



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO**  
**CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANÁLISE DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA DO RIO  
MOXOTÓ ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATÉLITE**

**RECIFE, PE 2023**

**GIOVANNA DA CUNHA AIRES**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**ANÁLISE DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA DO RIO MOXOTÓ  
ATRAVÉS DE IMAGENS DE SATÉLITE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), como um dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

**Orientador:** Cristina Rodrigues Nascimento

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

A298a Aires, Giovanna da Cunha  
ANÁLISE DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA DO RIO MOXOTÓ ATRAVÉS DE IMAGENS DE  
SATÉLITE / Giovanna da Cunha Aires. - 2023.  
38 f. : il.

Orientador: Cristina Rodrigues Nascimento.  
Inclui referências.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Bacharelado em  
Engenharia Agrícola e Ambiental, Recife, 2023.

1. Uso da Terra. 2. Detecção de Mudanças. 3. LANDSAT. I. Nascimento, Cristina Rodrigues, orient. II. Título

CDD 628

---



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

**DOCUMENTO DE REGISTRO DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aos 19 dias do mês de abril de 2023 às 14 horas, realizou-se a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado: “Análise de Degradação Ambiental na Bacia do Rio Moxotó através de Imagens de Satélite”, pela aluna **Giovanna da Cunha Aires** de acordo com as Normas Gerais dos Cursos de Graduação da Universidade Federal Rural de Pernambuco e complementadas pelas Normas Internas (PPC) do Bacharelado em Engenharia Agrícola e Ambiental aprovadas pelo Colegiado de Coordenação Didática do Curso.

A Comissão examinadora foi composta pelos professores:  
Cristina Rodrigues Nascimento (Orientador)  
Fabrício Marcos Oliveira Lopes (Membro participante)  
Geber Barbosa de Albuquerque Moura (Membro participante)

Após a apresentação do TCC e efetuadas as arguições, a aluna recebeu da comissão examinadora os seguintes conceitos.

Membro	Nota
Cristina Rodrigues Nascimento	9,5 (nove vírgula cinco)
Fabrício Marcos Oliveira Lopes	9,5 (nove vírgula cinco)
Geber Barbosa de Albuquerque Moura	9,5 (nove vírgula cinco)

De acordo com os conceitos atribuídos a aluna foi considerada aprovada, obtendo nota média de 9,5 (nove vírgula cinco), devendo proceder às correções necessárias e entregar a versão final do TCC no prazo máximo de 30 (trinta) dias.

Conferem o presente documento, que não apresenta rasuras nem emendas as seguintes pessoas:

\_\_\_\_\_  
(Orientador)

\_\_\_\_\_  
(Membro participante)

\_\_\_\_\_  
(Membro participante)

Aluna: Giovanna da Cunha Aires \_\_\_\_\_

Secretariada por Tatiana Menezes \_\_\_\_\_

Recife, 19 de abril de 2023.

## **DEDICATÓRIAS**

Dedico esse trabalho a Deus por ter me guiado nessa caminhada, e a minha família por acreditar em mim e me dar apoio em todo o processo.

*“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.”*

**Theodore Roosevelt**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus primeiramente, pois sem ele nada é possível, por ter guiado o meu caminho e me sustentado ao longo desta trajetória me dando forças para não desistir.

A minha família por todo o apoio que sempre me deram durante toda essa caminhada e por sempre estarem presentes me dando forças em todos os momentos de adversidades.

À professora Cristina Rodrigues Nascimento, orientadora deste trabalho, pela disponibilidade, pelos conhecimentos transmitidos, e todo o suporte fornecido.

Agradeço também aos meus amigos que caminharam junto comigo até aqui, me apoiando e incentivando para conclusão de mais uma etapa da minha vida.

## RESUMO

A exploração desordenada dos recursos naturais, o uso inadequado dos solos e o desmatamento irracional vem provocando inúmeros problemas ambientais, que acarreta a degradação ambiental, com isso o sensoriamento remoto vem ganhando espaço através do monitoramento ambiental no espaço e no tempo com eficácia e à baixo custo, permitindo planejamento e tomadas de decisões para uso sustentável dos recursos naturais. Diante disso objetivou-se analisar através de uma série temporal de imagem do satélite LANDSAT, espaçadas em intervalos de cinco anos, a degradação ambiental sofrida na Bacia do Rio Moxotó. A análise climática foi baseada em uma série mensal de vinte e um anos de dados (2000–2021), através da técnica dos *Quantis*. As imagens de satélites analisadas foram provenientes do MapBiomas e processadas no software QGIS. Também foi realizada a análise de detecção de mudança através da imagem diferença, resultante de técnicas baseadas na observação dos pixels e na mudança que ocorreu com os mesmos em decorrência do tempo. Com isso observou-se que o período chuvoso da Bacia do Rio Moxotó tem a duração de quatro meses, sendo de janeiro a abril, representando cerca de 72% da chuva anual e apresentando uma média de total anual de precipitação de 482,65mm. Por meio da análise de uso e cobertura do solo foi possível verificar o crescimento da agricultura na bacia, através das classes de lavouras temporárias, com crescimento de 97,13% entre os anos 2005 e 2021, e das classes de lavouras perenes e áreas de pastagem, com crescimento entre os anos 2000 e 2021 de 97,64% e 5,35%, respectivamente. A vegetação savânica é a de maior abrangência na bacia, entretanto as áreas de formação florestal são minoria na bacia, tendo assim baixa presença de vegetação densa. Em relação a degradação da Bacia do Rio Moxotó, houve uma diminuição de 98,74% do ano 2000 para 2019, sendo os Municípios mais afetados pela degradação Ibimirim-PE, Inajá-PE, Custódia-PE, Mata Grande-AL, Piraconha-AL e Delmiro Gouveia-AL. As classes de regeneração apresentaram um aumento de 32,63% de 2000 a 2019. Através da análise de imagem diferença também foi possível verificar permanências de áreas recuperadas, entretanto a transição de áreas degradadas para recuperadas foi abaixo do esperado. Com isso o sensoriamento remoto por meio das imagens do satélite LANDSAT, possibilitaram a classificação e análise das classes de uso do solo, dos anos 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 e 2021, bem como a análise de áreas degradadas e recuperadas dos anos 2000, 2005, 2010, 2015 e 2019 de forma satisfatória de modo a ser possível realizar um monitoramento adequado das transformações sofridas pela bacia do Rio Moxotó. Com os estudos foi verificada a necessidade de projetos de recuperação ambiental na bacia, além monitoramentos constantes para auxiliar nas políticas públicas para esta região.

**Palavras-Chaves:** Uso da Terra; Detecção de Mudanças; LANDSAT.



## ABSTRACT

The disorderly exploitation of natural resources, the inappropriate use of soil and irrational deforestation has been causing numerous environmental problems, which leads to environmental degradation, with that remote sensing has been gaining space through environmental monitoring in space and time with efficiency and at low cost, allowing planning and decision-making for sustainable use of natural resources. In view of this, the objective was to analyze, through a time series of LANDSAT satellite images, spaced at intervals of five years, the environmental degradation suffered in the Moxotó River Basin. The climate analysis was based on a monthly series of twenty-one years of data (2000–2021), using the Quantile technique. The satellite images analyzed were from MapBiomass and processed in QGIS software. The change detection analysis was also carried out through the difference image, resulting from techniques based on the observation of the pixels and the change that occurred with them over time. With this, it was observed that the rainy season in the Moxotó River Basin lasts four months, from January to April, representing about 72% of the annual rainfall and presenting an average of total annual precipitation of 482.65mm. Through the analysis of land use and cover, it was possible to verify the growth of agriculture in the basin, through the classes of temporary crops, with a growth of 97.13% between the years 2005 and 2021, and the classes of perennial crops and areas of pasture, with growth between 2000 and 2021 of 97.64% and 5.35%, respectively. The savanna vegetation is the most extensive in the basin, however the areas of forest formation are a minority in the basin, thus having a low presence of dense vegetation. Regarding the degradation of the Moxotó River Basin, there was a decrease of 98.74% from the year 2000 to 2019, with the municipalities most affected by the degradation being Ibimirim-PE, Inajá-PE, Custódia-PE, Mata Grande-AL, Piraconha-AL and Delmiro Gouveia-AL. The regeneration classes showed an increase of 32.63% from 2000 to 2019. Through the difference image analysis, it was also possible to verify permanence of recovered areas, however the transition from degraded to recovered areas was lower than expected. With that, remote sensing through LANDSAT satellite images, enabled the classification and analysis of land use classes, from the years 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 and 2021, as well as the analysis of degraded and recovered areas from the years 2000, 2005, 2010, 2015 and 2019 satisfactorily so that it is possible to carry out adequate monitoring of the transformations undergone by the Moxotó River basin. With the studies, the need for environmental recovery projects in the basin was verified, in addition to constant monitoring to assist in public policies for this region.

**Keywords:** Land Use; Change Detection; LANDSAT.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>6</b>
<b>2. JUSTIFICATIVA</b>	<b>8</b>
<b>3. OBJETIVOS</b>	<b>8</b>
3.2 Objetivo Geral	8
3.3 Objetivos Específico	8
<b>4. REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA</b>	<b>9</b>
4.1 Sensoriamento Remoto	9
4.2 Sensores	9
4.3 Satélites LANDSAT	12
4.4 Geoprocessamento	14
4.5 Sistema de Informações Geográficas (SIG)	14
4.6 QGIS	15
4.7 Degradação Ambiental	16
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>17</b>
5.1 Caracterização da área de estudo	17
5.2 Dados Climáticos	19
5.3 Processamento de Imagens	20
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>21</b>
6.1 Análise Pluviométrica	21
6.2 Análise de Uso e Ocupação	23
6.3 Análise Degradação e Regeneração	27
6.4 Imagem Diferença	30
<b>7. CONCLUSÕES</b>	<b>33</b>
<b>8. REFERÊNCIAS</b>	<b>34</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A exploração desordenada dos recursos naturais, o uso inadequado dos solos, o desmatamento irracional e o uso indiscriminado de fertilizantes, corretivos e agrotóxicos vêm provocando inúmeros problemas ambientais (OLIVEIRA et al., 2012), que acarreta na degradação ambiental do meio, tornando cada vez mais o ambiente impróprio à vida, devido ao esgotamento dos recursos naturais e destruição do ecossistema. Diante deste cenário, cada vez mais, estudos vêm sendo realizados visando a proteção e conservação do meio ambiente.

Nas últimas décadas, o geoprocessamento vem ganhando espaço nas pesquisas de desenvolvimento de geotecnologias relacionadas, principalmente ao monitoramento ambiental. Em especial, as tecnologias envolvidas na detecção de respostas espectrais, mostrando-se assim, uma ferramenta de alta capacidade, podendo ser utilizada para o monitoramento ambiental em larga escala, além de realizar análises de diferentes usos do solo no espaço e no tempo com eficácia e à baixo custo, permitindo planejamento e tomadas de decisões para uso sustentável dos recursos naturais. (SILVA et al., 2019a), resultando assim na disseminação de pesquisas de uso do solo, possibilitando o fornecimento de informações atualizadas e facilitando os diagnósticos de ocupações e parâmetros biofísicos (Silva et al. 2019b).

Dentre os satélites utilizados para o monitoramento dos recursos naturais está o LANDSAT, desenvolvido pela NASA (*Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço*) sendo o primeiro, e mais longo programa de observação terrestre relacionado com a observação dos recursos naturais, com a disponibilização gratuita de todas as imagens a partir de 2009. O primeiro satélite da série foi lançado em 1972 (LANDSAT 1 ou ERTS-1, *Earth Resources Technology Satellite One*), e tem sido continuamente melhorado ao longo das últimas décadas com o lançamento de novos satélites da série, chegando ao LANDSAT 9, lançado em 2021 (LIRA et al., 2016).

O MapBiomass, foi criado pelo Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima (SEEG/OC), com propósito de revelar as transformações do território brasileiro e tornar acessível o conhecimento sobre a cobertura e uso do solo visando a conservação e manejo sustentável dos recursos naturais como forma de combate as mudanças climáticas (MapBiomass, 2023). O projeto de Mapeamento anual do uso e cobertura da terra no Brasil foi criado em 2015, sendo uma iniciativa de monitoramento aberto e colaborativo, tendo como estratégia uso de métodos de processamento avançados da série temporal do LANDSAT, fornecidos pelo *Google Earth Engine*. A iniciativa usa métodos empíricos e estatísticos (como, *random forest* e aprendizado de máquina) para contar o histórico recente de pixels e criar mapas de uso e cobertura da terra anuais de 1985 a 2021 permitindo a visualização e consulta por categorias como País, Estados, Municípios, Regiões, Bacias Hidrográficas, Unidades de Conservação e Terras Indígenas (ROSA et al., 2019). Com os produtos do MapBiomass é possível analisar mudanças na paisagem de determinado local e observar se no mesmo

houve cenários de degradação e regeneração, tendo visto que MapBiomas é uma classificação do uso e cobertura da Terra aplicado em imagens Landsat, o que auxilia nas análises referentes as mudanças de paisagens que ocorrem na superfície terrestre.

