

## Análise espaço-temporal do Uso do Solo do Município de Jatobá (Pernambuco)

Júlio Gabriel da Silva Belchior<sup>1</sup>, Sidney Henrique Campelo de Santana<sup>2</sup>, Josicléda Domiciano Galvêncio<sup>3</sup>,  
Fredson Pereira da Silva<sup>4</sup>, Júlia Grazielle da Silva<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Graduado Licenciatura Geografia, Universidade Federal de Pernambuco (juliobelchiorgeo@gmail.com)

<sup>2</sup>Docente, Doutor, Instituto Federal do Amapá, Brasil (sidney.campelo@abreuelima.ifpe.edu.br)

<sup>3</sup>Docente, Doutora, Universidade Federal de Pernambuco (josicleda@hotmail.com)

<sup>4</sup>Docente, Doutor, Universidade Federal de Pernambuco (fredson.silva@ufpe.br)

<sup>5</sup>Graduada, Licenciatura Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco (julia.grazielle@ufpe.br)

*Histórico do Artigo:* Submetido em: 07/04/2025 – Revisado em: 12/11/2025 – Aceito em: 24/01/2026

### RESUMO

As transformações no padrão de uso do solo, resultado das atividades antrópicas, têm desencadeado significativas modificações na configuração da paisagem natural e em outros componentes do ambiente. Essas mudanças podem ser identificadas mediante a aplicação de abordagens ativas, utilizando técnicas e metodologias que permitem a análise minuciosa dos dados. Isso envolve, por exemplo, o aproveitamento de sensores em órbita para processar e categorizar as informações coletadas. No âmbito desse estudo em específico, uma investigação foi conduzida para analisar a dinâmica do uso do solo no município de Jatobá, localizado em Pernambuco, Brasil, ao longo dos anos de 2008, 2015 e 2018. A escolha desse intervalo de 10 anos objetiva examinar transformações ao longo de um período, evidenciando alterações na paisagem e flutuações nos conjuntos de dados. A estratégia metodológica adotada considerou a classificação supervisionada, uma abordagem que revelou não apenas diferença nos dados, como também indicativo de transições entre as categorias pré-estabelecidas. Por meio da aquisição de imagens orbitais provenientes dos satélites Landsat 5 e Landsat 8, foi viabilizada a análise dos dados, possibilitando a subsequente exploração dos resultados obtidos no estudo. Dentro desse contexto, cinco categorias foram discernidas: Água, Área de Vegetação Natural, Áreas de Elementos Artificiais, Áreas de Uso Agrícola e Áreas de Solo Exposto. Como resultado, emergiu a possibilidade de empreender uma discussão abrangente do corpus de dados coletados, culminando na conclusão de um aumento nas áreas afetadas por intervenção humana e uma diminuição nas extensões destinadas à atividade agrícola. Esse achado ressalta, de forma enfática, a imperatividade de preservar as porções de vegetação natural, dada a sua importância ecossistêmica.

**Palavras-Chaves:** Classificação supervisionada, Landsat, semiárido, Município.

## Perception of Land Use in the Municipality of Jatobá – PE Through Orbital Sensors

### ABSTRACT

Transformations in the pattern of land use, resulting from human activities, have triggered significant changes in the configuration of the natural landscape and in other components of the environment. These changes can be identified through the application of active approaches, using techniques and methodologies that allow the detailed analysis of the data. This involves, for example, taking advantage of sensors in orbit to process and categorize the collected information. Within the scope of this specific study, an investigation was conducted to analyze the dynamics of land use in the municipality of Jatobá, located in Pernambuco, Brazil, over the years 2008, 2015 and 2018. The choice of this 10-year interval aims to examine transformations over a period, showing changes in the landscape and fluctuations in datasets. The methodological strategy adopted considered the supervised classification, an approach that revealed not only differences in data, but also indicative of transitions between pre-established categories. Through the acquisition of orbital images from the Landsat 5 and Landsat 8 satellites, data analysis was made possible, enabling the subsequent exploration of the results obtained in the study. Within this context, five categories were discerned: Water, Area of Natural Vegetation, Areas of Artificial Elements, Areas of Agricultural Use and Areas of Exposed Soil. As a result, the possibility emerged of undertaking a comprehensive discussion of the collected data corpus, culminating in the conclusion of an increase in areas affected by human intervention and a decrease in extensions destined for agricultural activity. This finding emphasizes, emphatically, the imperative to preserve portions of natural vegetation, given its ecosystemic importance.

**Keywords:** Keywords: Supervised classification, Landsat, semiarid, County.

Belchior, J. G. da S., Campelo de Santana, S. H., Domiciano Galvêncio, J., Pereira da Silva, F., & da Silva, J. G. (2025). Análise espaço-temporal do uso do solo do município de Jatobá (Pernambuco). *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.7, n.1, p.02-19.



## 1. Introdução

A partir do desenvolvimento das tecnologias, atualmente se tornou possível analisar e discutir as mudanças que ocorrem pelo mundo. Nesse contexto, estudar o solo e as mudanças que podem ocorrer nele se tornam essenciais para análise de limitações ou características específicas da área a ser estudada Ediane Vieira et al., (2009). Dentre as ferramentas usadas para a realização destes estudos se encontram as que integram as Geotecnologias que por sua vez permite a criação de mapas, modelagem de terrenos, análise de padrões geográficos, tomada de decisões baseada em localização e muitas outras aplicações em áreas como geografia, geologia, meio ambiente, planejamento urbano, agricultura, entre outras. O sensoriamento remoto consiste em um conjunto de tecnologias científicas que tem como finalidade analisar e medir características biofísicas e atividades humanas (Jensen et al., 2009). Por outro lado, o geoprocessamento diz respeito a um conjunto de tecnologias que têm como propósito de coletar e tratar informações para objetivos específicos. Esses sistemas específicos de Geoprocessamento são chamados de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que tem como objetivo o desenvolvimento de dados referenciados geograficamente.

Tendo em vista a as ferramentas utilizadas para o desenvolvimento desse estudo, é observado assim que as transformações no uso/cobertura da terra tornaram-se um importante fator que reflete o desenvolvimento de recursos humanos. Sendo assim uma das causas de mudanças ambientais globais, trazendo atenção do público para modificações que podem ocorrer o espaço, paisagem ou clima. A partir disso, se observa a importância do uso da terra levando em consideração as mudanças que podem ocorrer nela numa escala temporal. Considera-se da mesma maneira que a influência dessas modificações para os recursos humanos, numa perspectiva de análise e gestão de dados, podem ocorrer na área de estudo ou no ecossistema (Kilicoglu et al., 2020; Kilicoglu et al., 2021; Zhu et al., 2020).

