

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO
NA UNIDADE 2 DA FLORESTA DE PINUS NO HAITI, COM FOCO NA
EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO**

HERMANN JULIEN

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA- BRASIL
FEVEREIRO – 2025

HERMANN JULIEN

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA
NA UNIDADE 2 DA FLORESTA DE PINUS NO HAITI, COM FOCO NA
EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Odair Lacerda Lemos (UESB)

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA- BRASIL
FEVEREIRO – 2025

J89a

Julien, Hermann.

Análise espaço-temporal do uso e ocupação da terra na Unidade 2 da Floresta de Pinus no Haiti, com foco na evolução do desmatamento. / Hermann Julien, 2025.

65f. : il. color.

Orientador(a): Dr. Odair Lacerda Lemos.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Vitória da Conquista, 2025.

Inclui referências F. 61 - 65

1. Índices espectrais. 2. Dinâmica do uso da terra. 3. Zona de amortecimento. 4. fatores climáticos. 5. Produtividade vegetal. I. Lemos, Odair Lacerda. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. III. T.

CDD 333.75153

Catálogo na fonte: Karolyne Alcântara Profeta – CRB 5/2134

UESB – Campus Vitória da Conquista - BA


HERMANN JULIEN

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO
NA UNIDADE 2 DA FLORESTA DE PINUS NO HAITI, COM FOCO NA
EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO**


Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 26 de fevereiro de 2025.


Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 JOSELANE PRISCILA GOMES DA SILVA
Data: 06/03/2025 16:09:59-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Joselane Priscila Gomes da Silva, (D.SC. Ciências Florestais,) – UEAP

Documento assinado digitalmente
 ALESSANDRO DE PAULA
Data: 06/03/2025 18:24:21-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Alessandro de Paula, (D.SC., Ecologia e Recursos Naturais,)

Documento assinado digitalmente
 ODAIR LACERDA LEMOS
Data: 06/03/2025 12:46:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Odair Lacerda Lemos, (D.SC. Agronomia,) – UESB, Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, de quem obtive a inteligência, a saúde e a motivação necessárias para a realização deste trabalho e a conclusão deste ciclo de estudos.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade de aprendizado.

Ao professor Dr. Odair Lacerda Lemos, pela orientação, amizade, paciência e compreensão.

Ao Grupo de Cooperação Internacional de Universidades Brasileiras, graças ao qual tive a oportunidade de estudar no Brasil.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À minha família, aos meus colegas do mestrado e aos meus amigos do Laboratório de Geotecnologias Aplicadas, que sempre me motivaram a seguir em frente.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, mesmo que não tenham sido mencionadas aqui.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Delimitação da Unidade 2 da Floresta de Pinus do Haiti.....	29
Figura 2- Delimitação da Unidade 2 da Floresta de Pinus do Haiti	30
Figura 3- Classificação do uso e ocupação da terra na Unidade 2 da Floresta de Pinus , no Haiti 2000-2020.	37
Figura 4- Classificação do uso e ocupação da terra de ZA na Unidade 2 da Floresta de Pinus, no Haiti 2000-2020.....	41
Figura 5- Índices espectrais A) NDVI 2000 B) NDVI 2020.....	44
Figura 6- Representação espacial do NDVI na Floresta de Pinus no Haiti, em 2000 2020	45
Figura 7- Índices espectrais ; C) SAVI 2000 - D) SAVI 2020.....	47
Figura 8- Índices espectrais ; E) NBDI 2000 – F) NBDI 2020.....	49
Figura 9- Distribuição do NDVI em função da temperatura na área de estudo em 2000 e 2020.....	51
Figura 10- Distribuição do NDVI em função da precipitação na área de estudo em 2000 e 2020.....	53
Figura 11 - Regressão linear entre NDVI e temperatura	54
Figura 12 - Regressão linear entre NDVI e precipitação.....	55
Figura 13 - Regressão linear entre NDVI e evapotranspiração.....	56
Figura 14- Análise em Componentes Principais (ACP) dos índices espectrais e fatores climáticos Floresta de Pinus no Haiti em 2000-2020.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Evolução do uso e ocupação da terra na Unidade 2 da Floresta de Pinus, Haiti em 2000-2020.....	37
Tabela 2- Alterações na Zona de Amortecimento (ZA) da Unidade 2 da Floresta de Pinus, Haiti em 2000-2020.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura;
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior;
NDBI	Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas;
NDVI	Índice de Diferença Normalizada da Vegetação;
SAVI	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo;
GLAD	Análise e Descoberta Global da Terra;
NASA	Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço;
POWER	Previsão de Recursos Energéticos Mundiais;
PNN-FP2	Parque Nacional Natural da Floresta dos Pinheiros;
GPS	Sistema de Posicionamento Global;
SIG	Sistema de Informação Geográfica;
LST	Temperatura da Superfície Terrestre;
TCL	Índice de Condição da Temperatura;
CNIGS	Centro Nacional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto;
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
GEE	Google Earth Engine;
PCA	Análise de Componentes Principais;
SCTU	Sistema de Classificação de Terras e Uso.