A degradação do meio ambiente vem sendo ocasionada pela ação antrópica desde a segunda revolução industrial, e tem aumentado a pressão sob os recursos naturais, causando diversos danos ao meio ambiente e impactando drasticamente a dinâmica natural, além de ocasionar a deterioração dos biomas e suas potencialidades ambientais (Souza et al., 2021). O grau de degradação do solo é, em muitos casos, reflexo do estado da cobertura vegetal, devido a vegetação ter influência na distribuição de água no solo, além de proteger contra processos erosivos, sendo assim indispensável sua avaliação em uma análise de degradação ambiental.

Por isso é de suma importância a análise das mudanças da paisagem, para que haja o monitoramento de ações antrópicas que podem levar a degradação do meio, principalmente em biomas como a Caatinga, que vem sofrendo com degradação severa, estando entre os biomas mais degradado do Brasil, além de estar propício a desertificação, causada pela diminuição da presença de cobertura vegetal por períodos prolongados devido ao extrativismo e a agropecuária (SOUZA et al., 2015).

Alves et al. (2019) destaca em seus estudos que no semiárido brasileiro uma das principais atividades antrópicas que contribuem para o desmatamento da Caatinga, predominante na Bacia do Rio Moxotó, é a agricultura, causando assim a extração excessiva da cobertura vegetal. Ainda segundo Alves et al. (2019) a Bacia do Rio Moxotó vem apresentando alteração de paisagem, acarretando problemas ambientais diversos, sendo de extrema importância avaliar a degradação nas áreas com intervenção antrópica.

Com isso o objetivo deste trabalho foi utilizar séries temporais de imagens do satélite LANDSAT, proveniente do MapBiomas, para avaliação de mudanças na paisagem na Bacia do Rio Moxotó, em intervalos de cinco anos, na série temporal de 2000 a 2021.

## 2 JUSTIFICATIVA

Diante de um cenário de mudanças e degradação ambiental causada pela ação antrópica é de extrema importância o acompanhamento dessas áreas através de séries temporais provenientes de imagens de satélites, para que assim seja possível verificar a degradação sofrida e planejar ações de prevenção, principalmente em áreas mais susceptíveis a degradação.

Alinhado a isso, o sensoriamento remoto surge como uma alternativa para falta de recursos e redução de orçamento, sendo uma ferramenta que otimiza procedimentos de análises, além de trazer uma evolução constante de tecnologias e disponibilidades de imagens de satélites gratuitas para melhor gestão ambiental.

## 3 OBJETIVOS

### 3.2 Objetivo Geral

Analisar a degradação ambiental da Bacia do Rio Moxotó através de uma série temporal de imagem de satélite, proveniente do MapBiomas, espaçadas em intervalos de cinco anos.

### 3.3 Objetivos Específico

- Classificar através de técnica de *Quantis*, com dados de precipitação anual, a distribuição da precipitação na série temporal de 2000 a 2021 em anos secos, normais e chuvosos;
- Detectar mudanças no uso e cobertura da terra dos anos de 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 e 2021;
- Comparar as áreas degradadas e regeneradas para os anos de 2000, 2005, 2010, 2015 e 2019;
- Quantificação das classes do solo;
- Quantificação de áreas degradadas e regeneradas.

## 4. REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA

### 4.1 Sensoriamento Remoto

Lillesand e Kieffer (1994) descrevem o sensoriamento remoto como a arte e/ou ciência que estuda diferentes alvos sem ter contato físico com os mesmos, baseando-se somente na interação da radiação eletromagnética com a matéria. De acordo com Formaggio e Sanches, (2017) o sensoriamento remoto também é descrito como o registro de informações das regiões do espectro eletromagnético, sem contato direto, tendo como intermediários instrumentos como câmeras, scanners, lasers, dispositivos lineares ou matriciais localizados em plataformas como aeronaves ou satélites. Sendo possível assim a análise da informação adquirida por meio visual ou processamento digital de imagem, que vem se tornando cada vez mais necessário nos dias atuais.

Ainda segundo Formaggio e Sanches, (2017) e Novo (2010), vem aumentando a necessidade da utilização conjunta de sensores remotos cada vez mais modernos, instalados em aeronaves, satélites ou outras plataformas que permitam medição da quantidade de energia eletromagnética refletida ou emitida de objetos analisados na superfície da Terra, possibilitando assim o estudo e monitoramento de eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do nosso planeta, como mudanças de paisagem, degradação e regeneração do solo, focos de incêndios, monitoramento de áreas de preservação, entre outros.

Sendo assim, o sensoriamento remoto pode ser composto por quatro componentes básicos:

1. Sensores: Onde sua finalidade é registrar a interação entre objetos e o espectro eletromagnético;
2. Fonte de energia: Que interage com o alvo da análise e que possa ser registrada pelo sensor;
3. Plataforma: Estrutura responsável pelo acondicionamento do sensor;
4. Centro de coleta de dados: É a entidade responsável pela coleta e processamento dos dados, e posterior distribuição aos diferentes interessados (órgãos governamentais, instituições de pesquisa e ensino), (MACHADO, 2018).

### 4.2 Sensores

Sensores são equipamentos capazes de registrar a energia eletromagnética em determinada faixa do espectro eletromagnético, proveniente do objeto de análise, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-la de forma que seja possível a extração de informação (MOREIRA, 2007).

Esses sensores podem ser diferenciados entre duas classes, em relação à fonte de energia, podendo ser passivo ou ativo. Os sensores passivos não emitem energia, entretanto captam a radiação solar refletida ou transmitida pelo alvo ou a radiação emitida, naturalmente, por esse alvo, dependendo assim de uma fonte externa de energia, para ser capaz de gerar informação. Já os sensores ativos produzem e emitem sua própria energia que irá interagir com os alvos em estudo, sendo exemplo destes radares e lasers

uma vez que produzem a energia radiante que irá interagir com os objetos alvo (PEIXOTO, 2006; MACHADO, 2018).

Quando se trata de sensores de imagem, a resolução é a característica técnica mais importante, devido ao nível de detalhamento que a imagem irá possuir, podendo ser dividido em quatro características: Espacial, espectral, radiométrica e temporal.

A resolução espacial está relacionada ao tamanho da unidade mínima de informação da imagem (pixel), sendo assim quanto maior a resolução espacial, maior será o detalhamento da imagem e menor será o tamanho do pixel. A Figura 1 mostra a diferença da qualidade da imagem através da resolução espacial.

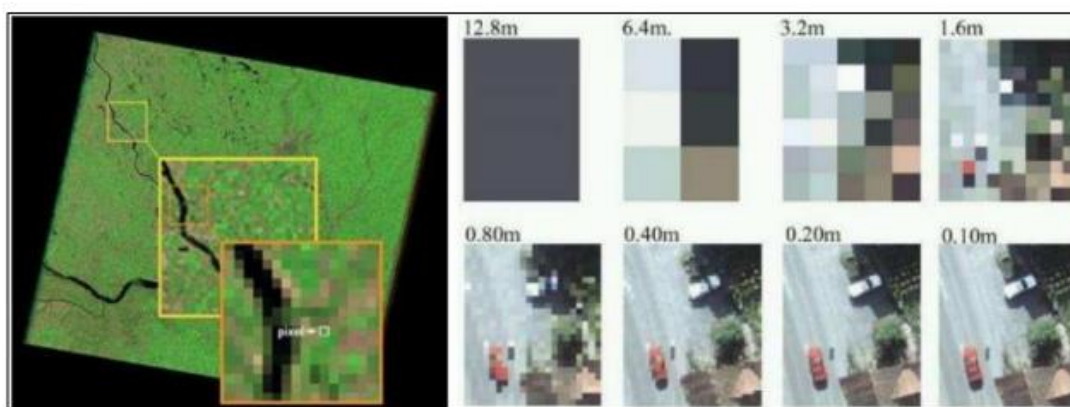


Figura 1: Resolução espacial, metros, comparando tamanho do pixel Fonte: Morales (2017)

A resolução espectral é uma média da largura das faixas espectrais e consequentemente da sensibilidade do sistema sensor em distinguir objetos entre diferentes faixas do espectro eletromagnético. Quanto maior for o número de bandas maior será a resolução espectral do sensor. A Figura 2 mostra as faixas espectrais que podem ser identificadas pelos sensores.

Pode-se observar na Figura 3 a classificação do sensor através da quantidade de bandas captadas pelo mesmo. Quando um sensor capta apenas uma banda, este é classificado como sensor mono-espectral. Quando registra mais do que uma banda até no máximo vinte, o sensor é multiespectral e quando apresenta um número de bandas superior a vinte denomina-se sensor hiperespectral (LIRA et al., 2016).

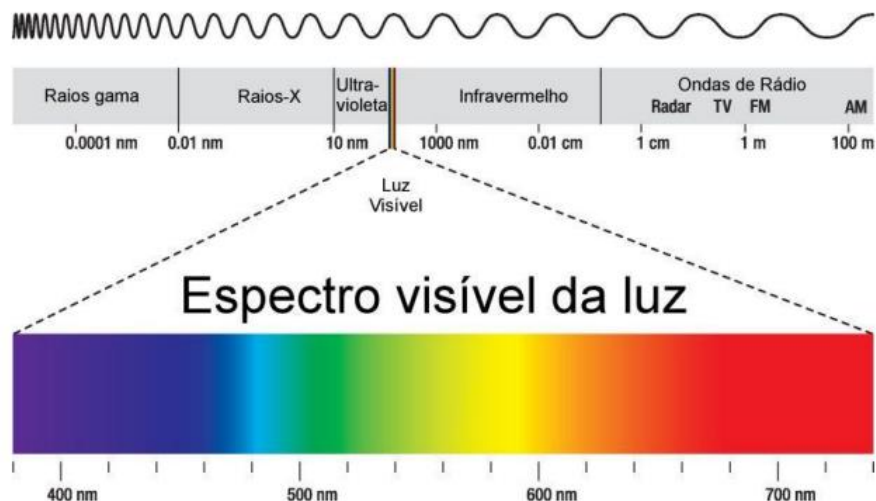


Figura 2: Diferentes tipos de resolução espectral. Fonte: Furian (2023).

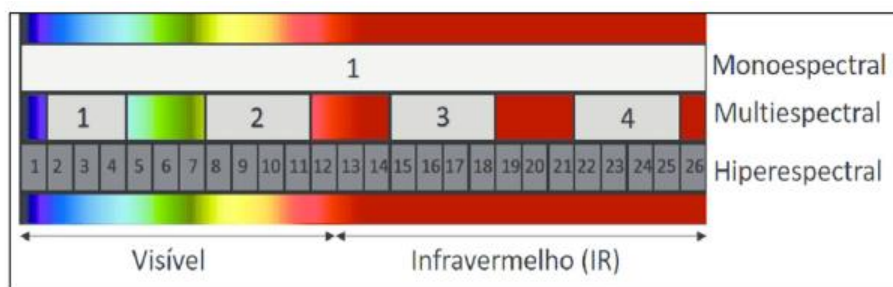


Figura 3: Classificação do sensor de acordo com abrangência de bandas de bandas captadas. Fonte: Lira et al., (2016).

A resolução radiométrica descreve a capacidade de um sensor distinguir variações da radiância espectral de cada pixel recebida, distinguindo assim o número de valores de intensidade ou tons de cinza usados para representar a informação adquirida pelo sensor.

O pixel passa por uma codificação digital, obtendo um valor numérico, expresso em bits, denominado de *Digital Number (DN)*. Este valor é traduzido para intervalo finito de valores possíveis, denominados de níveis de quantização (SCHOWENGERDT, 1983).

O número de níveis de cinza está expresso em bits, que é representado em função do número de dígitos binários necessários para armazenar, em forma digital, o valor do nível máximo de cinza. O seu valor é sempre em potência de 2, por exemplo 8 bits significam  $2^8 = 256$  níveis de cinza, (CROSTA, 1993; MACHADO, 2018). A Figura 4 apresenta a diferença das resoluções radiométricas.