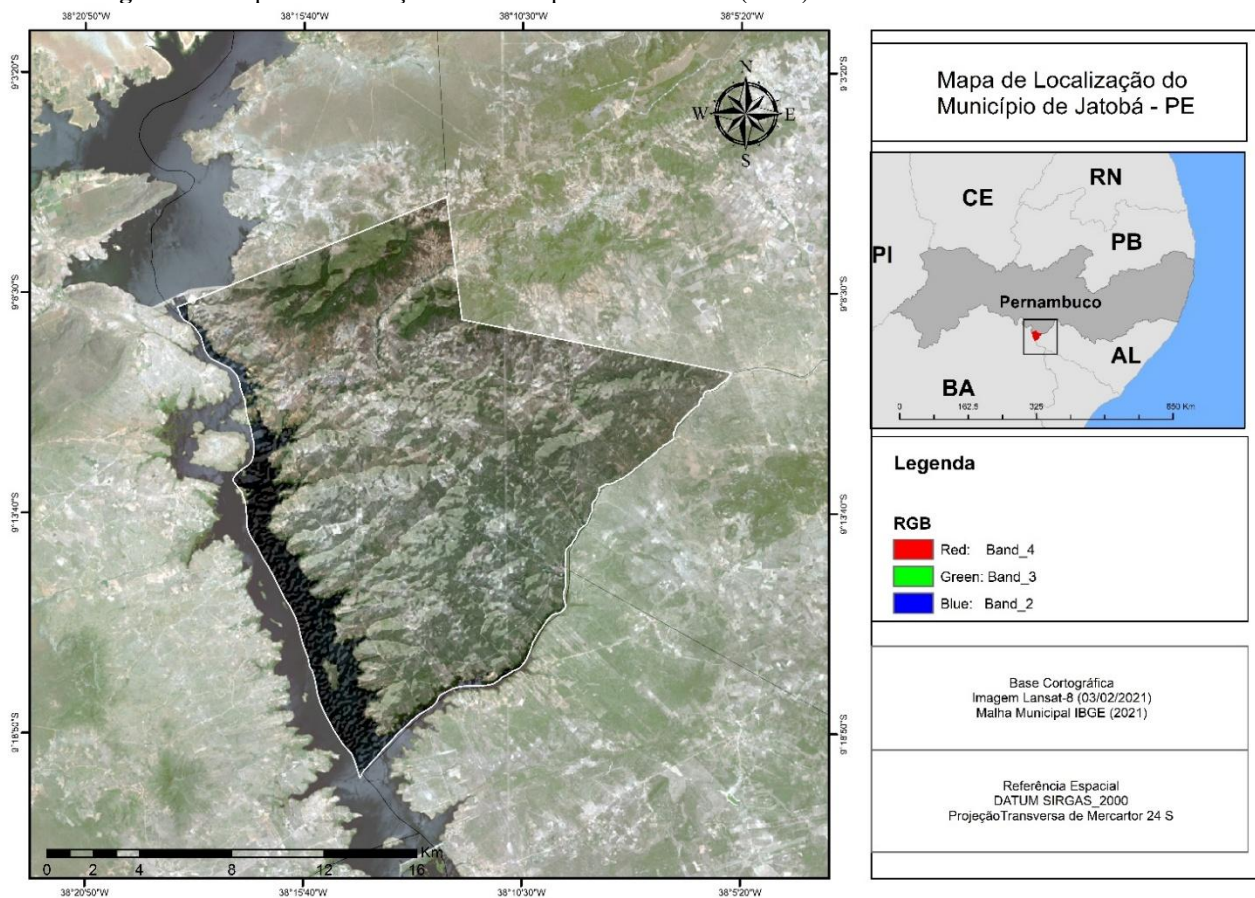
No semiárido brasileiro, em particular, as mudanças no uso do solo estão frequentemente associadas a processos como expansão agropecuária, supressão de vegetação nativa da Caatinga e desertificação (Santos et al., 2017). Nesse cenário, análises espaço-temporais são cruciais para compreender os padrões de transformação e seus efeitos nos ecossistemas locais (Silva; Souza, 2019). O município de Jatobá (PE), inserido nesse contexto, carece de estudos detalhados que abordem sua dinâmica territorial, tornando-se relevante a investigação das mudanças ocorridas em seu uso do solo. Portanto, este estudo teve como objetivo principal analisar e discutir os dados de uso do solo no município de Jatobá. Considerado então, a coleta de dados, a análise e discussão do uso do solo.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

O estudo foi conduzido no município de Jatobá, localizado no estado de Pernambuco, Brasil, conforme observado na Figura 1. Este município abrange uma área total de 278 km<sup>2</sup>. De acordo com os dados do censo de 2022, a população estimada é de aproximadamente 14.020 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 50,46 habitantes por quilômetro quadrado (IBGE, 2022).

É observado também que a Pecuária do município é liderada pela aquicultura com a produção de tilápia. Logo em seguida a produção de leite de vaca e não menos importante a produção de ovos de galinha (IBGE, 2021).

**Figura 1** – Mapa e Localização do Município de Jatobá-PE (2023).

Quanto ao ambiente físico-natural, pode-se destacar o clima, vegetação, solos e hidrografia. De acordo com Köppen o clima de Jatobá se classifica como semiárido quente do tipo BSw'h'. Esse tipo climático tem como características médias anuais elevadas de temperatura, que varia de 26 a 28 °C (Alvares et al., 2013). Por outro lado, os níveis anuais de precipitação são considerados dentro dos padrões de uma área com classificação semiárida. Segundo dados da APAC (2023) apresenta uma precipitação média anual de 726 mm. Diante desse panorama climático, podem ser observadas as dinâmicas naturais que ocorrem nessa área de estudo, considerando sua vegetação, disponibilidade hídrica.

A partir disso é observada uma cobertura vegetal correspondente a caatinga hiperxerófila, tendo em vista que esse tipo de vegetação está associado à savana estépica parque e a gramíneo-lenhosa (Silva et al., 2003). Sendo importante observar que, nessa vegetação contém uma maior área vegetal em períodos chuvosos tendo em contrapartida uma menor incidência de vegetação em períodos mais secos, onde é observado de acordo com (Frederico et al., 2017).

Tendo em vista que o sistema de disponibilidade hídrica, o município é alimentado pelos rios perenes São Francisco e Moxotó. Onde, o rio São Francisco tem seu sistema de drenagem hídrica no sentido oeste-leste, com o interesse em desaguar no oceano. Em contrapartida trazendo a serventia de divisor político e abastecedor os setores urbano e rural tendo possibilidade de irrigação. Já o rio Moxotó que se tornou perene graças a construção de barragens no seu curso d'água, é também um rio importante para a área de estudo uma vez que contribui com o sistema de drenagem desaguardo no rio São Francisco, faz serventia de abastecimento

sendo ele urbano ou agrícola (Frederico et al., 2017).

## 2.2 Aquisição dos dados orbitais

Para a análise das transformações no padrão de uso e ocupação do território no município de Jatobá ao longo do tempo, optou-se por recorrer às imagens geradas mediante os sensores TM e OLI, do programa Landsat. As informações das cenas adquiridas são apresentadas na tabela 1. Todas as imagens foram adquiridas gratuitamente através do portal da U.S. Geological Survey (USGS).

**Tabela 1** – Informações técnicas sobre as cenas adquiridas.

Sensor	Data de Registro da Imagem	Orbita/Ponto	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica
TM – Landsat 5	01 de novembro de 2008	216/66	30 m	8 bits
OLI – Landsat 8	04 de outubro de 2015	216/66	30 m	16 bits
OLI – Landsat 8	28 de outubro de 2018	216/66	30 m	16 bits

Esses dados foram coletados em um período de 10 anos levando em consideração o mês em que foram coletadas as imagens sendo assim um período do ano com poucas chuvas, uma vez que a pluviosidade poderia atrapalhar a coleta de dados. Após a aquisição dos dados supracitados, procedeu-se ao processo de empilhamento das diferentes bandas das imagens, para que se possibilitasse a sequência do processamento digital das imagens.