RESUMO

Hermann Julien, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, fevereiro de 2025. **Análise espaço-temporal do uso e ocupação do solo na Unidade 2 da Floresta de Pinus no Haiti, com foco na evolução do desmatamento.** Orientador: Odair Lacerda Lemos.

O desmatamento é um problema ambiental crítico que afeta ecossistemas e intensifica as mudanças climáticas. A Floresta de Pinus no Haiti exemplifica esse desafio, sendo impactada por fatores antrópicos e climáticos. Este estudo analisou a evolução do uso e ocupação do solo na região entre 2000 e 2020, com foco na dinâmica do desmatamento. Para isso, foram utilizados dados do conjunto Global Land Cover and Land Use Change 2000/2020, com resolução espacial de 30 metros, e informações climáticas extraídas do NASA POWER. As imagens foram classificadas em categorias como florestas densas, áreas antropizadas (terras agrícolas, solo exposto e áreas construídas) e corpos d'água, permitindo a avaliação das taxas de mudança ao longo do período estudado. Os resultados apontaram uma redução de 1.027 hectares de florestas densas e uma taxa do desmatamento de -9,67%, evidenciando uma perda de cobertura vegetal. Paralelamente, as áreas antropizadas aumentaram 669 hectares de +66,37%, indicando um avanço acelerado da urbanização. Na zona de amortecimento da floresta, houve uma diminuição de 513,72 hectares de -3,62%, demonstrando um declínio moderado. Além disso, foi identificada uma correlação positiva entre a precipitação e a cobertura florestal, indicando que períodos mais úmidos favorecem a preservação da vegetação. A elevação do Índice de Diferença Normalizada de Áreas Construídas (NDBI) confirmou a expansão urbana, evidenciando a interação entre fatores climáticos e atividades humanas na transformação da paisagem.

Palavras-chave: índices espectrais, dinâmica do uso da terra, zona de amortecimento, fatores climáticos, produtividade vegetal.

ABSTRACT

Hermann Julien, M.Sc., Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, February 2025. **Spatiotemporal Analysis of Land Use and Land Cover in Unit 2 of the Pine Forest in Haiti, Focusing on Deforestation Trends.** Adviser: Odair Lacerda Lemos.

Deforestation is a critical environmental issue that affects ecosystems and intensifies climate change. The Pine Forest in Haiti exemplifies this challenge, as it is influenced by both anthropogenic and climatic factors. This study analyzed the evolution of land use and land cover in the region between 2000 and 2020, focusing on deforestation dynamics. For this purpose, data from the Global Land Cover and Land Use Change 2000/2020 dataset, with a spatial resolution of 30 meters, were used, along with climatic information extracted from NASA POWER. The images were classified into categories such as dense forests, anthropized areas (agricultural land, bare soil, and built-up areas), and water bodies, allowing for an assessment of land cover change over the study period. The results indicated a reduction of 1,027 hectares of dense forest, with a deforestation rate of -9.67%, highlighting significant vegetation loss. Meanwhile, anthropized areas increased by 669 hectares (+66.37%), indicating rapid urban expansion. Within the forest's buffer zone, there was a decline of 513.72 hectares (-3.62%), suggesting moderate degradation. Furthermore, a positive correlation was observed between precipitation and forest cover, suggesting that wetter periods favor vegetation preservation. The increase in the Normalized Difference Built-up Index (NDBI) confirmed urban expansion, demonstrating the combined influence of climatic factors and human activities on land cover transformation.