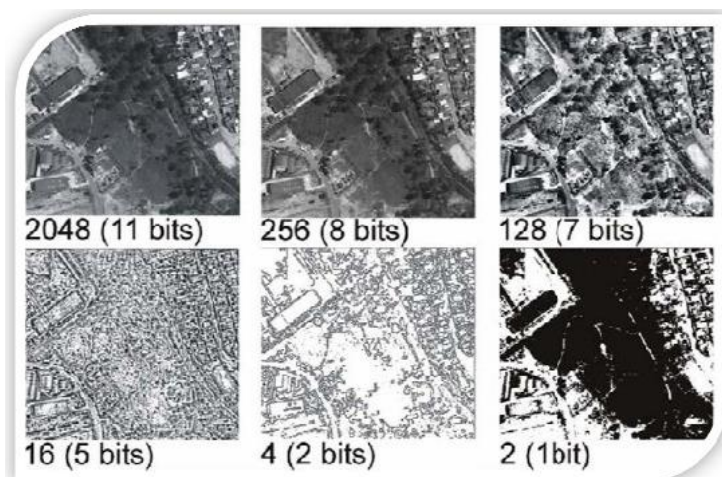


Figura 4: Diferentes resoluções radiométricas. Fonte: MELO, 2002.

A resolução temporal, refere-se à frequência da passagem do sensor por um determinado local, ou seja, frequência com que ele imageia uma determinada área. Este ciclo está relacionado com as características orbitais da plataforma, onde sensores montados em Aeronaves Remotamente Pilotadas, por exemplo, têm uma resolução temporal disponível à disponibilidade de voo, enquanto sensores a bordo de satélites captam imagens com espaçamento de algumas horas, dias ou mesmo semanas, para o mesmo local (MACHADO, 2018).

### 4.3 Satélites LANDSAT

A série LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*) teve início na segunda metade da década 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), tendo como função exclusivamente a observação dos recursos naturais terrestres. Esse programa foi inicialmente denominado ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*) e em 1975 passou a se denominar LANDSAT. Em 1972 foi lançado o primeiro satélite da série, LANDSAT- 1 ou ERTS-1, desenvolvido para atuar diretamente em pesquisas referentes aos recursos naturais. Este satélite continha câmeras RBV (*Return Beam Vidicon*) e MSS (*Multispectral Scanner System*), sendo o primeiro satélite de sensoriamento remoto no mundo e operou por cinco anos, adquirindo mais de 300.000 imagens da superfície da Terra. De 1972 até os tempos atuais foram lançados 9 satélites da série LANDSAT, todos com imagens multiespectrais (INPE, 2022).

No Brasil a série LANDSAT está em atividade desde 1973 através do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Sendo este instituto o responsável pela recepção, processamento e distribuição destes dados no Brasil, desde 1974, além de possuir acervo de dados históricos sobre o país (OLIVEIRA, 2018). A Figura 5 mostra o cronograma do satélites LANDSAT.

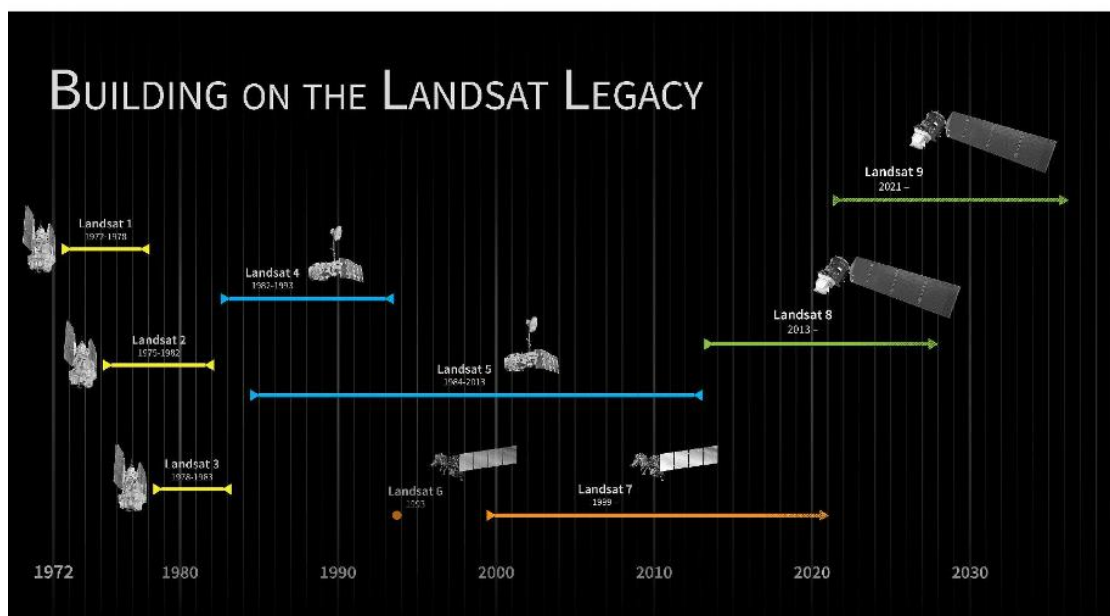


Figura 5: Cronograma dos satélites LANDSAT. Fonte: NASA,2023.

Os satélites LANDSAT 1, 2 e 3, correspondendo ao período entre 1972 a 1992, continham sensor *Multispectral Scanner System* (MSS). O LANDSAT 4 começou a operar em 1982, com o MSS e também com o sensor TM (*Thematic Mapper*), com o intuito de dar suporte as pesquisas em diversas áreas temáticas, especializado em recursos naturais. Dois anos depois entrou em órbita o LANDSAT 5 com os mesmos sensores do LANDSAT 4, entretanto o sensor MSS do satélite LANDSAT 5 deixou de enviar dados em 1995, e o sensor TM manteve-se ativo até novembro de 2011, atingindo 28 anos de operação.

Em 1993, o LANDSAT 4 e o LANDSAT 5 já haviam superado suas vidas úteis e o sexto satélite da série LANDSAT não conseguiu atingir a órbita terrestre, devido à ocorrência de falhas no lançamento. O LANDSAT 6 foi projetado com o sensor ETM (*Enhanced Thematic Mapper*), com configurações semelhantes ao seu antecessor, contendo, porém, a inovação da inclusão da banda 8 pancromática com 15 metros de resolução espacial.

Em 1999 foi lançado o LANDSAT 7 com o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), evolução do sensor ETM, conseguindo melhorar a acurácia do sistema, e mantendo os mesmos intervalos espectrais, além de ampliar a resolução espacial da banda 6 (infravermelho termal) para 60 metros, tornar a banda pancromática operante e permitir a geração de composições coloridas com 15 metros de resolução. Este satélite enviou dados completos para a Terra até 2003, quando apresentou avarias de hardware. Suas imagens ainda são adquiridas, entretanto para utilização necessitam de correções prévias e análise de acurácia no posicionamento e calibração dos pixels.

O lançamento em 2013 do LANDSAT 8, ou de satélite LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*), deu continuidade a missão, operando com os instrumentos OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). O sensor OLI dará continuidade aos produtos gerados a partir dos sensores TM e ETM+, a bordo das plataformas anteriores, além de incluir duas novas bandas espectrais, uma projetada para

estudos de áreas costeiras e outra para detecção de nuvens do tipo cirrus (EMBRAPA, 2022).

Em 2021 o LANDSAT 9 é lançado, sendo uma colaboração entre a NASA e o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), dando continuidade a missão de monitorar e gerenciar os recursos terrestres. Os sensores encontrados no LANDSAT 9 incluem o *Operational Land Imager-2* (OLI 2) e o *Thermal Infrared Sensor-2* (TIRS 2). OLI 2 é um sensor idêntico ao OLI presente no LANDSAT 8, para permitir a continuidade dos dados e reduzir o risco de falha. O TIRS 2 é quase idêntico ao TIRS (do LANDSAT 8), com pequenas melhorias.

O OLI 2 é capaz de imagear nas bandas do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas do espectro eletromagnético, permitindo assim o monitoramento de águas costeiras e detecção de nuvens cirrus na atmosfera. O TIRS 2 é um sensor de imagem térmica que abriga três módulos com matrizes de fotodetectores infravermelhos de poços quânticos para capturar dados de evapotranspiração e mapear fluxos de calor urbano (NASA, 2023).

#### **4.4 Geoprocessamento**

O geoprocessamento é caracterizado como o conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica. (CÂMARA et al., 1998), e nasceu com a necessidade de analisar dados em uma série de mapas e relacioná-los por sobreposição.

As primeiras espacializações de dados ocorreram em 1854, através do trabalho de John Snow, que utilizou o endereço de casos de cólera na base cartográfica da cidade de Londres, para identificar a fonte causadora da doença. Com o avanço da computação esses procedimentos se tornaram mais rápidos e precisos através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Esses sistemas como conhecemos atualmente foi implementado a partir de 1960, através de ferramentas computacionais para Geoprocessamento, responsável por integrar dados de diferentes fontes e criar bancos de dados georreferenciados, possibilitando a automação da produção de documentos cartográficos (CÂMARA et al., 1998).

#### **4.5 Sistema de Informações Geográficas (SIG)**

Chrisman (1997) destaca o Sistema de Informações Geográficas como o sistema dotado de computadores e periféricos, programas, dados, pessoas, organizações e instituições com o propósito de coletar, armazenar, analisar, e disseminar informações sobre a superfície da Terra.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e

representados numa projeção cartográfica. Os dados tratados em geoprocessamento têm como principal característica a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados (CÂMARA et al., 1998).

O SIG tem como estrutura geral interface com o usuário, entrada e integração de dados, funções de processamento gráfico e de imagem, visualizações, plotagens, armazenamentos e recuperação de dados. Essas funções operam sobre dados de uma área e a ligação entre os dados geográficos e as funções do sistema SIG é feita a partir da seleção e consulta definindo restrições referente aos dados (CÂMARA et al., 1998).

Segundo Olaya (2014) o SIG permite ações como:

- Leitura, edição, armazenamento e, em termos gerais, a gestão de dados espaciais;
- Análise dos dados, podendo ser através de consultas simples ou de elaboração de modelos complexos e deve permitir a consulta de um dado específico, bem como a totalidade do componente temático;
- Geração de resultados como mapas, gráficos, índices etc.

## 4.6 QGIS

QGIS é, um dos muitos, sistema de informação geográfica (SIG), anteriormente designada por *Quantum GIS*, pertencente à *Open Source Geospatial Foundation* que foi desenvolvido em 2002, utilizando as ferramentas Qt9 e C++, sendo continuamente atualizado e corrigido por voluntários. O QGIS é caracterizado por ser um software livre, destinado a manipulação de dados espaciais, de código-fonte aberto, o que possibilita que os usuários criem ferramentas para realizar diversas funções e integração com ferramentas já existentes no âmbito do geoprocessamento.

Ito et al. (2017), destaca que a interface deste software permite consultas espaciais, identificação e seleção de geometrias, exploração interativa de dados, pesquisa, visualização e seleção de atributos, além de criação de simbologia vetorial e raster, permitindo assim o geoprocessamento de camadas raster (matriz) e vetor (pontos, linha e polígono).

Almeida e Sanchez (2005), também comentam sobre as funcionalidades do QGIS, destacando consultas espaciais, exploração interativa de dados, identificação e seleção de geometrias, pesquisa, visualização e seleção de atributos e criação de simbologia vetorial e raster.

Uma das vantagens do QGIS, também é sua interface de fácil manuseio, e a possibilidade de instalação de vários plugins (sub-rotinas com funções específicas), ampliando assim sua funcionalidade, além de permitir a utilização da ferramenta GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*) de processamento e análise na forma de plugin. Essa ferramenta é gratuita e aberta, tendo sido desenvolvida pelo Exército dos

Estados Unidos (*US Army Corp of Engineers*) em 1985 e pertencendo, atualmente, à *Open Source Geospatial Foundation* (LIRA et al., 2016).

Leonardo et al. (2021) analisaram, através do software QGIS, as variações temporais geoespacializadas do uso e cobertura da Terra, vegetação e área superficial do espelho d'água do reservatório de Poço da Cruz, em Pernambuco, em uma perspectiva espectro temporal utilizando imagens datadas de 2000, 2013 e 2020, aplicando os índices espectrais MNDWI, NDWI, SAVI, IAF, dos sistemas sensores TM Landsat 5 e OLI Landsat 8, e ferramentas do projeto MapBiomias da coleção 5.0.