## 2.3 Processamento dos Dados

Como passos iniciais do tratamento digital das imagens, foram realizados cálculos de irradiância e reflectância. Esses cálculos foram embasados nos estudos de Oliveira et al. (2012), Silva et al. (2021), Lima et al. (2021), Tôrres Silveira et al. (2023). Essa abordagem metodológica permitiu a obtenção de informações mais precisas e contextualizadas sobre as mudanças na área de pesquisa, contribuindo para uma compreensão abrangente das transformações ocorridas ao longo do período estudado.

### 2.3.1 Sensor TM - Landsat 5

A radiância espectral de cada banda ( $L_{\lambda i}$ ) representa a energia solar refletida por cada pixel por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida nível do satélite Landsat (aproximadamente 705 km de altura), para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7; para a banda 6, essa radiância representa a energia emitida por cada pixel e pode ser obtida pela Equação 1 (Chander and Markham, 2003):

$$L_{\lambda i} = a_{\tau} + \frac{b_{\tau} - a_{\tau}}{255} ND \quad (1)$$

Em que:

a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máxima ( $Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ ), detectados pelo TM – Landsat 5; ND corresponde à intensidade do pixel (número inteiro compreendido entre 0 e 255) e i corresponde às bandas do TM – Landsat 5.

A refletância monocromática de cada banda ( $p_{\lambda i}$ ), definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar incidente, foi obtida segundo a Equação 2:

$$P_{\lambda i} = \frac{\pi \times L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \times \cos Z \times d_r} \quad (2)$$

Em que:

$L_{\lambda i}$  corresponde à radiância espectral de cada banda,  $K_{\lambda i}$  é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ( $Wm^{-2} \mu m^{-1}$ ),  $Z$  é o ângulo zenital solar e  $d_r$  é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol(ro) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (Oliveira et al., 2010) (Equação 3):

O valor de  $d_r$  é obtido pela aplicação da seguinte fórmula, equação (3).

$$d_r = 1 + 0,033 \times \cos \left( \frac{DSA \times 2\pi}{365} \right) \quad (3)$$

Em que:

DSA representa o dia sequencial do ano e o argumento da função  $\cos$  está em radianos (Equação 4). O valor médio anual de  $d_r$  é igual a 1,00 e ele varia de 0,97 a 1,03, aproximadamente.

### 2.3.1 Sensor OLI - Landsat 8

A reflectância, que consiste nos cálculos entre o fluxo de radiação solar refletido e o fluxo de radiação solar incidente, é representada pela Equação 5, proposta por (Chander and Markham, 2003):

$$rb = \left( \frac{Add_{ref.b} + Mult_{ref.b} ND_b}{\cos Z \cdot d_r} \right) = \sin(E) \quad (5)$$

Em que: *Add* corresponde ao fator aditivo de reescalonamento para cada banda, disponível no arquivo meta dados da imagem, assim como *Mult* que corresponde ao fator multiplicativo de reescalonamento para cada banda. *ND* representa os valores de número digital da imagem,  $\cos Z$  é o ângulo zenital solar (calculado a partir de  $\cos Z = 90^\circ - Z$ ), o ângulo de elevação solar ( $Z$ ) e pode ser encontrado no arquivo meta dados da imagem.

O  $d_r$  corresponde ao quadrado da razão entre a distância Terra-Sol em dado dia do ano, e pode ser calculado através da equação 6:

$$dr = \left( \frac{1}{d_{TR}} \right) \quad (06)$$

## 2.4 Classificação Supervisionada Realizada

Após concluir a etapa de calibração radiometria, foi executada a classificação supervisionada. Esta consiste em uma abordagem analítica que visa categorizar a imagem em classes de interesse predefinidas (Santos, 2019).

Tendo em vista que essas categorias, foram obtidas a partir de um software de Sistemas de Informação Geográfica (GIS), foi utilizada a ferramenta “*Image Classification*”, que tem o intuito de classificar uma

imagem selecionada por vez, captando a frequência Red, Green e Blue (RGB) da imagem e processado essa classificação. A partir disso, foi feita a classificação de forma supervisionada sendo coletadas as amostras em formas geométricas. Após a coleta das amostras, foi executado um comando de mesclagem das amostras da classe específica, para deste modo consolidar a seleção da classificação, optando dessa maneira pela classificação em cinco categorias distintas: Água, Vegetação Natural, Elementos Artificiais, Uso Agrícola e Solo Exposto. Tendo em vista o processo classificatório executado, o comando de “*Maximum Likelihood Classification*”, que tem como objetivo classificar a máxima probabilidade em uma imagem, contendo um arquivo de assinatura, que por sua vez é o arquivo das classes selecionadas.

No processo de classificação, foi considerada na tabela de atributos o valor “*Count*” quem representa a quantidade de pixels selecionados para tal classe, gerando no seu total, 100% da área de estudo. A partir disso, foram coletados os percentuais de cada classe, utilizando a regra de três simples onde  $X$  é o valor em porcentagem que deverá ser encontrado através da equação 7:

$$\frac{Count (Total)}{Count (classe)} = \frac{100\%}{X} \quad (7)$$

Após a coleta de dados em percentual de cada classe foi considerado o total de 281,79 km<sup>2</sup> conforme delimitado pelo polígono Shapefile (SHP) obtido do IBGE (2022) arquivos esse referente a área de estudo. A partir disso, foi observado que esse valor obteve também 100% da área do polígono, sendo possível realizar outra regra de três simples, tal como se mostra na equação (8).

$$\frac{281,79 \text{ Km}^2}{Y} = \frac{100\%}{Valor da Classe em \%} \quad (8)$$

Em que  $Y$  condiz com o valor de área a ser encontrado, obtendo-se assim todos os valores de classe em km<sup>2</sup>.