Keywords: Spectral indices; Land Use Dynamics; Buffer zone; Climatic factors; Vegetation productivity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS DO ESTUDO	13
2.1. OBJETIVO GERAL	13
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3. REVISÃO DE LITERATURA	14
3.1. DESMATAMENTO GLOBAL	14
3.2. DESMATAMENTO NAS AMÉRICAS DO NORTE.....	14
3.3. DESMATAMENTO NO HAITI	15
3.4. DESMATAMENTO NA UNIDADE 2 DA FLORESTAL DE PINUS.....	16
3.5. ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DO CARIBE	17
3.6. ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA.....	18
3.7. ALTERAÇÕES NO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA: AGRICULTURA	19
3.8. URBANIZAÇÃO.....	21
3.9. EXPLORAÇÃO FLORESTAL E SEUS IMPACTOS NO HAITI	22
3.10. INCÊNDIOS FLORESTAIS NO HAITI.....	22
3.11. UTILIZAÇÃO DE ÁRVORES NO HAITI	23
3.12. GEOTECNOLOGIAS APLICADAS NO ESTUDO DE DESMATAMENTO.....	25
3.13. SENSORIAMENTO REMOTO	26
3.14. MÉTODOS DE MONITORAMENTO POR SATÉLITE	26
3.15. ANÁLISE TEMPORAL NA PESQUISA FLORESTAL	27
3.16. ÍNDICE ESPECTRAIS E CLIMÁTICOS POR SENSORIAMENTO REMOTO	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
4.1. ÁREA DE ESTUDO.....	28
4.2. ZONA DE AMORTECIMENTO	29
4.3. COLETA DE DADOS	30
4.3.1. Classificação das categorias de uso da terra.....	31
4.3.2. Cálculo das áreas e alterações.....	31

4.3.3.	Aquisição de dados da imagem	31
4.3.3.1.	Uso das imagens de satélites	32
4.3.4.	Determinação dos índices espectrais	32
4.3.5.	Aquisição e processamento dos dados climáticos.....	34
4.4.	ANÁLISE DE DADOS	34
4.4.1.	Análise de normalidade	34
4.4.2.	Análise de correlação	35
4.4.3.	Regressão linear.....	35
4.4.4.	Análise de Componentes Principais (PCA).....	35
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1.	PADRÕES DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E TAXA DE DESMATAMENTO	36
5.1.1.	Alterações nas áreas de ocupação na Zona de Amortecimento (ZA)	39
5.2.	ÍNDICES ESPECTRAIS DA ÁREA DE ESTUDO.....	43
5.2.1.	Análise do SAVI em 2000 e 2020	46
5.2.2.	Análise do NDBI em 2000 e 2020	48
5.2.3.	Temperatura e NDVI	50
5.2.4.	Precipitação e NDVI.....	52
5.3.	REGRESSÃO LINEAR ENTRE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E ÍNDICES ESPECTRAIS	54
5.3.1.	Análise de Componentes Principais (ACP)	57
6.	CONCLUSÕES	60
7.	REFERÊNCIAS.....	61

1. INTRODUÇÃO

O uso e a ocupação do solo, especialmente o fenômeno do desmatamento, representam um dos problemas ambientais mais críticos de nosso tempo. Este problema transcende as fronteiras nacionais e afeta não apenas a biodiversidade e os ecossistemas, mas também contribui substancialmente para as mudanças climáticas e a degradação do solo. A degradação das florestas tropicais, em particular, é de vital importância, pois esses ecossistemas desempenham um papel crucial na preservação da diversidade biológica e atuam como sumidouros de carbono, ajudando assim a mitigar as emissões de gases de efeito estufa.

De fato, no contexto de um rápido desmatamento em escala global, a Floresta de Pinus no Haiti se destaca como um importante estudo de caso. Esta floresta sofreu um desmatamento ao longo das últimas três décadas, causado por uma complexa interação de fatores humanos. Atividades agrícolas, desmatamento ilegal e até mesmo certas atividades comerciais, como mineração, contribuíram para acelerar a taxa de degradação dessa floresta. Além disso, as mudanças nos padrões de precipitação e o aumento das temperaturas adicionam uma complexidade ao problema.

Essas atividades têm um impacto negativo na biodiversidade local. A preservação das florestas tropicais está no cerne dos esforços globais de combate às mudanças climáticas, preservação da biodiversidade e garantia de água e segurança alimentar para as comunidades locais. No entanto, o ritmo acelerado da degradação desses ecossistemas, como ilustrado da Floresta de Pinus no Haiti, suscita sérias preocupações sobre a sustentabilidade desses habitats e suas implicações para o bem-estar humano e ambiental.