Câmara et al. (2021) utilizaram o QGIS para todas as etapas de processamento digital no estudo de alterações dos parâmetros biofísicos NDWI e Albedo da superfície no reservatório Poço da Cruz/PE e seu entorno utilizando imagens orbitais, possibilitando a identificação de corpos hídricos, matas ciliares e áreas propensas à degradação do solo, no período de 2010, 2015 e 2018.

Bezerra (2019), também utilizou o QGIS em seus estudos para analisar o comportamento espectral e espacial dos alvos de superfície sob o ponto de vista dos índices espectrais e realizou a classificação supervisionada na Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó entre os sensores: OLI/Landsat-8 e MSI/Sentinel-2.

#### **4.7 Degradação Ambiental**

A Lei Federal nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, define degradação da qualidade ambiental como a alteração adversa das características do meio ambiente. O Decreto Federal nº 97.632, de 10 de abril de 1989, traz o conceito de degradação ambiental, como sendo, os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais. A Resolução CONAMA nº 305, de 12 de junho de 2002, trata da degradação da qualidade ambiental como sendo a poluição ou alteração adversa das características do meio ambiente.

Pode-se dizer que alguns impactos ambientais, que alterem de forma maléfica os elementos físicos, químicos e naturais da paisagem, inferiorizando a qualidade ambiental, causam processos de degradação ambiental.

Para Louzada (2010) a atividade humana gera impactos ambientais que repercutem nos meios físico-biológicos e socioeconômicos, afetando os recursos naturais e a saúde humana, podendo causar desequilíbrios ambientais no ar, nas águas, no solo e no meio sociocultural. Algumas das formas mais conhecidas de degradação ambiental são: a destruturação física (erosão, no caso de solos), a poluição e a contaminação.

Luz et al. (2022) destacam que a exploração contínua e insustentável dos recursos naturais promove a degradação ambiental, situação que expõe o ambiente a fragilidade, necessitando assim estudar as transformações da paisagem, e o estabelecimento de estratégias para monitorar distúrbios naturais e antrópicos.

Na atualidade o monitoramento dessas degradações são de extrema importância e são feitos a partir de banco de dados georreferenciados e tecnologias, como o sensoriamento remoto com uso de fotografias aéreas, radar e imagens de satélites, sendo um excelente recurso para avaliar desestabilizações do espaço, pois suas informações podem ser atualizadas com frequência, em função da quantidade de sensores que se tem monitorado a superfície da Terra (Batista et al., 2010).

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Caracterização da área de estudo**

A Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó está situada, em sua maior parte, no Estado de Pernambuco, estendendo-se na sua porção sudeste para o Estado de Alagoas até o Rio São Francisco. A bacia se localiza entre 07° 52' 21" e 09° 19' 03" de Latitude Sul, e entre 36° 57' 49" e 38° 14' 41" de Longitude Oeste, como mostra a Figura 6. Segundo a APAC (2022), Agência Pernambucana de Águas e Climas, sua porção pernambucana constituindo a Unidade de Planejamento Hídrico (subdivisões das bacias hidrográficas) UP8. A UP8 limita-se: ao norte, com o Estado da Paraíba e com a Bacia do Rio Pajeú (UP9); ao sul, com o Estado de Alagoas e com o grupo de bacias de pequenos rios interiores 2 - GI2 (UP21); a leste, com as Bacias dos Rios Ipojuca (UP3) e Ipanema (UP7); e a oeste, com a Bacia do Rio Pajeú e o grupo de bacias de pequenos rios interiores 3 - GI3 (UP22).

Ainda segundo a APAC o Rio Moxotó nasce no Município de Sertânia. Da nascente até sua foz, no Rio São Francisco, o rio possui uma extensão de cerca de 226 km. Seus principais afluentes pela margem direita, de montante para jusante, são riacho do Saquinho, riacho do Lajedo, riacho da Custódia, riacho do Capiti e riacho Juazeiro. Pela margem esquerda, destacam-se riacho do Feliciano, Rio Piutá, riacho Salgado, riacho do Pioré, Rio Priapé e riacho do Parafuso, que serve de limite entre os Estados de Pernambuco e Alagoas.

Com sua nascente situada no Município de Sertânia, o Rio Piutá é o afluente mais importante do Rio Moxotó. Após percorrer cerca de 54 km de extensão, esse rio deságua no reservatório Engenheiro Francisco Sabóia, também conhecido como Poço da Cruz, no Rio Moxotó.

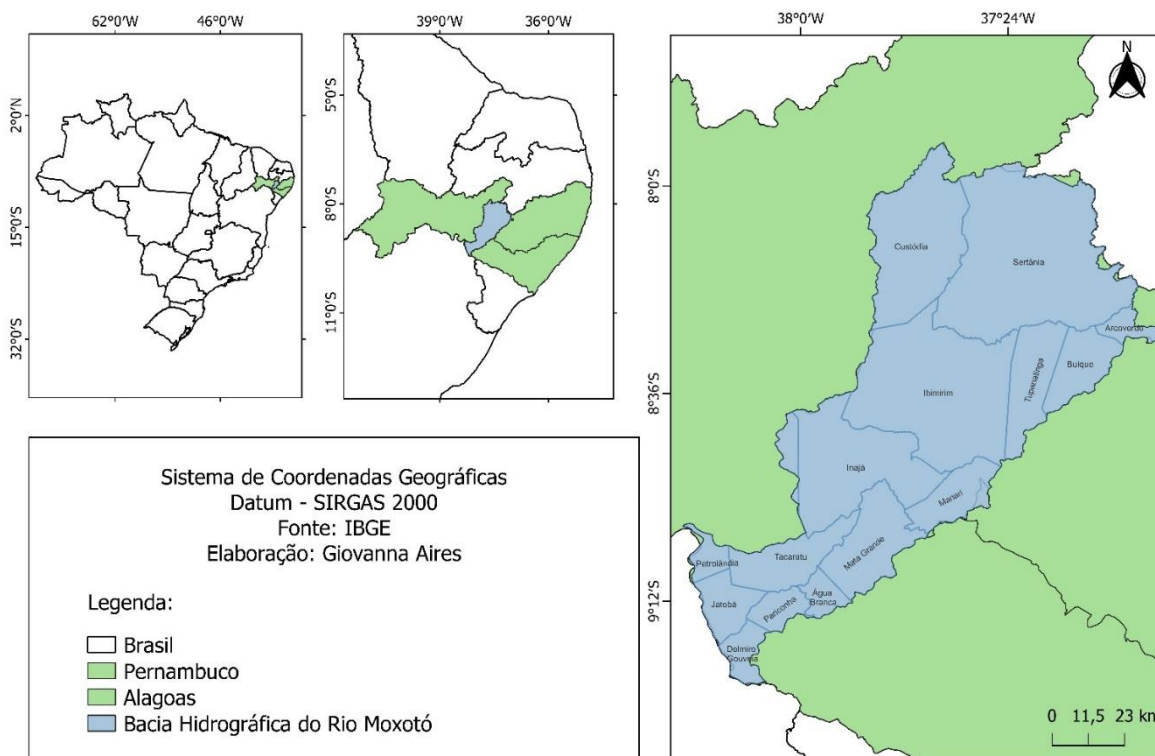


Figura 6: Mapa de Localização da Bacia do Rio Moxotó.

A Bacia do Rio Moxotó possui uma área total de 9.744,01 km<sup>2</sup>, dos quais 8.772,32 km<sup>2</sup> pertencem ao Estado de Pernambuco (89,2% de sua área), situando-se em sua maior parte no Sertão do Moxotó. Esse trecho abrange áreas de 12 Municípios, dos quais Inajá, Sertânia e Ibimirim estão totalmente inseridos na bacia. Os Municípios com sede na bacia são Arcoverde, Custódia, Ibimirim, Manari e Tacaratu, enquanto os parcialmente inseridos são Buíque, Floresta, Jatobá, Iguaraci e Tupanatinga (APAC, 2022).

A bacia faz parte integral do Polígono das Secas e da área de atuação da CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba). O clima da bacia é classificado como BShW, quente e seco, segundo a classificação de *Köppen*, com uma média pluviométrica anual variando entre 300 mm a 900 mm, com chuvas concentradas nos meses de janeiro a maio, tendo uma temperatura média de 25°C, (ALVES, 2016).

A Bacia do Rio Moxotó é coberta de norte a sul, em 89% da sua área por Caatinga, sendo enquadrada como região de savana. A cultura cíclica ocupa 7% da bacia, enquanto os 4% restantes são ocupados por vegetação arbórea aberta. Na bacia também são identificados metamorfismo regionais, destacando-se a feição de natureza cristalina com predomínio de gnaisses ao norte, e outra sendo área sedimentar de arenitos pertencentes ao aquífero Jatobá na faixa central da bacia, no sentido SO-NE (MELO, 2010).

De acordo com Oliveira (2018) a bacia possui altitude variando entre 200 e 1100 metros, possuindo geologia complexa, onde as cabeceiras de drenagem encontram-se sobre estruturas cristalinas associadas à encosta ocidental do planalto da Borborema.

Tendo um padrão de drenagem radial dendrítica secundariamente modificado para formas paralelas.

Os recursos minerais da bacia compreendem argila, areia quartzosa, amianto, calcário, cristais de quartzo, caulim, ferro, grafite, mármore, talco, vanádio e vermiculita. Destes, apenas o caulim é explorado economicamente (MMA, 1998). Sendo os solos da bacia bastante variados, havendo mais de dez grupos pedológicos. Os solos do tipo Bruno Não Cálcicos são predominantes e encontrados ao norte da bacia, já ao centro são encontrados solos de areias quartzosas álicas, e ao sul estão dispostos os planossolos solódicos eutróficos, sendo esses presentes na porção norte da bacia também.

A CODEVASF destaca um potencial de solos agricultáveis classe 3, tendo um total de 182.500 hectares de terras para irrigação (MMA, 1998).

No Vale do Moxotó predominam atividades agropecuária, havendo grande dominância de áreas de pastagens e alguns cultivos de subsistência sempre sujeitas a elevados riscos de perda das produções, em face de deficiência hídrica, típica da região, assim irrigação representa 90% da demanda hídrica da bacia. Se dando assim a enorme importância do O açude público Engenheiro Francisco Sabóia, também denominado Poço da Cruz, que além de ser o maior reservatório do Estado de Pernambuco é a principal fonte hídrica para a irrigação do Perímetro Irrigado do Moxotó, fazendo com que esse sistema seja uma grande expectativa para o desenvolvimento social e econômico da região (MELO, 2010; OLIVEIRA, 2018).

## 5.2 Dados Climáticos

A análise climática foi baseada em uma série mensal de vinte e um anos de dados (2000–2021), Em virtude da inexistência de 30 anos consecutivos, onde foram utilizadas as variáveis climatológicas do total de precipitação anual, do Município de Ibimirim, tendo visto que ele está totalmente inserido na bacia e tem uma localização estratégica, na parte central da bacia, sendo adotado para representação da mesma, a partir dos dados disponibilizados pelo AGRITEMPO (Sistema de Monitoramento Agrometeorológico). Foi aplicada a série de precipitação total anual, a análise da técnica de *Quantis*, de acordo com metodologia utilizada por Monteiro et al. (2012). Os “*Quantis*” constituem “estatísticas” extremamente úteis e oportunas para o tratamento de inúmeras situações de interesse em meteorologia, climatologia e hidrologia (ou em outras áreas). Entre as suas várias utilidades, pode-se citar o seu emprego como uma técnica de “discretização” ou de “categorização”, envolvendo a obtenção de classes cujas probabilidades (ou frequências) sejam equidistribuídas. Seja  $X$  a chuva total de um ano da localidade, ao longo de anos ininterruptos, uma variável aleatória contínua. O *Quantil*  $Q_p$ , para cada número  $p$  entre zero e um, é o valor de chuva satisfazendo a condição  $Prob(X \leq Q_p) = p$ .

Para cada valor observado  $X_0$  da chuva, o número ( $0 < p_0 < 1$ ) tal que:  $F(X_0) = p_0$ , diz-se de ordem quantílica  $p_0$ , associada a  $X_0$ . Uma interpretação simples para o *Quantil*  $Q_p$  é a seguinte: supondo que  $p$  se expressa em potenciais: espera-se que em  $p(\%)$  dos anos a altura da chuva  $X$  não deve ultrapassar o valor do *Quantil*  $Q_p$ , enquanto para  $(100 - p)$  dos anos tal valor será excedido. Com respeito às ordens quantílicas  $p = 0,25$ ;



0,50 e 0,75 (25%, 50% e 75%) os *Quantis* respectivos são designados quartis, onde  $Q0,25$ ,  $Q0,50$  e  $Q0,75$  são o quartil inferior, à mediana, e o quartil superior, respectivamente.