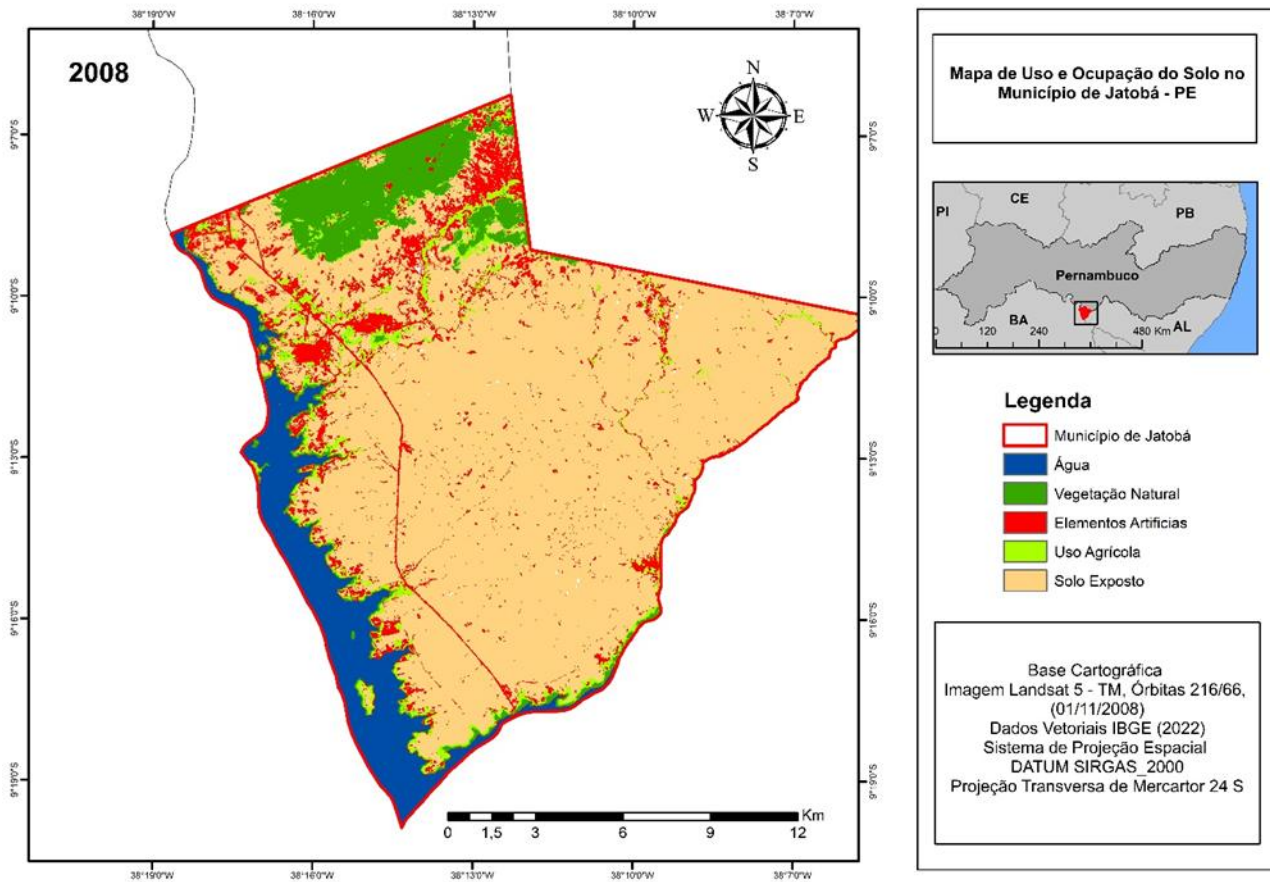
Desse modo, foi possível coletar os dados em porcentagem e área para obter-se uma melhor análise dos dados de forma clara e assim torna-se possível o desenvolvimento desse estudo.

### 3. Resultados

Nas figuras abaixo são representadas as classificações de uso do solo feita no município de Jatobá – PE. Observa-se dessa maneira que os elementos de classes como água, vegetação natural, elementos artificiais, uso agrícola e solo exposto. Considerando os fatos mencionados, pode ser observado a evolução de algumas classes na escala espaço temporal de 10 anos, como por exemplo a classe de elementos artificiais, onde houve um aumento de 2,97% no decorrer da década colocada nesse estudo. Dessa forma, o mapa ilustra de forma visual os resultados obtidos e que serão discutidos nos posteriores tópicos.

Na Figura 2 pode-se observar o mapa referente ao ano de 2008 que por sua vez apresentou dados relevantes para o desenvolvimento desse estudo.

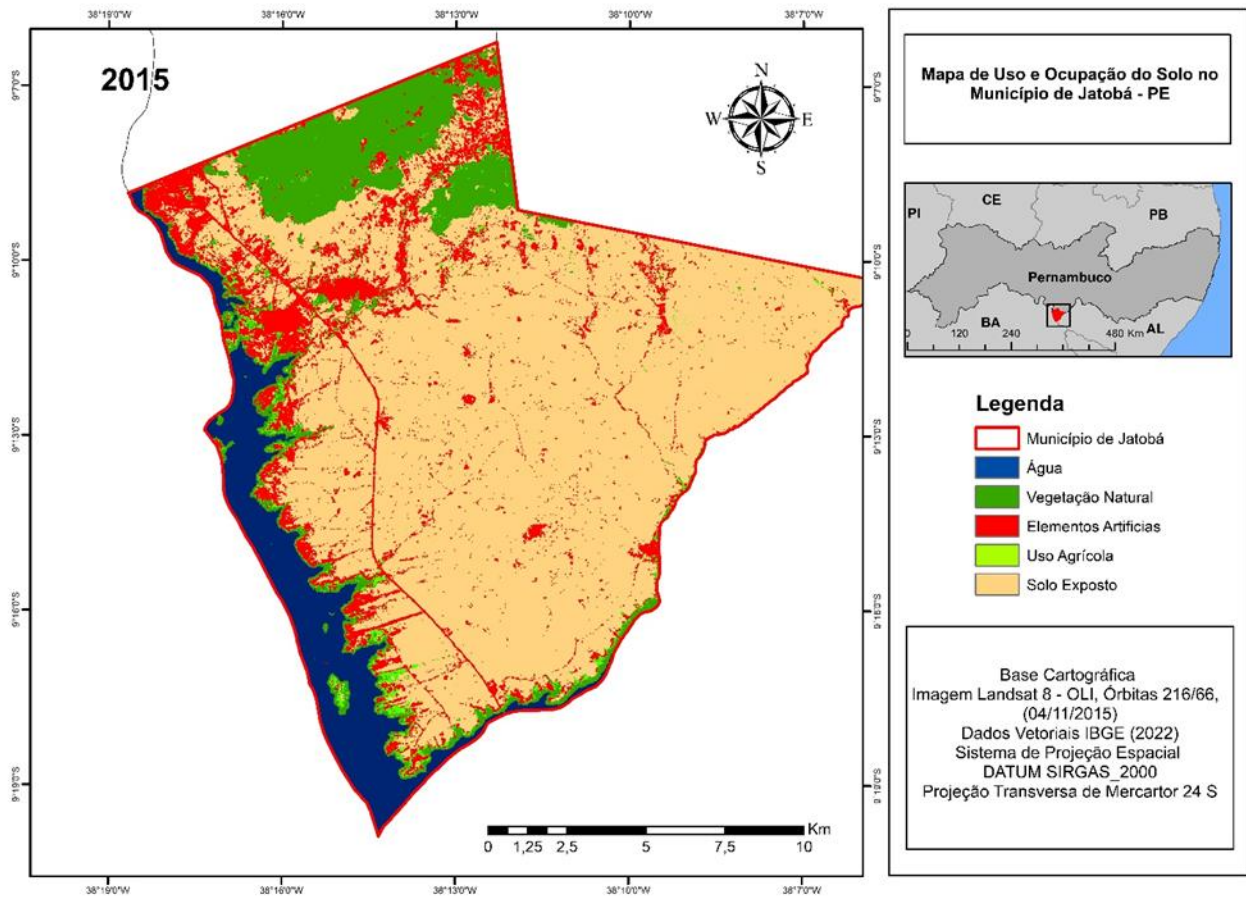
**Figura 2** – Mapa de Uso do Solo do Município de Jatobá no ano de 2008, PE, Brasil (2023).



Outrossim, podemos observar também a Figura 3 que por sua vez traz os dados de uso da terra no ano de 2015, onde houve alterações como nas classes de vegetação natural com um aumento de 3,09% como podemos também observar na informação complementar pela tabela 2.