O bem-estar das comunidades locais está intrinsecamente ligado à saúde dessa floresta, pois ela fornece recursos essenciais como madeira, medicamentos e serviços ecossistêmicos, como a regulação do ciclo da água. A ausência de estudos abrangentes baseados em dados sobre as taxas de desmatamento e os fatores subjacentes na Floresta de Pinus demonstram a criticidade da falta de pesquisa para a elucidação dos específicos. A ausência de um panorama claro e baseado em dados sobre a extensão do problema e suas variáveis subjacentes inviabiliza a

implementação de medidas de gestão ou conservação preventiva, expondo-as ao insucesso ou aos impactos negativos. Em última análise, a necessidade de conduzir esta pesquisa é não apenas imperativa, mas também oportuna, dada a crescente urgência de lidar eficaz e sustentavelmente com questões ambientais. Dada a magnitude dos desafios, a perda irreversível de biodiversidade, o impacto nas mudanças climáticas e a degradação da qualidade de vida das comunidades locais, a justificativa deste projeto de pesquisa é não apenas relevante, mas crucial. Este é um estudo que tem o potencial de contribuir para a preservação de um ecossistema vital e para o bem-estar das comunidades que dependem dele.

HIPÓTESE CIENTÍFICA

O desmatamento da Floresta de Pinus no Haiti é impulsionado principalmente por atividades antrópicas, como a exploração madeireira e a conversão da terra para a agricultura, sendo intensificado por mudanças nos padrões de precipitação e aumento das temperaturas.

2. OBJETIVOS DO ESTUDO

2.1. Objetivo geral

Analisar a evolução do uso e ocupação do solo na Floresta de Pinus no Haiti de 2000 a 2020 com foco na dinâmica do desmatamento.

2.2. Objetivos específicos

- I. Determinar os padrões de uso e ocupação da terra da Floresta de *Pinus*;
- II. Identificar as principais mudanças no uso e ocupação da terra na área de estudo;
- III. Avaliar as taxas de desmatamento na Floresta de Pinus durante os períodos de 2000-2020;
- IV. Analisar a relação entre variáveis climáticas e o índice de vegetação nas taxas de desmatamento.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Desmatamento global

O desmatamento representa um dos maiores desafios ambientais do século XXI, tendo contribuído para a perda de vastas áreas florestais em todo o mundo. Essa degradação não só acelera a emissão de gases de efeito estufa, mas também perturba os ciclos naturais e reduz a biodiversidade, especialmente em regiões tropicais. (TOOCHI, 2022).

As principais causas desse fenômeno incluem a expansão agrícola, a mineração, a construção de infraestrutura e o crescimento urbano, fatores impulsionados pelo aumento populacional e pela demanda por desenvolvimento econômico. Essa combinação de pressões leva à conversão de áreas naturais em territórios destinados à atividade humana, comprometendo a integridade dos ecossistemas. (GRIN; MIASNIKOVA, 2022).

Os impactos do desmatamento são amplos e multifacetados, afetando não apenas o meio ambiente, mas também a economia e a sociedade. Entre as consequências estão a perda de serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação do ciclo hidrológico, a captura de carbono e a manutenção da diversidade biológica, o que pode resultar em desestabilização climática e social. (SILVA; RODGERS, 2018).

Para enfrentar esses desafios, torna-se imperativa a implementação de práticas de manejo sustentável, políticas de conservação e iniciativas de reflorestamento. A cooperação internacional e a promoção de tecnologias limpas são essenciais para reverter os danos causados e garantir a recuperação e preservação dos ecossistemas florestais. (FAO, 2020).

3.2. Desmatamento nas Américas do Norte

O desmatamento nas Américas do Norte apresenta padrões e desafios específicos que variam de região para região. Embora as taxas de perda florestal sejam, em geral, inferiores às observadas em áreas tropicais, a redução da cobertura

florestal continua sendo uma preocupação relevante para a conservação ambiental e a mitigação das mudanças climáticas (FAO, 2020).

Na região, as principais causas do desmatamento estão associadas à expansão urbana e às atividades agrícolas. Mesmo em contextos de desenvolvimento menos intensos, essas práticas têm contribuído para a conversão de áreas de florestas temperadas e boreais, ocasionando a fragmentação dos ecossistemas e a diminuição da biodiversidade (USDA, 2019).