No presente trabalho os períodos “secos” foram aqueles em que os totais de precipitação foram iguais ou menores que a frequência acumulada de ocorrência de 25% (intervalo de valores inferiores a 357,13mm), os “NORMAIS” com probabilidade maior que 25% e inferior ou igual a 75% (superiores a 357,13mm e inferiores a 570,07mm), e os “CHUVOSOS” com probabilidade maior que 75% (superiores a 570,07mm e inferiores a 783,00mm).

Após esta análise, foram utilizados dados de precipitação anual da série temporal de 2000 a 2021 de modo a caracterizar o ano em uma das três classes resultantes da análise de *Quantis*.

### 5.3 Processamento de Imagens

Para o levantamento de imagens de satélite da região da bacia foi consultado o site do MapBiomas, onde as imagens adquiridas foram referentes ao mapa de uso e cobertura da Terra, transições e qualidade do mosaico e mapa de desmatamento e regeneração, ambos referente a coleção 7, sendo as imagens do LANDSAT com 30 metros de resolução espacial e 8 bits de resolução radiométrica, referente aos anos de 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 e 2021 (no caso do mapa de desmatamento e regeneração as imagens foram até o ano de 2019 por 2020 e 2021 ainda não estarem disponíveis no site). Para o processamento das imagens utilizou-se o software QGIS.

No software QGIS recortou-se a bacia de interesse, a partir do *shapefile* disponível da base de dados geográficos da ANA, que contém todas as bacias do Brasil, para que assim as imagens do MapBiomas fossem importadas no formato *GEOTIFF*, e fosse realizada a delimitação da área da bacia na imagem. Após o recorte da bacia foi feita a reclassificação da imagem de acordo com os valores dos pixels de cada produto. Para o mapa de uso e cobertura do solo a reclassificação foi feita considerando as classes do terceiro nível categórico, já para os mapas de degradação e regeneração a reclassificação foi realizada para identificar apenas as áreas que sofreram degradação, regeneração e outras classe que não são avaliadas na análise, ou seja, não classificadas nas duas classes de interesse (Tabela 1).

Após a elaboração dos mapas foi realizada a análise das áreas referente a cada classe de uso e cobertura do solo na bacia e de degradação e regeneração, para posterior análise das modificações sofridas na paisagem da bacia durante ao longo dos anos avaliados.

Para análise de detecção de mudança na paisagem utilizou-se a imagem diferença, que são resultantes de técnicas baseadas na observação dos pixels e na mudança que ocorreu com o mesmo em decorrência do tempo, para que assim se possa caracterizar as mudanças ocorridas entre as imagens. Um vetor de mudança é definido pela diferença na posição espectral de um mesmo pixel em tempos distintos de sua trajetória (Johnson e Kasischke, 1998).

As imagens diferença foram calculadas no software QGIS através da ferramenta *Land Cover Change*, disponível no complemento *Semi-Automatic Classification Plugin*, analisando as detecções de mudanças do mapa de degradação e regeneração do ano 2000 para 2010 e posteriormente do ano 2010 para 2019.

Tabela 1: Reclassificação do Mapa de Degradação e Regeneração da Bacia do Rio Moxotó.

<b>Classes MapBiomias</b>	<b>Reclassificação</b>
Antrópico	Outras Classes
Vegetação Primária	
Supressão da Vegetação Primária	Degradação
Supressão da Vegetação Secundária	
Recuperação da Vegetação Secundária	Recuperação
Vegetação Secundária	

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Análise Pluviométrica

De acordo com estudo climático, o período chuvoso da Bacia do Rio Moxotó tem a duração de quatro meses, sendo de janeiro a abril, representando cerca de 72% da chuva anual e apresentando uma média de total anual de precipitação de 482,65mm. A bacia é marcada pela irregularidade temporal, não tendo precipitações distribuídas de forma homogênea durante o ano, e sim grande concentração de precipitação em poucos meses do ano (ALVES et al., 2019).

É importante ressaltar que o Município escolhido para representação da bacia, pertence ao Sertão de Pernambuco, entretanto a bacia também abrange municípios do Agreste de Pernambuco e do Sertão do Estado de Alagoas, fazendo com que haja algumas diferenças em relação ao período chuvoso em outras literaturas, onde por exemplo Marengo et al. (2011) que destacam o período chuvoso do semiárido brasileiro como sendo de janeiro a maio e Alves et al. (2019) que também destacam o período chuvoso da bacia sendo de janeiro a maio.

De acordo com os resultados da técnica de *Quantis*, o ano com maior total anual precipitado, foi 2020 com um total de 783,00mm, em contrapartida o ano de menor total anual precipitado, foi 2012 com um total precipitado de 144,20mm, sendo assim os períodos secos obtiveram totais anuais iguais os menores que 357,13mm, os anos normais superiores a 357,13mm e inferiores a 570,07mm, e os chuvosos superiores a 570,07mm a 783,00mm. O intervalo dos *Quantis* e a classificação dos anos avaliados podem ser observados nas Tabelas 2 e 3. Observa-se que no período estudado há concentração de anos normais, tendo 11 dos anos avaliados esta classificação, os anos chuvosos compreendem 5 dos anos avaliados e os anos secos compreendem 6 dos anos avaliados.

Tabela 2: Classificação dos *Quantis* para a série temporal de 2000 a 2021.

Classificação dos Quantis	
Ano Seco	144,20 - 357,13
Ano Normal	>357,13 - 570,07
Ano Chuvoso	>570,07 - 783,00

Tabela 3: Classificação da precipitação a partir da técnica de *Quantis* da série temporal de 2000 a 2021.

Classificação da Precipitação		
Ano	Total Anual	Classificação
2000	713,70	Chuvoso
2001	546,60	Normal
2002	457,50	Normal
2003	474,00	Normal
2004	507,70	Normal
2005	687,30	Chuvoso
2006	339,30	Seco
2007	523,00	Normal
2008	514,70	Normal
2009	691,30	Chuvoso
2010	691,10	Chuvoso
2011	491,30	Normal
2012	144,20	Seco
2013	372,70	Normal
2014	442,40	Normal
2015	379,80	Normal
2016	290,80	Seco
2017	285,00	Seco
2018	337,50	Seco
2019	262,40	Seco
2020	783,00	Chuvoso
2021	505,30	Normal

## 6.2 Análise de Uso e Cobertura do Solo

A Figura 7 e a Tabela 4 são referentes a análise de uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Moxotó, dos anos 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 e 2021. Foram identificadas na bacia as classes de formação florestal, formação savânica, formação campestre, pastagem, mosaico de usos, área urbanizada, áreas não vegetadas, mineração, lavouras temporárias, lavouras perenes e corpos d'água.

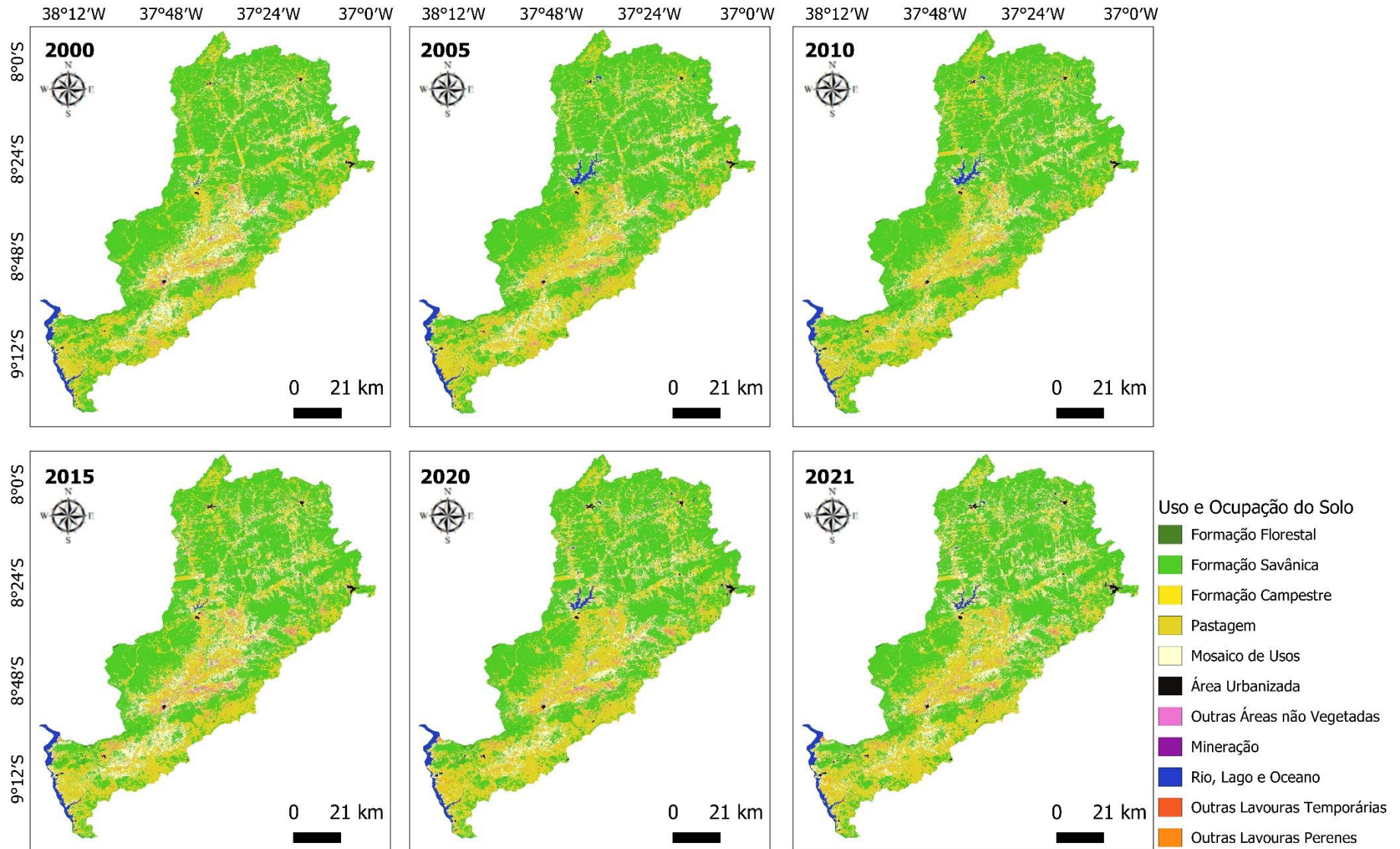


Figura 7: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Bacia do Rio Moxotó dos anos de 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 e 2021 via dados do MapBiomas.

Tabela 4: Área de uso e cobertura da bacia do rio Moxotó.

Área Km <sup>2</sup>	Ano					
	2000	2005	2010	2015	2020	2021
<b>Formação Florestal</b>	19,45	20,18	19,94	21,80	22,94	23,26
<b>Formação Savânica</b>	5.927,56	5.977,43	6.194,36	5.568,53	5.490,04	5.494,99
<b>Formação Campestre</b>	48,08	47,96	49,78	52,95	52,75	53,01
<b>Pastagem</b>	2.677,35	2.797,58	2.620,57	2.859,49	3.144,19	2.828,66
<b>Mosaico de usos</b>	1.255,79	1.049,49	1.014,18	1.360,43	1.153,61	1.464,17
<b>Área Urbanizada</b>	19,79	20,99	22,86	27,05	34,77	39,67
<b>Outras Áreas não Vegetadas</b>	133,33	118,99	110,75	189,91	130,01	130,04
<b>Mineração</b>	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
<b>Rio, Lago e Oceano</b>	103,05	151,46	148,65	97,28	128,56	122,71
<b>Outras lavouras Perenes</b>	0,53	0,69	0,85	2,52	22,37	22,48
<b>Outras lavouras Temporárias</b>	0	0,17	2,98	4,96	5,69	5,93

As análises de uso e cobertura do solo da Bacia do Rio Moxotó, iniciada no ano 2000, apresentaram 10 classes, especificadas na Tabela 4, entretanto a partir do ano 2005 foi constatada mais uma classe de uso e cobertura na bacia, sendo esta, outras lavouras temporárias, que apresentou um crescimento de 97,13% do ano de 2005 para 2021. Estas classes destacam-se nos Municípios de Pariconha/AL, Ibimirim/PE, Tupanatinga/PE, Buíque/PE e Inajá/PE.