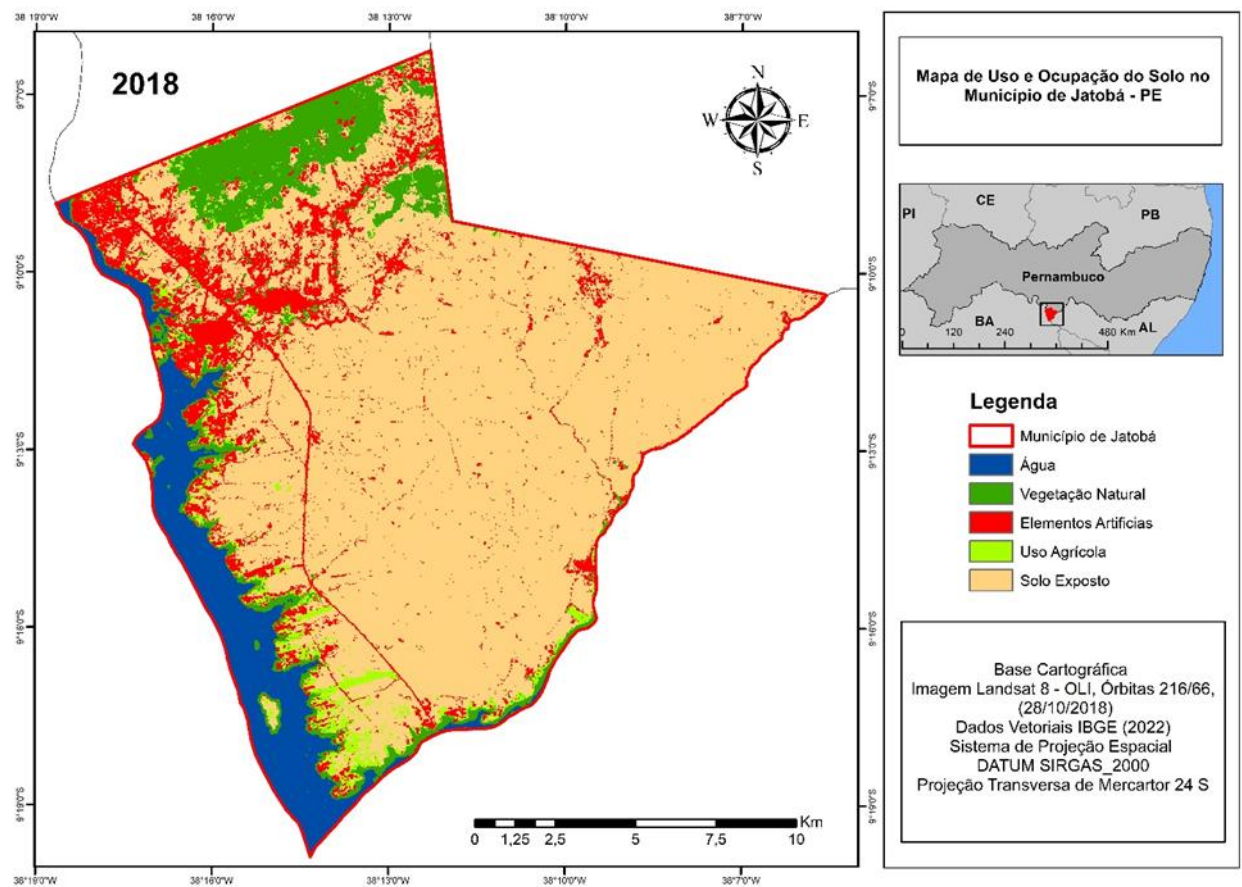


**Figura 3** – Mapa de Uso do Solo do Município de Jatobá no ano de 2015, PE, Brasil (2023).



Na próxima figura podemos observar o mapa de uso da terra no ano de 2018, que fecha assim a escala espaço temporal de 10 anos do estudo elaborado. Este mapa também pode-se observar as classes elaboradas e as mudanças que ocorreram no decorrer dessa década comparando assim com a figura 2.



**Figura 4** – Mapa de Uso do Solo do Município de Jatobá no ano de 2018, PE, Brasil (2023).

Os dados sobre o uso e a cobertura da terra no Município Jatobá, Pernambuco, foram coletados a partir da classificação supervisionada. Assim, o produto desenvolvido nesse estudo foi realizado nos anos de 2008, 2015 e 2018. Por isso, a área em algumas categorias aumentou e diminuiu. A Tabela 2 contém esses dados.

**Tabela 2** – Disposição dos dados de Uso e Ocupação do solo no Município de Jatobá, PE.

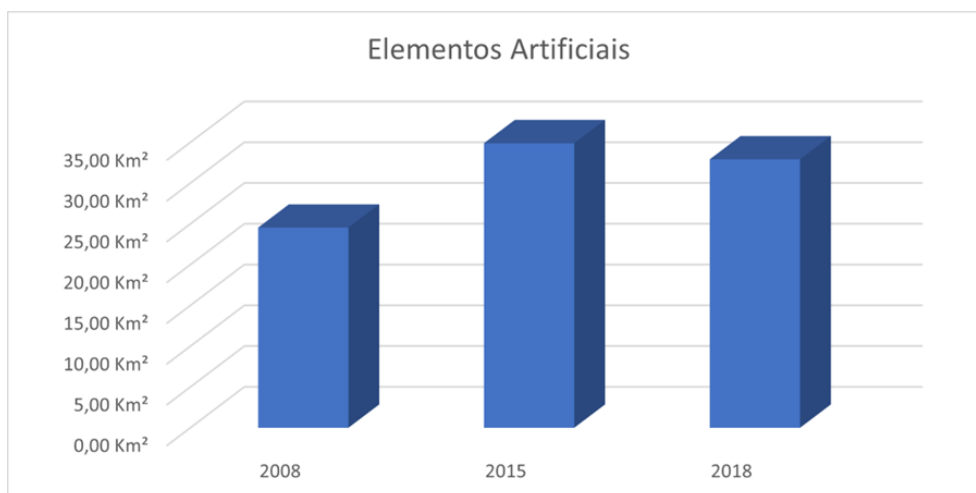
Nome	2008		2015		2018	
	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>
Água	9,56%	26,95 Km <sup>2</sup>	9,33%	26,28 Km <sup>2</sup>	8,89%	25,06 Km <sup>2</sup>
Vegetação Natural	7,94%	22,37 Km <sup>2</sup>	11,03%	31,08 Km <sup>2</sup>	8,91%	25,11 Km <sup>2</sup>
Elementos Artificiais	8,71%	24,54 Km <sup>2</sup>	12,38%	34,89 Km <sup>2</sup>	11,68%	32,92 Km <sup>2</sup>
Uso Agrícola	5,05%	14,24 Km <sup>2</sup>	1,8%	5,08 Km <sup>2</sup>	2,95%	8,32 Km <sup>2</sup>
Solo Exposto	68,74%	193,69 Km <sup>2</sup>	65,46%	184,47 Km <sup>2</sup>	67,57%	190,39 Km <sup>2</sup>
Total	100%	281,79 Km <sup>2</sup>	100%	281,79 Km <sup>2</sup>	100%	281,79 Km <sup>2</sup>

A tabela acima considera as colunas com o nome, o ano, percentual de área ocupada e essa área representada em km<sup>2</sup>, com o objetivo de melhor analisar e trabalhar os dados coletados. Podendo ser destacada como exemplo de funcionalidade da tabela, o aumento da classe de Elementos artificia, que por sua vez é observado em 2008 uma área de 24,54 Km<sup>2</sup> já em 2018 essa área tem um aumento considerável 32,92 Km<sup>2</sup>. de número. Levando em consideração isso, em seguida na representação abaixo temos a Figura 2, onde é representado o mapa de uso do solo que por sua vez é o produto principal desse estudo.