A exploração madeireira, tanto em operações legais quanto ilegais, também exerce um impacto considerável. A demanda por produtos florestais, aliada a práticas de manejo insustentáveis, intensifica a perda de áreas florestais e prejudica os serviços ecossistêmicos essenciais, como a regulação do ciclo hidrológico e a captura de carbono (NRCan, 2021).

Em resposta a esses desafios, políticas públicas e iniciativas de conservação têm sido implementadas em diversos níveis governamentais. Programas de reflorestamento, manejo florestal sustentável e a criação de áreas protegidas têm contribuído para a mitigação dos impactos ambientais, contando com a colaboração entre agências federais, estaduais e organizações não governamentais (EPA, 2018).

3.3. Desmatamento no Haiti

A história do desmatamento no Haiti é longa e remonta ao período colonial. Quando a ilha foi descoberta por Cristóvão Colombo em 1492, sua cobertura florestal era de 80%. Desde então, o país passou por uma série de eventos que tiveram impactos mais ou menos graves em seu ambiente, levando à situação alarmante que conhecemos hoje (LUCILE et al., 2017).

Uma grande parte do país perdeu sua cobertura florestal durante as colonizações espanhola e francesa, devido ao desmatamento das terras pelos colonos para estabelecer grandes plantações (produção de alimentos nas encostas e depressões das colinas e montanhas; e produção de cana-de-açúcar, índigo e algodão nas planícies) e para explorar madeiras valiosas para exportação para a Europa (ROMAIN, 2012).

A partir dos anos 1950, o país começou a sofrer grandes desastres naturais, erosão do solo nas montanhas e empobrecimento das terras agrícolas. Diante desses danos e da falta de responsabilidade das autoridades, as populações rurais começaram a derrubar árvores para ganhar algum dinheiro (ILIONOR, 2008).

Apesar dessas catástrofes, as autoridades durante a ditadura dos Duvalier, pai e filho ("Papa Doc" e "Baby Doc"), desmataram extensas áreas florestais, especialmente nas fronteiras com a República Dominicana, concedendo contratos de corte a particulares com o objetivo de expulsar adversários políticos que se refugiavam lá, abrir o cenário e desencorajar incursões de rebeldes a partir do território vizinho (LUCILE et al., 2018). Essa situação define claramente sua fronteira. Em 1956, a cobertura florestal no Haiti era de 20%; em 1978, caiu para 9%; em 1989, caiu para 2%; em 2008, apenas 1,44% da superfície ainda estava coberta por florestas (ILIONOR, 2008).

3.4. Desmatamento na Unidade 2 da Florestal de Pinus

A Floresta de Pinus foi criada por decreto Presidencial em 1937 como a Reserva da Florestal de Pinus, cobrindo uma área de mais de 38000 hectares. Em janeiro de 2014, um decreto presidencial modificou seu status e dividiu a floresta em duas partes: Unidade 1, localizada a Leste, e Unidade 2, a Oeste. Esta última, chamada Parque Nacional Natural da Floresta de Pinus (PNN-FP2), abriga a maior área de *Pinus occidentalis* ., S, do país, uma espécie endêmica da ilha de Hispaniola.

No entanto, o PNN-FP2 tem sido alvo de atividades humanas há décadas, incluindo concessões exclusivas do Estado a concessionários, corte ilegal de árvores, incêndios florestais, agricultura itinerante (incluindo agricultura de queimada), pastagem e expansão desordenada de construções (SALOMON et al., 2021).

Em 2003, a população residente na PNN-FP2 foi estimada em 59300 habitantes, distribuídos em 10000 residências (HELVETAS, 2015). A pressão humana na região é tão intensa que, entre 1978 e 2012, a área florestada da Floresta de Pinus diminuiu de mais de 7600 hectares para menos de 5500 hectares (HELVETAS, 2009).

Essa redução expressiva evidencia os impactos diretos das atividades antrópicas sobre os recursos naturais e a capacidade de regeneração do ecossistema.

Consequentemente, muitas espécies endêmicas desapareceram, enquanto outras se encontram em perigo crítico de extinção, como o *Juniperus ekmanii*, *M*, além de diversas espécies de aves e répteis. A exploração excessiva dos recursos naturais resultou em uma modificação significativa na estrutura da vegetação, levando à perda de biodiversidade, habitats e espécies.

Em 2002, a cobertura florestal do PNN-FP2 diminuiu em mais de 2.000 hectares ao longo de 24 anos, passando de 51% em 1978 para 36% em 2002, o que equivale a uma perda média de aproximadamente 90 hectares por ano (MÉZARD, 2018).