A classe outras lavouras perenes, também se destacam apresentando um crescimento de 97,64% do ano 2000 para o ano de 2021. Estas classes destacaram-se nos Municípios de Jatobá/PE, com crescimento de 34,55% de área plantada com lavouras perenes do ano de 2004 a 2021, Petrolândia-PE, com um crescimento de 71,86% Tacaratu/PE, com crescimento de 50,31% e Delmiro Gouveia/AL, com crescimento de 94,44%. De acordos com dados do IBGE (2023), no Município de Jatobá do ano 2004 para o ano 2021 foram implementadas as culturas de caju (para extração da castanha), mamão e maracujá, tendo um aumento significativo na área plantada da cultura do coco da bahia de 75% de sua área plantada em 2004. No Município de Petrolândia/PE encontra-se as mesmas culturas no ano de 2004 até 2021, sem implementação de novas culturas, tendo, entretanto, um aumento na área plantada de 78,36% de coco-da-baía, 75% de laranja, 40% de limão, 28,57% de mamão, 49,60% de manga e 62,50% de maracujá. No Município de Tacaratu foram implementadas as culturas de banana, goiaba, mamão e maracujá, tendo destaque a cultura do coco da bahia e da goiaba, já presentes em 2004, tendo um aumento na área plantada de 95% e 83,33%, respectivamente. E no Município de Delmiro Gouveia no ano de 2004 só havia área plantada de banana, sendo implementadas até 2021 as culturas de castanha de caju, coco da bahia, manga e maracujá.

A classe pastagem também apresentou um aumento de 5,35%, mostrando assim o avanço da atividade agrícola na bacia.

O crescimento da agricultura no Município de Ibimirim está relacionado principalmente a volta da atividade do açude Poço da Cruz, que em 1995 teve a suspensão do uso da água do reservatório para irrigação, devido ao longo período de estiagem, essa suspensão durou até o ano de 2004, quando houve a retomada do perímetro irrigado da bacia (ALVES, 2016). Leonardo et al. (2021) constataram através do método de classificação automatizada do MapBiomas, coleção 5, na região do Reservatório Poço da Cruz, no decorrer de 19 anos um aumento no uso do solo para agricultura e pastagem.

As áreas de mosaico de usos, são áreas em que não se pode distinguir entre pastagem e agricultura, e apresentaram um crescimento de 14,23% do ano 2000 para 2021, tendo perdas e ganhos entre esses anos.

As áreas urbanizadas também mostram aumento de 50,11% do ano 2000 para 2021, evidenciando o crescimento da atividade antrópica na bacia, que passou de 19,79km<sup>2</sup>, em 2000, para 39,67km<sup>2</sup>, em 2021. Este aumento na urbanização também foi identificado por Oliveira et al. (2009), em estudo de caracterização ambiental da Bacia do Rio Moxotó, entre os anos de 1992 e 2003, onde constataram aumento espacial do albedo acima de 40%, sendo este referente a áreas de uso antrópico na bacia.

As áreas de formação florestal da bacia tiveram um pequeno aumento de 16,38% do ano 2000 para 2021, entretanto essas áreas são minoria na bacia, tendo baixa presença de vegetação densa, corroborando com Alves et al. (2019) que constataram em seus estudos baixíssima presença de vegetação densa na bacia, além de apresentar perdas em vários anos (não consecutivos) da série temporal analisada, 1984 a 2011, o que também foi constatado no presente estudo, mesmo nos períodos posteriores a análise realizada pelos autores. Garcia (2018), também constata em seus estudos, entre os anos de 1995 a 2016, o déficit na vegetação arbórea em toda a bacia, ressaltando ainda a pouca efetividade de manejo florestal para as atividades extrativistas na bacia.

As áreas de formação savânica, são áreas de maior abrangência na bacia, e representam espécies de dossel semi-contínuo, essas áreas tiveram uma pequena diminuição do ano de 2000 para 2021, tendo variações de perdas e ganhos entre esse intervalo. O ano de 2005 e 2010 apresentaram um aumento de 0,84% e 4,31%, respectivamente em relação ao ano 2000, isso está relacionado a ambos os anos serem chuvosos, o que favoreceu o desenvolvimento da vegetação, entretanto no ano de 2015, considerado como normal, segundo a classificação dos *Quantis*, houve uma diminuição de 6,06% em relação ao ano 2000. Apesar de 2020 ter sido um ano chuvoso a formação savânica ainda apresentou uma pequena diminuição, que se manteve praticamente igual no ano de 2021 (tendo um pequeno aumento de 0,09% entre esses dois anos), isso está relacionado aos anos entre 2015 e 2020, que foram 4 anos consecutivos secos, fazendo com que a vegetação não respondesse tão bem ao ano chuvoso de 2020, devido ao período extremo a que foi exposta.

Em relação a áreas de formação campestre, houve um aumento de 9,30% do ano 2000 para 2021, havendo uma pequena diminuição apenas do ano 2000 para 2005 de 0,46%, após o ano de 2005 a área de formação campestre só aumentou, o que pode estar relacionado a volta das atividades do Poço da Cruz.

As áreas não vegetadas sofreram variações durante o período analisado, tendo uma leve diminuição de 2,47%, do ano 2000 para 2021. Nos anos de 2005 e 2010 essas áreas apresentaram maior diminuição, visto que esses anos foram anos chuvosos. Já no ano de 2015 foi quando essas áreas apresentaram maior concentração na bacia (aumentando 29,79% em relação ao ano 2000), estando este fato relacionado ao ano de 2015 ser um ano normal, em relação a classificação da precipitação, sendo precedido por três anos (2011, 2013, 2014) classificados como normais e um seco (2012), o que fez com que a vegetação não se desenvolva adequadamente e conseqüentemente aumentar a porcentagem de solo exposto.

Em relação a classe corpos d'água que abrange rios, lagos e oceano (no caso da bacia rios e lagos) houve um aumento de 32% de área ocupada por essa classe do ano de 2000 para 2005, passando de 103,05 km<sup>2</sup> para 151,46 km<sup>2</sup>, na imagem da bacia é nítida a alteração no Poço da Cruz, localizado no Município de Ibimirim/PE, onde sua área aumentou significativamente, corroborando com a ANA (2018), em seu marco regulatório referente ao poço, que destaca o volume do Poço da Cruz no ano de 2000, estando abaixo do volume crítico de 30,25 hm<sup>3</sup> e no ano de 2005 estando acima do volume médio e próximo ao volume máximo de 483,64 hm<sup>3</sup>. Segundo dados da APAC, para o Município, acima relacionado, no ano de 2000 houve uma precipitação total anual de 711 mm, e em 2005 de 757 mm, sendo o aumento do volume do poço relacionado ao total anual precipitado do ano de 2005 ter sido maior.

No ano de 2015 o poço apresenta uma redução em seu volume, voltando a níveis próximos ao volume crítico, isso está relacionado a diminuição do total anual precipitado de 2012 a 2015, onde no ano de 2012 o total anual precipitado foi de 128mm, tendo nos anos subsequentes, 2013 e 2014, um total anual precipitado de 328mm e 336mm, respectivamente, e no ano de 2015 de 331mm. Segundo Martins e Magalhães (2015) esses quatro anos foram os mais críticos em termos hidrológicos desde 1988.

Em 2020 o Poço da Cruz volta a apresentar volume maior que o nível médio e próximo ao máximo, não apresentando grandes diferenças no ano de 2021 (ANA, 2021), tendo nesses anos um total anual de precipitação de 850mm e 633mm, respectivamente.

O Rio Moxotó também apresentou algumas variações durante o período avaliado, em decorrência do regime de chuvas do ano, tendo o ano de 2015 a menor extensão de seu leito, tendo visto que o ano de 2015 foi classificado como ano normal, com um total anual precipitado de 379,8mm.

### **6.3 Análise Degradação e Regeneração**

A Figura 8 e Tabela 5 apresentam a análise de degradação e regeneração da Bacia do Rio Moxotó, nos anos de 2000, 2005, 2010, 2015 e 2019. As classes analisadas foram áreas que sofreram degradação, áreas com eventos de recuperação da vegetação e áreas que não sofreram alteração, sendo estas denominadas de outras áreas (compostas por vegetação primária e uso antrópico).



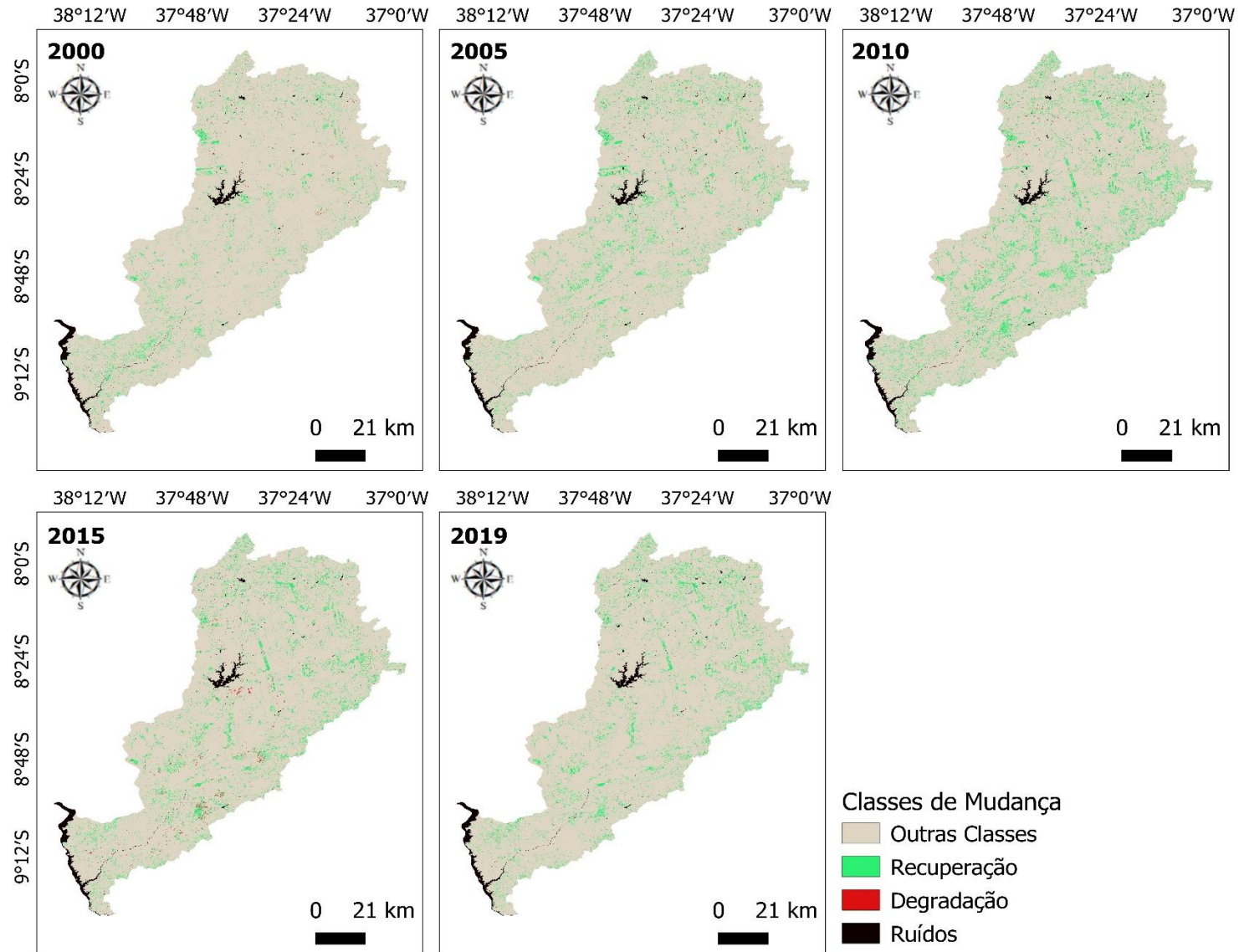


Figura 8: Mapa Degradação e Regeneração da Bacia do Rio Moxotó dos anos de 2000, 2005, 2010, 2015 e 2019 via dados do MapBioma.

Tabela 5: Área de Degradação e Regeneração da Bacia do Rio Moxotó.

Área Km <sup>2</sup>	Ano				
	2000	2005	2010	2015	2019
Outras Classes	9.495,72	9.278,32	8.965,75	9.224,95	9.256,50
Regeneração	504,61	719,96	1.029,39	741,96	748,97
Degradação	12,60	11,31	13,16	41,27	0,16
Ruídos	172,06	175,40	176,69	176,81	179,36

Na análise de outras classes, nota-se que do ano 2000 para 2010 houve uma diminuição de 5,58% (período em que a regeneração aumentou 50,98%), e nos anos subsequentes essa classe apresentou um aumento de 3,24% do ano 2010 para o ano de 2019, entretanto esta classe é majoritária na bacia.