### 3.1. Classe dos Elementos Artificiais

Os efeitos das mudanças que correram na classe de elementos artificiais podem ser observados na Figura 5, onde pode-se observar as colunas que contém os anos, e no lado esquerdo a área em Km<sup>2</sup>, tendo assim uma ilustração referente a evolução dos dados relativos a essa respectiva classe.

**Figura 5** – Mudanças na extensão espacial da classe referente aos Elementos Artificiais (2023).

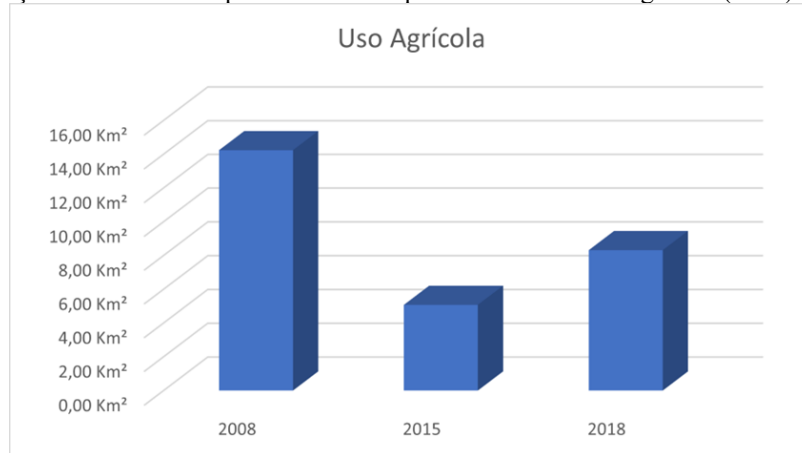


No período compreendido entre os anos de 2008 e 2015, a categoria de elementos artificiais experimentou um incremento de 3,64%. No entanto, entre os anos de 2015 e 2018, verificou-se uma aparente diminuição de 0,7%. Como resultado, ao considerar essa oscilação, o crescimento médio ao longo de uma década é estimado em 10,92%.

Esse aumento pode ser observado com a análise demográfica que ocorreu de com o censo de 2000 até 2022, onde segundo dados do (IBGE, 2022), foi registrando um aumento populacional de 872 pessoas registradas no censo, assim esse aumento tem grande importância no aumento dessa classe. Uma vez que, essas áreas são áreas modificadas pelo homem.

### 3.2. Classe do Uso Agrícola

Podem ser observadas, as transformações ocorridas na classe de Uso agrícola com a Figura 6. Onde, pode ser observado colunas com os anos estudados e os valores com a máxima de 16 km<sup>2</sup> e mínima de 0 km<sup>2</sup>.

**Figura 6** – Transformações na extensão espacial da classe que se refere ao Uso Agrícola (2023).

Na análise subsequente, constatou-se uma redução de 3,25% na classe de Uso Agrícola durante o período que compreende os anos de 2008 a 2015. Foi observado assim, um aumento de 1,15% entre os anos de 2015 e 2018. Em média, ao longo de uma década, foi de 3,26% na área destinada ao uso agrícola na região.

### 3.3. *Classe do Solo Exposto*

É notável as transformações que ocorreram na classe de solo exposto, tendo em vista assim a representação gráfica pela figura 7. Onde pode ser observado de forma clara, que houve mudanças nessa classe na área de estudo.

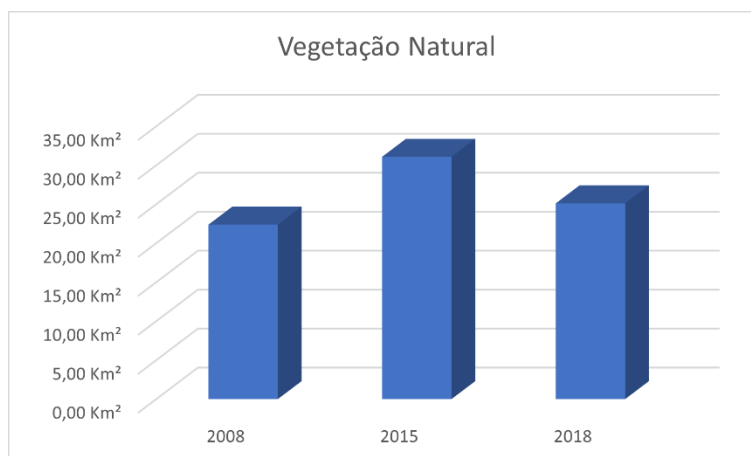
**Figura 7** – Evolução dos valores correspondentes à classe solo exposto ao longo do período considerado (2023).

A classe de Solo Exposto, a qual se destaca como a área de maior predominância entre todas as categorias, é evidenciada na Figura 7. Ao analisar o período de 2008 a 2015, constatou-se uma diminuição de área em torno de 3,28%. No entanto, essa tendência se inverteu nos anos subsequentes, com um notável aumento de 2,11% entre 2015 e 2018. Essa dinâmica resultou em uma média de 67,25% ao longo dos dez anos de análise da área de estudo.

### 3.4. Classe de Vegetação Natural

Esse aumento na classe de cobertura de vegetação natural pode ser melhor analisado tanto nas figuras 2, 3 e 4 quanto na Figura 8, que pode assim analisar a evolução desse padrão seja com os dados de figura ou os dados da tabela 2. A partir do gráfico, conseguimos observar a coluna dos anos junto da coluna de área em km<sup>2</sup>.

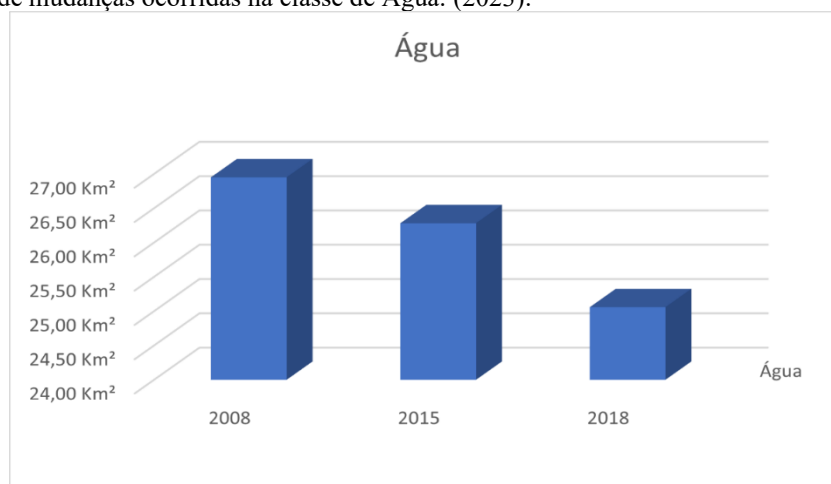
**Figura 8** – Evolução de dados com o parâmetro da classe Vegetação Natural (2023).



A partir da análise de dados, podemos observar classificação de Vegetação Natural observa-se um aumento de 3,09% durante o intervalo de 2008 a 2015. Contrastando com essa tendência, entre os anos de 2015 e 2018, ocorreu uma redução de 2,12%. A análise desses dados indica que, ao longo de uma década, a presença de vegetação natural apresentou uma média de 9,29%.

### 3.5. Classe de Água

As mudanças ocorridas na classe de água podem ser analisadas de forma clara, a partir da Figura 9. Em que por sua vez, representa dados dos anos e sua área referente a classe selecionada, considerando assim uma forma clara para analisar o produto elaborado.