Esta trajetória de degradação ressalta a necessidade urgente de implementar medidas de conservação e manejo sustentável, a fim de preservar os remanescentes florestais e recuperar a biodiversidade local. Políticas públicas integradas, fiscalização rigorosa e o envolvimento da comunidade são fundamentais para mitigar os impactos e promover a regeneração deste ecossistema crítico.

3.5. Alterações no uso e ocupação da terra do Caribe

As mudanças no uso e ocupação da terra nas regiões do Caribe resultam de uma combinação de fatores naturais e antrópicos, incluindo crescimento populacional, expansão agrícola e desenvolvimento urbano. Historicamente, a conversão de florestas em áreas agrícolas tem sido um dos principais motores da modificação da paisagem, afetando a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos (LÓPEZ et al., 2020).

A urbanização acelerada nas últimas décadas também desempenhou um papel significativo na transformação da paisagem caribenha. A expansão das cidades tem levado ao aumento da impermeabilização do solo, impactando negativamente a infiltração de água e contribuindo para problemas como erosão e inundações (MILLER & RIVERA, 2019).

Além disso, as mudanças climáticas interagem com as modificações no uso da terra, exacerbando a vulnerabilidade dos ecossistemas insulares. Eventos climáticos extremos, como furacões e secas prolongadas, intensificam os processos de degradação do solo e afetam a produtividade agrícola, pressionando ainda mais a conversão de áreas naturais em terras cultiváveis (TAYLOR ET AL., 2021).

A agricultura intensiva, especialmente nas ilhas de maior extensão territorial, tem causado desmatamento e degradação dos solos devido ao uso excessivo de fertilizantes e práticas inadequadas de manejo. A substituição da vegetação nativa por monoculturas de exportação, como cana-de-açúcar e banana, tem sido historicamente um fator determinante dessas alterações (RICHARDSON, 2017).

O turismo, uma das principais atividades econômicas do Caribe, também influencia a ocupação do solo. A construção de resorts e infraestruturas turísticas em áreas costeiras frequentemente resulta na degradação de manguezais e recifes de coral, aumentando a exposição das ilhas à erosão costeira e ao aumento do nível do mar (SCOTT & GÖSSLING, 2020).

Diante desses desafios, estratégias de gestão sustentável do território são essenciais para minimizar os impactos negativos das alterações no uso da terra. Políticas de conservação, restauração ecológica e planejamento urbano sustentável são fundamentais para equilibrar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental na região caribenha (MYCOO & JOHNNY, 2018).

3.6. Alterações no uso e ocupação da terra

As mudanças no uso e ocupação da terra no Haiti resultam de fatores históricos, socioeconômicos e ambientais que moldaram a paisagem do país ao longo dos séculos. O desmatamento é um dos problemas ambientais mais críticos, impulsionado pelo crescimento populacional, pela agricultura de subsistência e pela demanda por lenha e carvão vegetal, que representam as principais fontes de energia para a população haitiana (HEDGES et al., 2018).

Desde o século XX, a expansão agrícola tem levado à conversão de florestas em áreas de cultivo, especialmente em encostas e terras marginais. Essa prática intensificou os processos de erosão do solo, reduzindo sua fertilidade e contribuindo para a degradação ambiental. A substituição de vegetação nativa por culturas temporárias e permanentes tem afetado a biodiversidade e comprometido os serviços ecossistêmicos do país (MCCLINTOCK et al., 2020).

Além da agricultura, a urbanização desordenada tem causado impactos significativos no uso da terra. Com o crescimento das cidades, particularmente em Porto Príncipe e outras áreas urbanas, a conversão de terras agrícolas em zonas

residenciais e comerciais tem aumentado. Essa expansão muitas vezes ocorre sem planejamento adequado, resultando em ocupações irregulares, sobrecarga da infraestrutura e aumento do risco de desastres naturais, como deslizamentos de terra e enchentes (SHELLER, 2021).

A degradação dos ecossistemas também está associada à exploração madeireira e à mineração, que, apesar de sua escala relativamente pequena no Haiti, contribuem para a perda de cobertura vegetal e a contaminação do solo e dos recursos hídricos. A extração de materiais para a construção civil, como areia e cascalho, tem impacto direto sobre os rios e a paisagem costeira (PIERRE et al., 2019).