A classe degradação diminuiu 10,23% do ano 2000 para 2005, tendo um aumento nos dois anos subsequentes (2010 e 2015) de 68,13%, tendo o ano 2015 um baixo total anual precipitado e tendo sido precedido por anos semelhantes desde 2012, que foi um ano considerado seco. Em 2015 os Municípios mais afetados com a degradação ambiental foram: Ibimirim, Inajá e Custódia em Pernambuco e Mata Grande, Pariconha e Delmiro Gouveia em Alagoas, corroborando com Garcia (2018) que em seus estudos constatou alteração na paisagem da Bacia do Rio Moxotó, analisando os anos de 1995, 2006 e 2016, onde devido a degradação se tornaram vulneráveis a desertificação

Leonardo et al. (2021) destacaram a existência de áreas degradadas nas proximidades do Açude Poço da Cruz, em Ibimirim, em sua análise dos anos 2000, 2013 e 2020 através dos índices espectrais NDVI, SAVI e MNDWI.

No ano de 2019 houve novamente uma diminuição da degradação, de 99,61% em relação a 2015, apesar de 2019 ser um ano seco (mediante classificação de *quantis*, com dados disponíveis).

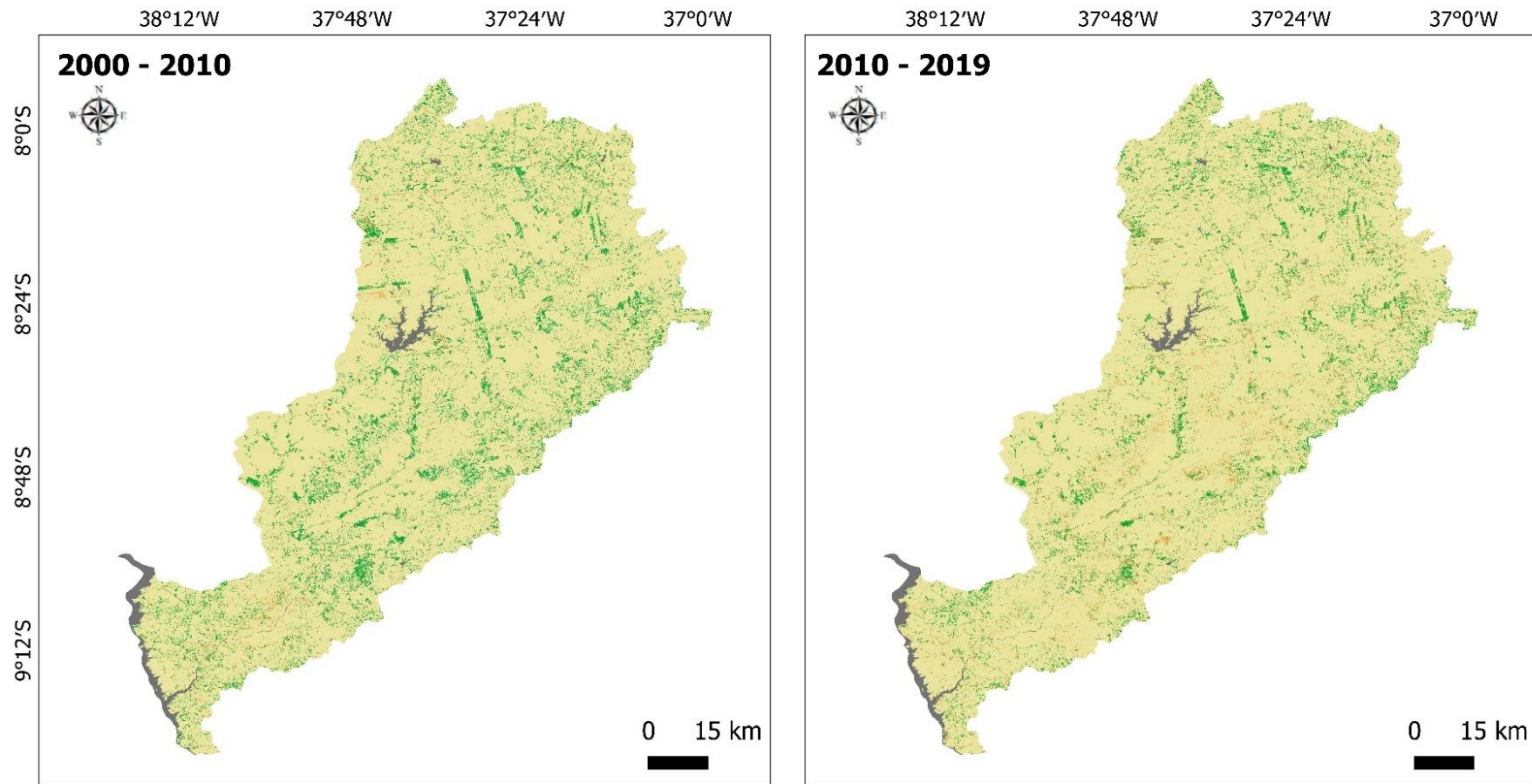
A classe de regeneração da bacia aumentou 50,98% do ano 2000 para 2010, tendo uma pequena diminuição de 27,92% em 2015, o que pode ser explicado pelo baixo total anual precipitado deste ano e dos que o precederam desde 2012, que foi um ano seco. A regeneração da bacia aumentou novamente 0,94% em 2019. Garcia (2018) também constata por meio dos seus estudos espaço temporal e análise dos dados espectrais a recuperação da caatinga nas áreas de proteção ambiental entre os anos 2006 e 2016. Esta bacia conta com duas áreas de proteção ambiental, sendo a Reserva Biológica de Serra Negra, localizada entre Tacaratu, Floresta e Inajá e Parque Nacional do Catimbau, que abrange os Municípios de Buíque, Ibimirim, Sertânia e Tupanatinga.

Além das áreas de proteção ambiental, em 2014 foi finalizado o projeto hidroambiental em Ibimirim/PE, um dos Municípios mais afetados pela degradação na bacia, que contou com construção de 530 barraginhas (construção de mini-barramentos, em forma de meia lua, com objetivo de recolher a água da chuva), para captação de água da chuva, cercamento de margens e nascente para preservação ambiental, e adequação de estradas rurais (cerca de 51 mil metros) para melhorar a drenagem das águas da chuva e

diminuir o assoreamento no rio, o que ajudou a preservação do ambiental na região (CBHSF, 2014).

#### **6.4 Imagem Diferença**

De acordo com a Figura 9 e Tabela 6 pode-se analisar as mudanças detectadas na paisagem, de acordo com as variações temporais dos pixels, referentes aos anos 2000 para 2010 e 2010 para 2019.



- Classes de Mudanças
- Sem Mudanças
  - Recuperação para Sem Mudanças
  - Sem Mudanças para Recuperação
  - Degradação para Sem Mudanças
  - Recuperação
  - Sem Mudanças para Degradação
  - Ruídos
  - Degradação para Recuperação
  - Recuperação para Degradação
  - Degradação

Figura 9: Imagem Diferença entre os anos 2000–2010 e 2010-2019 Via dados do MapBiomias.

Tabela 6: Área de Detecção de Mudança Através da Imagem diferença da Bacia do Rio Moxotó.

Classes Km <sup>2</sup>	Anos	
	2000 - 2010	2010 - 2019
Sem Mudanças	8.811,21	8.792,54
Degradação	0,07	0,00
Recuperação	356,52	576,57
Ruídos	176,83	179,67
Recuperação para Sem Mudanças	146,13	452,02
Sem Mudanças para Recuperação	668,62	170,91
Degradação para Sem mudanças	8,33	11,70
Sem Mudanças para Degradação	11,54	0,06
Degradação para Recuperação	4,19	1,42
Recuperação para Degradação	1,54	0,10

As classes que permaneceram como sem mudanças diminuíram 0,21% entre as análises, devido a mudança de pixels dessas áreas para área de degradação e regeneração. Entre 2000 e 2010 as áreas que tiveram transição entre áreas sem mudanças para recuperação equivalem a 668,66 km<sup>2</sup>, tendo, entretanto, uma pequena diminuição do ano 2010 para 2019 passando para 170,91 km<sup>2</sup>. Também houve transição entre áreas sem mudanças para degradação, sendo de 11,54 km<sup>2</sup> entre 2000 e 2010 e 0,06 km<sup>2</sup> entre 2010 e 2019, se mostrando inferior a transição dessas áreas para recuperação.

Na análise foram verificadas áreas de transição entre degradação para sem mudanças, o que ocorre provavelmente pelo uso contínuo de áreas degradadas para uso antrópico. É importante ressaltar que as áreas de transição entre degradação e sem mudanças são praticamente toda a área analisada como degradação (na análise de degradação e regeneração do solo).

As áreas de transição de recuperação para sem mudanças estão relacionadas a utilização dessas áreas para o uso antrópico, que equivaleram a 146,13 km<sup>2</sup> do ano 2000 para 2010, tendo um aumento de 67,67% na análise do ano 2010 a 2019, passando para 452,02 km<sup>2</sup>.

Entre o ano 2000 e 2010 houve uma permanência de 0,07 km<sup>2</sup> de áreas degradadas, entretanto entre os anos de 2010 e 2019, não houve pixels que permaneceram em degradação. Na classe de degradação também foram observadas transições de áreas para recuperação de 4,19 km<sup>2</sup> de 2000 para 2010, não chegando a representar nem metade da área degradada constatada na análise de degradação e regeneração entre os anos avaliados, diminuindo para 1,42 km<sup>2</sup> do ano 2010 para 2019.

As áreas que permanecem recuperadas na análise aumentaram, entre as imagens diferença 38,16%, tendo entre 2010 e 2019 uma permanência de 576,57 km<sup>2</sup> de área recuperada. Também foi possível analisar uma pequena área de transição entre regeneração e degradação que passou de 1,54 km<sup>2</sup> para 0,10 km<sup>2</sup> entre as análises.

Santos et al. (2013) também realizaram a detecção de mudança na paisagem através de imagens diferença, proveniente do LANDSAT, e destacam que a detecção de mudanças aplicada a imagens em séries temporais é ferramenta eficaz no controle de processos de dinâmicos de uso e cobertura do solo.

Weckmüller et al. (2016) realizaram em seu estudo a detecção de mudanças em imagens LANDSAT, e constataram que foi fundamental para analisar as mudanças de uma forma mais precisa e rápida.

## 7. CONCLUSÕES

Por meio da análise de uso e cobertura do solo foi possível verificar o crescimento da agricultura na bacia, através das classes de lavouras temporárias, com crescimento de 97,13% entre os anos 2005 e 2021, lavouras perenes e áreas de pastagem, com crescimento entre os anos 2000 e 2021 de 97,64% e 5,35%, respectivamente. A classe de uso antrópico também apresentou crescimento na bacia de 50,11% de 2000 para 2021.

A vegetação savânica é a de maior abrangência na bacia, entretanto as áreas de formação florestal são minoria, tendo assim baixa presença de vegetação densa, ressaltando a necessidade de melhor manejo florestal.

Em relação a degradação da Bacia do Rio Moxotó, houve uma diminuição de 98,74% do ano 2000 para 2019, apresentando, maior área degradada em 2015. Os Municípios mais afetados pela degradação foram Ibimirim-PE, Inajá-PE, Custódia-PE, Mata Grande-AL, Piraconha-AL e Delmiro Gouveia-AL.

As classes de regeneração apresentaram um aumento de 32,63% de 2000 a 2019, sendo influenciada também por áreas de proteção ambiental presente na Bacia (Serra Negra, localizada entre Tacaratu, Floresta e Inajá e Parque Nacional do Catimbau, que abrange os Municípios de Buíque, Ibimirim, Sertânia e Tupanatinga), e pelo projeto Hidroambiental efetuado em Ibimirim.

Através da análise de imagem diferença pode-se observar permanências de áreas recuperadas, entretanto a transição de áreas degradadas para recuperadas foi abaixo do esperado, mostrando a necessidade de projetos de recuperação ambiental na bacia, além monitoramentos constantes para auxiliar nas políticas públicas para esta região.