**Figura 9** – Gráfico de mudanças ocorridas na classe de Água. (2023).

Ao examinarmos a categoria Água, constata-se uma ligeira redução de 0,23% em sua extensão durante o período de 2008 a 2015. Além disso, entre os anos de 2015 e 2018, foi identificada uma diminuição adicional na área de água, chegando a 0,44%. Analisando esse conjunto de dados, é possível inferir que, ao longo do período de 10 anos, houve uma média de 9,26% na área de água conforme capturada pelos sensores e classificação por meio do processo supervisionado de uso do solo.

## 4. Discussão

### 4.1. Aumento de Área de Elementos Artificiais

Esse aumento pode ser observado com a análise demográfica que ocorreu de com o censo de 2000 até 2022, onde segundo dados do (IBGE, 2022), foi registrando um aumento populacional de 872 pessoas registradas no censo, assim esse aumento tem grande importância no aumento dessa classe. Uma vez que, essas áreas modificadas pelo homem geram impactos.

O impacto e importância dessa classe está atrelada também ao planejamento e desenvolvimento urbano. De acordo com Silva et al. (2014) é relevante notar que esse aumento descontrolado em áreas urbanizadas, tem impactos diretos no aumento de lixo, diminuição de áreas verdes, aumento de acidez da chuva, poluição sonora e até impermeabilização do solo. Segundo Furtado et al. (2020) esses problemas não só impactam o meio ambiente, mas também rodeiam o meio social, com a violência, desigualdade socioespacial e desequilíbrio de renda questões essas já vivenciadas nas grandes cidades.

Já segundo Barros e Santos (2022), a urbanização crescente tende a promover a impermeabilização do solo, a supressão da vegetação nativa e o aumento de resíduos sólidos e líquidos, o que impacta negativamente a biodiversidade e os ciclos naturais da água e do carbono. A presença cada vez maior de estruturas artificiais, como concreto e aço, é um indicativo claro das pressões antrópicas sobre o meio ambiente.

O aumento da área de elementos artificiais reflete não apenas no crescimento populacional, mas também a fragilidade do planejamento urbano diante da urbanização acelerada. É imprescindível adotar políticas públicas que considerem os impactos socioambientais dessa expansão, promovendo o uso racional do solo e preservação de áreas verdes e a mitigação das áreas das desigualdades socioespaciais (Jacobi, 2016).

#### 4.2. *Transformações na Classe de Área de Uso Agrícola*

Essa dinâmica de alteração na categoria de Uso Agrícola influenciou o setor de Produção de Extração Vegetal e Silvicultura. A extração de lenha, por exemplo, apresentou um aumento substancial de 20.000 unidades na quantidade produzida entre os anos de 2008 e 2018. Observa-se assim a importância de implementação do Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) em prol da garantia no aproveitamento sustentável da lenha no semiárido pernambucano, assegurando assim a renovação dos recursos e a conservação do bioma Caatinga (Santos Júnior, 2024).

Em contrapartida, a produção de Castanha de Caju diminuiu em 2 pontos no mesmo período segundo dados de produção da extração vegetal e silvicultura (IBGE, 2021). De acordo com Santos e Santos (2019), esse tipo de mudança pode gerar impactos socioambientais negativos, como o empobrecimento do solo, redução da cobertura vegetal e intensificação de processos erosivos. Além disso, a substituição da agricultura por atividades extrativas pode comprometer a segurança alimentar e a sustentabilidade econômica de comunidades rurais.

Essas mudanças sugerem uma tendência de redução na área destinada à agricultura como ocorrido no período de 2008 até 2015, observando assim que no ano de 2018 não foi revertida significativamente, o que coincide com o fortalecimento de atividades extrativistas. Essa transição pode acarretar desafios ambientais. Detalhes sobre a diminuição da categoria de Área de Uso Agrícola são observados na Figura 6.

#### 4.3. *Evolução dos valores da classe solo exposto ao longo do período considerado*

Uma análise mais criteriosa do produto revelou que a diminuição natural na área de Solo Exposto poderia estar associada ao aumento da categoria de Elementos Superficiais. Entre os anos de 2008 e 2015, essa categoria apresentou um crescimento percentual de 3,64%.

Contudo, ocorreu uma redução de 3,28% nesse período (2008 à 2015), considerando assim uma redução esperada pois no avanço dos anos existiu desenvolvimento antrópico pela classe de áreas artificiais. No que se refere aos estudos sobre solos expostos já realizados em bacias hidrográficas, Gama, Ramos, Castro e Santos (2024) comentam que, diante da estrutura de uso e cobertura das terras da Unidade de Paisagem I, o Índice de Transformação Antrópica (ITA) atingiu o valor de 6,02. Esse resultado classifica a unidade como apresentando alto índice de transformação antrópica, impulsionado principalmente pelas áreas destinadas à pastagem, solo exposto e agricultura de sequeiro.

Assim, é considerada toda área onde foi feita alguma modificação de seu aspecto natural pelo homem trazendo consequências negativas. Damame (2019) Produziu um estudo onde analisou o uso do solo numa área com ênfase nos impactos ambientais e por sua vez analisou que a ocupação urbana foi responsável por alterações sofridas na área. Essas nuances são capturadas nos valores apresentados na Figura 7 do produto apresentado.

#### 4.4. *Evolução na Classe de Vegetação Natural e Água*

Diante isso é observada a importância do aumento dos dados de vegetação natural que por sua vez é considerando importante uma vez que vegetação natural faz a captação de carbono. Segundo Nunes (2018), que conseguiu analisar a captação de carbono de uma área específica, considerando um ambiente agradável ou não na área estudada, levando em consideração a importância da vegetação nativa. Assim, o aumento da classe de vegetação natural na área estudada é um indicativo positivo, representando um ganho ambiental significativo.



Segundo Lopes, Santos, Lima Junior (2023), a recomposição vegetal auxilia na proteção dos recursos hídricos, na conservação da biodiversidade e na estabilidade dos solos. Esse declínio, pode ser observado de acordo com o uso desse recurso hídrico. É relevante destacar que essas áreas frequentemente coincidem com as margens dos rios e podem incluir zonas de atividade agrícola. Tendo assim um possível uso desse recurso hídrico para irrigação. O impacto dessas mudanças é esclarecido na figura 9, o qual apresenta de maneira clara a variação na área de solo ao longo desse período. Segundo Amorim, Santos (2024), a alteração da vegetação ciliar e o uso intensivo da água para agricultura são fatores determinantes para a diminuição dos corpos hídricos, afetando tanto o volume quanto a qualidade da água. Essas variações são visíveis nas imagens analisadas, conforme demonstrado na Figura 9, que evidencia as mudanças no uso e cobertura do solo ao longo do período estudado.

## 5. Conclusão

A aplicação de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto permitiu identificar com precisão as transformações espaciais e temporais ocorridas no uso e cobertura do solo na área de estudo, ao longo de um intervalo de dez anos. A classificação supervisionada utilizando imagens dos sensores TM e OLI revelou padrões consistentes de alteração, reforçando a eficácia metodológica adotada.

Dentre as principais mudanças, observou-se o aumento significativo das áreas artificiais, diretamente associado ao crescimento populacional e à urbanização, indicando pressões antrópicas intensas sobre o ambiente natural. Esse avanço urbano foi acompanhado por impactos ambientais relevantes, como a impermeabilização do solo, redução de áreas verdes e intensificação da segregação socioespacial. Paralelamente, a classe de uso agrícola apresentou retração, com evidências de substituição gradual por atividades extrativistas, como a produção de lenha. Tal tendência impõe desafios à sustentabilidade econômica e ambiental da região, especialmente no que tange à conservação dos recursos naturais e à segurança alimentar das populações rurais.

