorar as mudanças no uso e cobertura da terra e subsidiar ações voltadas ao desenvolvimento econômico com planejamento municipal. Além disso, enfatiza o envolvimento das comunidades locais no processo de proteção dos ecossistemas, incentivando o uso sustentável dos recursos naturais e a conscientização sobre os impactos da urbanização e das atividades agropecuárias na região.



Be a Data Scientist

No contexto da preservação ambiental e das transformações da paisagem em Alcântara, Maranhão, os alunos do Centro Educa Mais Aquiles Batista se reuniram para investigar as mudanças no uso e cobertura da terra na região ao longo das últimas décadas. A pesquisa teve como objetivo compreender a dinâmica ambiental local e sua relação com o planejamento territorial sustentável. Para isso, os estudantes utilizaram dados do MapBiomas, técnicas de sensoriamento remoto no Google Earth Engine e QGIS, além de registros diretos via o aplicativo GLOBE Observer.

Os resultados revelaram uma tendência de conservação das formações florestais, apesar do crescimento das atividades de pastagem, a cobertura florestal diminuiu em 55,50 km², enquanto as pastagens aumentaram em 79,73 km². Os resultados mostraram corroboração com outros estudos publicados. Além disso, a análise das transformações no uso do solo mostrou a importância da ciência cidadã na coleta e análise de dados ambientais para validar os dados de satélite que coletam informações em diferentes resoluções espaciais, permitindo uma compreensão mais detalhada das mudanças ocorridas ao longo do tempo.

A participação dos estudantes na pesquisa possibilitou o desenvolvimento de habilidades em monitoramento ambiental e geoprocessamento, além de conscientizá-los sobre a relevância da conservação dos recursos naturais. Os dados coletados também serviram de subsídio para formulação de políticas públicas voltadas à gestão territorial, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região.

Dessa forma, este estudo reforça a importância de iniciativas educacionais que aliem tecnologia, ciência cidadã e análise ambiental, proporcionando a compreensão das dinâmicas ambientais e sua relação com as atividades antrópicas no município de Alcântara.