## 8. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. Boletim de Acompanhamento de Alocação de Água de 2020- 2021 - Poço da Cruz. Disponível em: [https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/allocacao-de-agua-e-marcos-regulatorios/allocacao-de-agua/poco-da-cruz\\_08-2022.pdf](https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/allocacao-de-agua-e-marcos-regulatorios/allocacao-de-agua/poco-da-cruz_08-2022.pdf). Acesso em: 13 de dezembro de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. Dados Abertos da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br/>. Acesso em: 5 de dezembro de 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. Reservatório Poço da Cruz Alocação de Água 2018/2019. Disponível em: [https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/allocacao-de-agua/apresentacao\\_allocacao-2018-2019-poco-da-cruz.pdf](https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/allocacao-de-agua/apresentacao_allocacao-2018-2019-poco-da-cruz.pdf). Acesso em: 13 de dezembro de 2022.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS - APAC. Bacia Hidrográficas - Rio Moxotó. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/167-bacias-hidrograficas-rio-moxoto/198-bacia-do-rio-moxoto>. Acesso em: 21 de novembro de 2022.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS - APAC. Monitoramento Pluviométrico. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 26 de dezembro de 2022.

ALMEIDA., R.; SANCHEZ, E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação do desempenho. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v. 29, n.1, p. 47-54. 2005.

ALVES, K. M. A. S.; D'AVILA, M. C. P.; NÓBREGA, R. S.; ALBARRAN, D. O. Variabilidad Espacial y Temporal de la Cobertura Vegetal de los años 1984 a 2011 en la Cuenca Hidrográfica del Río Moxotó, Pernambuco, Brasil. *Diálogo Andino*, Chile, n. 58, p. 139-150. 2019.

ALVES, K. M. A. S. Variabilidade pluvial no semiárido brasileiro: Impactos e vulnerabilidades na paisagem da bacia hidrográfica do rio Moxotó. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

BACANI, V. M. SAKAMOTO, A. Y.; LUCHIARI, A.; QUÉNOL, H. Sensoriamento Remoto e Sig Aplicados à Avaliação da Fragilidade Ambiental de Bacia Hidrográfica. *Mercator*, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 119-135. 2015. DOI: 10.4215/RM2015.1402. 0008.

BATISTA, C. C. F.; DIAS C. O uso do geoprocessamento para análise ambiental do Município de Santa Cruz de Goiás. Goiás. 2010.

BEZERRA, U. A. Índices Espectrais Utilizando os Sensores OLI/LANDSAT-8 e MSI/SENTINEL-2, na Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó-PE. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 305, de 12 de junho de 2002. Diário Oficial da União. 2002.

BRASIL. Decreto Federal nº 97.632, de 10 de abril de 1989. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 1989.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília. 1981.

CÂMARA, C. P. S.; ALMEIDA, D. N. O.; MALINCONICO, C. H. S.; FILHO, P. B. P. S.; SANTOS, M. B.; SILVA, W. F.; SANTOS, S. M.; OLIVEIRA, L. M. M. Albedo e Índice Espectral de Água no Reservatório Poço da Cruz - PE e Seu Entorno Utilizando Imagens Orbitais. *In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XXIV.*, 2021, Belo Horizonte. Anais[...]. Belo Horizonte: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2021. p. 1-10.

CÂMARA G.; MEDEIROS, J. S. Geoprocessamento para projetos ambientais. 2ª. Edição - Revisada e Ampliada. São Paulo: INPE, 1998. 159p.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO – CBHSF. CBHSF Finaliza projeto hidroambiental em Ibimirim. Disponível em: <https://2017.cbhsaofrancisco.org.br/2017/cbhsf-finaliza-projeto-hidroambiental-em-ibimirim/>. Acesso em: 9 de março de 2023.

CRÓSTA, A. P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. Ed. Revisada - Campinas, São Paulo: IG/UNICAMP, 1993. 171p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso em: 21 de novembro de 2022.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. Sensoriamento Remoto em Agricultura. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 285 p.

FURIAN, P. H. Espectro Eletromagnético. Disponível em: <https://www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico/>. Acesso em: 03 de março de 2023.

GARCIA, A. C. S. M. Estudo Espaço Temporal de Áreas Susceptíveis à Desertificação no Semiárido Brasileiro. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. Recife, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Produção Agrícola. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/10193>. Acesso em: 03 de março de 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. LANDSAT. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em: 21 de novembro de 2022.

ITO, M. H.; FILHO, H. F.; CONTI, L. A. Uso do software livre QGIS (Quantum GIS) para ensino de Geoprocessamento em nível superior. Revista Cartográfica, n.94, p. 127-148. 2017.



- JOHNSON, R. D.; KASISCHKE, E. S. Change vector analysis: a technique for the multispectral monitoring of land cover and condition. *International Journal of Remote Sensing*, v.19, p. 411-416. 1998.
- KAWAKUBO, F. S., MORATO, R. G., CAMPOS, K. C., LUCHIARI, A., ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XII.,2018, Goiânia. Anais[...]. Goiânia: INPE, 2005. p. 2203-2210.*
- LEONARDO, H. R. A. L.; SALGUEIRO, C. O. B.; ALMEIDA, D. N. O.; SANTOS, S. M.; OLIVEIRA, L. M. M. Sensoriamento Remoto Aplicado na Geoespacialização do Reservatório Poço da Cruz - PE e seu Entorno. *Revista Brasileira de Geografia Física, Recife*, v.14, n.6 p. 3592-3607. 2021.
- LILLESAND, T. M. AND KIEFER, R. W. *Remote Sensing and Image Interpretation*. 3rd Edition. New York: John Wiley and Sons, 1994. 750p.
- LINS, F. A. C.; ARAÚJO, D. C. S.; SILVA, J. L. B.; LOPES, P. M. O.; OLIVEIRA, J. D. A.; SILVA, A. T. C. S. G. Estimativa de parâmetros biofísicos e evapotranspiração real no semiárido Pernambucano utilizando sensoriamento remoto. *Irriga, Botucatu*, v. 1, n. 1, p. 64-75, 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v1n1p64-75>.
- LIRA, C.; AMORIM, A. SILVA, A. N.; TABORDA R. *Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite*. Lisboa: Sophia, 2016. 123p.
- LOUZADA, A. *Gestão ambiental, conceitos e definições. Apostila para auxílio nos estudos de Gestão Ambiental - Universidade do Estado do Amapá*. 2010.
- LUZ, L. R.; GIONGO, V.; SANTOS, A. M.; LOPES, R. J. C.; LIMA JÚNIOR, C. Biomass and vegetation index by remote sensing in different caatinga forest áreas. *Ciência Rural, Santa Maria*, v.52, n.2, p. 1-10, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20201104>.
- MACHADO, A. P.A. *Uso de Imagens de Satélite Sentinel-2 para Delimitação de APP's: Estudo de Caso Município de Feliz-RS. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2018.*
- MAPBIOMAS. Coleções MapBiomas. Disponível em: [https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR). Acesso em: 5 de dezembro de 2022.
- MAPBIOMAS. O projeto. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto>. Acesso em: 27 de fevereiro de 2023.
- MARENCO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e Mudanças Climáticas no Semiárido Brasileiro. *In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. S. Recursos Hídricos em Regiões Áridas e Semiáridas, Campina Grande: INSA, 2011. 439p.*
- MARTINS, E. S. P. R.; MAGALHÃES, A. R. A seca de 2012-2015 no Nordeste e seus impactos. *Parcerias Estratégicas, Brasília*, v. 20, n. 41, p. 107-128, 2015.

MELO, C. R. Análise do eixo leste da transposição do Rio São Francisco face aos cenários de uso previstos. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

MELO, D. H. C. T. B. Uso de dados Ikonos II na análise urbana: testes operacionais na zona leste de São Paulo. São José dos Campos: INPE, 2002. 146p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Moxotó, Volume III – Documento Síntese. IICA – Agência de Cooperação Técnica do Brasil. 1998, 9, 10p.

MONTEIRO, J. B.; ROCHA, A. B.; ZANELLA, M. E. Técnica dos quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980-2009). Revista do Departamento de Geografia, v. 23, p. 232-249, 2012.

MORALES, N. F. B. Teledetección Espacial: Landsat, Sentinel-2, Aster L1T y MODIS. 1ª. ed. Perú: Geomatica Ambiental SLR, 2017. 105p.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 3ª. ed. Viçosa: UFV, 2007. 315p.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. LANDSAT 9. Disponível em: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/>. Acesso em: 24 de abril de 2023.

NOVO, E. M. L. D. M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. 4ª. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 388 p.

OLAYA, V. Sistemas de Información Geográfica. Edição revisada. España, 2014. 642p.

OLIVEIRA, C. G. B. análise espaço-temporal da vulnerabilidade às mudanças climáticas da bacia hidrográfica do rio Moxotó – PE, utilizando o sensoriamento remoto. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo em gestão ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. Recife, 2018.

OLIVEIRA, T. H.; SILVA, D. F.; GALVÍNCIO, J. D. Análise da Degradação Ambiental na Região da Usina Hidrelétrica de Três Marias Através de Sensoriamento Remoto (IVDN) e Parâmetros de Qualidade de Água. UNOPAR Científica Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 11, n. 1, p. 47-58. 2012.

OLIVEIRA, T. H.; SILVA, D. F.; GALVÍNCIO, J. D. Caracterização Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó – PE Usando Sensoriamento Remoto Termal. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 1, n. 2, p. 30-49, 2009.

PEIXOTO, A. M. et al. Enciclopédia Agrícola Brasileira. São Paulo: EdUSP, 2007. 632p.

RIBEIRO, E. P.; NÓBREGA, R. S.; MOTA FILHO, F. O.; MOREIRA, E. B. Estimativa dos índices de vegetação na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú. Geosul, Florianópolis, v. 31, n. 62, p. 59-92, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2016v31n62p59>.

ROSA, M.; SHIMBO, J. Z.; AZEVEDO, T. MapBiomias - Mapeando as transformações do território brasileiro nas últimas três décadas. *In: Simpósio de Restauração Ecológica, VII., 2019, São Paulo. Anais [...].* São Paulo: Instituto de Botânica, 2019. p. 95-100.

SÁ, I. I. S.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; SÁ, I. B. Avaliação da Degradação Ambiental na Região do Araripe Pernambucano Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geografia Física*, n. 6, p. 1292-1314. 2011.

SANTOS J. S.; LINGNAU, C. Monitoramento em Área de Catástrofe Ambiental Através de Técnica de Detecção de Mudanças. *Cerne*, Lavras, v. 19, n. 1, p. 133-140. 2013.

SCHOWENGERDT, R. A. *Spectral Transforms in: Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing.* London: Academic Press, 1997. 522p.

SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE DE PERNAMBUCO - SECTMA/PE. Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco. Recife, 2006.

SILVA, C. V. S.; SILVA, J. L. B.; MOURA, G. B. A.; LOPES, P. M. O.; NASCIMENTO, C. R.; SILVA, L. C. Monitoramento da cobertura vegetal por sensoriamento remoto no semiárido brasileiro através de índices de vegetação. *Nativa*, Sinop, v. 7, n. 6, p. 708-717. 2019a. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7646>.

SILVA, J. G., OLIVEIRA, L. M. M., NASCIMENTO, E. F. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XIX., 2019, Natal. Anais[...].* Natal: INPE, 2019b. p. 2164-2167.

SISTEMA DE MONITORAMENTO AGROMETEOROLÓGICO. AGRITEMPO, 2022a. Acesso aos Estados – PE: Estatísticas. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/Estatisticas/index.jsp?siglaUF=PE>. Acesso em: 28 de dezembro de 2022.

SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. Caatinga e Desertificação. *Mercator*, v.14, n.1, p. 131-150. 2015. DOI: 10.4215/RM2015.1401.0009.

SOUZA, R. O. B.; SOUZA, D. T. M.; FERREIRA, H. B.; BORGES, E. F.; MAMEDE, T. C. A. Análise da evolução temporal do uso e cobertura do solo da APP e da APA Lago de Pedra do Cavalo – BA. *In: PACHECO, C. S. G. R. Ambiente & Sociedade: Concepções, Fundamento, Diálogos e Práticas para Conservação da Natureza. 1ª Edição.* Guarujá: Editora Científica, 2021. p. 220-232.

Weckmüller, R.; Vicens, R. S. Método Híbrido de Detecção de Mudanças: Uma Associação Entre Classificação Baseada em Objetos e Baseada em Pixels. *Revista Brasileira de Cartografia*, v.5, n. 68. p. 883-899. 2016.

**ASSINATURA DO ORIENTADOR**

---

Aluna: Giovanna da Cunha Aires

---

Orientador: Cristina Rodrigues Nascimento

Recife, 30 de março de 2023