No que se refere à classe solo exposto, os dados apontam uma dinâmica de redução compatível com o avanço de construções e outras intervenções humanas. Essa diminuição, no entanto, não pode ser interpretada apenas como um indicativo positivo, pois pode ocultar processos de degradação disfarçados por ocupações artificiais. Em contrapartida, o aumento da vegetação natural representa um avanço ambiental importante, contribuindo para a estabilidade ecológica da área, a proteção dos recursos hídricos e a manutenção da biodiversidade. Já a variação negativa da classe água alerta para a necessidade de maior controle no uso desse recurso, especialmente em zonas agrícolas, onde o uso intensivo e a degradação da vegetação ciliar comprometem a qualidade e a disponibilidade hídrica.

Dessa forma, o estudo evidencia a complexidade das interações entre sociedade e natureza no espaço geográfico analisado. A partir dos dados obtidos, reforça-se a importância do planejamento territorial integrado, da adoção de práticas sustentáveis e do monitoramento contínuo por sensoriamento remoto, a fim de assegurar o equilíbrio entre o desenvolvimento urbano e a preservação dos ecossistemas locais.

## 6. Agradecimentos

Inicialmente gostaria de agradecer por meio deste, ao Laboratório SERGEO, que lá aprendi tudo o que sei sobre geoprocessamento e sensoriamento remoto contribuindo na minha formação.

## 7. Referências

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728.  
<https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Amorim, L. A., & Santos, A. M. (2024). Reflexos do último ciclo de estiagem na produção agropecuária em municípios susceptíveis à desertificação no semiárido de Pernambuco. *Geografia (Londrina)*, 33, 249–263.
- Barro, R. G. L., & Santos, A. M. (2022). Panorama dos estudos sobre vulnerabilidade socioambiental aos eventos pluviométricos extremos. *Revista Geográfica Venezuelana*, 63, 166–179.
- Chander, G., & Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11), 2674–2677. <https://doi.org/10.1109/tgrs.2003.818464>
- Damame, D. B., Longo, R. M., & Oliveira, E. D. (2019). Impactos ambientais pelo uso e ocupação do solo em sub bacias hidrográficas de Campinas, São Paulo, Brasil. *Acta Brasiliensis*, 3(1), 1–7.  
<https://doi.org/10.22571/2526-4338108>
- Frederico, L., Lins, M., & demais autores. (2017). Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido pernambucano utilizando sensoriamento remoto. *Irriga*, 1(1), 64–75.  
<https://doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p64-75>
- Furtado, L. S., Alves, L. R. de M., Macedo, A. B. F. de, Pinto, Á. J. de A., Tourinho, H. L. Z., & Raiol, R. D. O. (2020). Impactos ambientais oriundos do crescimento urbano/demográfico: um estudo no bairro da Pedreira, Belém/PA. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 11(7), 484–500.  
<https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0039>
- Gama, E. S., Ramos, N. S. D., Castro, F. C., & Santos, A. M. (2024). Dinâmica de antropização nas unidades de paisagem em uma microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. *Revista Pantaneira*, 24, 237–250.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2023). *Censo 2022: População e domicílios - Primeiros resultados*.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Produção da extração vegetal e silvicultura 2021*.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022). *Produção da pecuária municipal 2021*.
- INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. (2021). *IDEB – Anos finais do ensino fundamental (rede pública): Censo Educacional 2021*.

Jacobi, P. R. (2016). Governança ambiental e desenvolvimento sustentável: desafios para uma agenda socioambiental. *Revista Ambiente & Sociedade*, 19(2), 21–38.

Jensen, J. R., & Epiphânio, J. C. N. (2009). *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*.

Kilicoglu, C., Cetin, M., Aricak, B., & Sevik, H. (2020). Site selection by using the multi-criteria technique—a case study of Bafra, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 608. <https://doi.org/10/gn8fwr>

Kilicoglu, C., Cetin, M., Aricak, B., & Sevik, H. (2021). Integrating multicriteria decision-making analysis for a GIS-based settlement area in the district of Atakum, Samsun, Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 143, 379–388. <https://doi.org/10/gn8fwp>

Lima, J. F., Silva, C. B., & outros. (2021). Geotecnologia para caracterização do albedo e temperatura da superfície no Sertão de Pernambuco, Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 44. <https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/35481/pdf>

Lopes, R. J. C., Santos, A. M., & Junior, C. L. (2023). Análise dos índices de vegetação para monitoramento remoto das Caatingas. *Geo UERJ*, 42, e55653.

Tôrres Silveira, N., & demais autores. (2023). Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para a análise espaço-temporal da Bacia Hidrográfica do Rio Terra Nova (Pernambuco). *Zenodo*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7510928>

Nunes, A. (2018). Conforto térmico e estimativa da captura do carbono pela vegetação em diferentes áreas da cidade de Catolé do Rocha - PB. *Universidade Federal de Campina Grande*. <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/3668>

Oliveira, L. M. M., Ferreira, N. J., & outros. (2012). Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 47, 1209–1217. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900005>

Oliveira, T., & demais autores. (2010). Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedo da superfície da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*.

Santos, J. C. B.; Leal, I. R.; Tabarelli, M. (2017). Degradação ambiental no semiárido brasileiro: uma análise das pesquisas científicas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 10(6), 1862-1876.

Santos, K. P., & Santos, A. M. (2019). *Uso da terra, cobertura vegetal e desertificação no Projeto de Irrigação N11 - Petrolina - Pernambuco*. *Terr@ Plural*, 2, 10–20.

Santos, L., & outros. (2019). Conflitos de uso e cobertura do solo para o período de 1985 a 2017 na Bacia Hidrográfica do Rio Caldas-GO. <https://www.researchgate.net/publication/333259504>

Silva, F. H. B. B., & outros. (2003). Diagnóstico agroambiental do município de Jatobá, Estado de Pernambuco.

Silva, J. A. B., Barroso, R. C. A., Rodrigues, A. J., Costa, S. S., & Fontana, R. L. M. (2014). *A urbanização no mundo contemporâneo e os problemas ambientais. Caderno de Graduação: Ciências Humanas e Sociais*, 2(2), 197–207.

Santos Júnior, E. P. (2024). *Avaliação espacial, econômica e ambiental da extração de lenha nos planos de manejo florestal sustentáveis (PMFS) no semiárido de Pernambuco – Brasil* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Pernambuco.

Silva, L. C., & outros. (2021). Índices biofísicos e o saldo de radiação à superfície via sensoriamento remoto no semiárido pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 6(1), 12–23.  
<https://doi.org/10.24221/jeap.6.1.2021.2876.012-023>

Silva, R. M.; Souza, E. P. (2019). Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra no semiárido brasileiro. *Revista Caatinga*, 32(2), 337-346.

Viera, E. G., & Rovani, F. F. M. (2009). *O uso da terra em Silveira Martins: uma nova perspectiva ou possibilidade por meio das geotecnologias*. UFSM.

Zhu, W., Gao, Y., Zhang, H., & Liu, L. (2020). Optimization of the land use pattern in Horqin Sandy Land by using the CLU Mondo model and Bayesian belief network. *Science of the Total Environment*, 739, 139929. <https://doi.org/10/gjv39q>