Mudanças climáticas também desempenham um papel importante na alteração do uso da terra no Haiti. Eventos extremos, como furacões e secas prolongadas, afetam a disponibilidade de terras agricultáveis e forçam comunidades a migrar para novas áreas, pressionando ainda mais os recursos naturais. A combinação de vulnerabilidades sociais e ambientais torna o país um dos mais afetados por desastres naturais na região do Caribe (PÉREZ et al., 2022).

Para mitigar esses impactos, políticas de conservação, reflorestamento e gestão sustentável dos recursos naturais são essenciais. Projetos de agrofloresta, restauração de bacias hidrográficas e iniciativas de desenvolvimento sustentável têm sido implementados, mas desafios institucionais e socioeconômicos ainda dificultam sua efetividade (EMANUEL e JEAN-BAPTISTE, 2020).

3.7. Alterações no uso e ocupação da terra: Agricultura

A agricultura tem sido um dos principais motores das alterações no uso e ocupação da terra no Haiti ao longo dos séculos. O país apresenta uma estrutura fundiária fragmentada, caracterizada pelo predomínio de pequenas propriedades agrícolas voltadas para a subsistência, intensificando os desafios ambientais e socioeconômicos (LUNDAHL, 2013). A exploração intensiva da terra sem práticas adequadas de conservação tem levado à degradação dos solos, ao desmatamento e à perda de biodiversidade, afetando a resiliência dos ecossistemas e a segurança alimentar da população (MCCLINTOCK et al., 2020).

Historicamente, a ocupação agrícola do Haiti foi moldada pelo sistema colonial, que transformou extensas áreas florestais em plantações voltadas para a exportação, principalmente de cana-de-açúcar, café e algodão (TROUILLOT, 1990). Após a independência em 1804, a redistribuição das terras levou ao predomínio de pequenas propriedades agrícolas, com práticas rudimentares e baixo uso de insumos modernos. Essa mudança intensificou a pressão sobre os recursos naturais, resultando em processos de erosão e empobrecimento do solo (DIAMOND, 2005).

A expansão da agricultura de subsistência nas encostas das montanhas é uma das principais causas do desmatamento no país. Pequenos agricultores, devido à falta de acesso a tecnologias e políticas de apoio agrícola, recorrem frequentemente ao desmatamento para abrir novas áreas de cultivo. Essa prática reduz a capacidade do solo de reter água, aumentando a vulnerabilidade a deslizamentos de terra e à desertificação (HEDGES et al., 2018). Além disso, a prática de corte e queima ("slash-and-burn") para preparar o solo tem acelerado a degradação ambiental, contribuindo para a perda de cobertura vegetal e o esgotamento dos nutrientes do solo (PIERRE et al., 2019).

A agricultura comercial também tem desempenhado um papel significativo nas alterações no uso da terra. Durante o século XX, políticas voltadas para a produção de culturas de exportação, como manga e café, impulsionaram mudanças na cobertura da terra, substituindo ecossistemas naturais por monoculturas (SHELLER, 2021). No entanto, a instabilidade política e a falta de infraestrutura dificultaram a manutenção dessas atividades de forma sustentável, levando à degradação das terras cultiváveis e ao êxodo rural (EMANUEL e JEAN-BAPTISTE, 2020).

Mudanças climáticas têm agravado os desafios da agricultura haitiana. O aumento das temperaturas, associado a secas prolongadas e eventos climáticos extremos, como furacões e tempestades tropicais, afeta diretamente a produtividade agrícola e a estabilidade dos solos. Com menos áreas produtivas disponíveis, a pressão sobre terras marginais aumenta, intensificando os processos de degradação ambiental e reduzindo ainda mais a resiliência das comunidades rurais (PÉREZ et al., 2022).

Diante desses desafios, iniciativas de agricultura sustentável têm sido promovidas como alternativas para mitigar os impactos negativos sobre o uso da terra. Projetos de agrofloresta e práticas de conservação do solo vêm sendo implementados

para restaurar ecossistemas degradados e melhorar a produtividade agrícola sem expandir a área cultivada. Além disso, políticas de reflorestamento e manejo sustentável das terras agrícolas são essenciais para garantir a recuperação ambiental e a segurança alimentar no Haiti (EMANUEL e JEAN-BAPTISTE, 2020).

A adoção de políticas agrícolas mais sustentáveis, aliada a investimentos em tecnologia e capacitação dos agricultores, pode contribuir para reverter os processos de degradação do solo e promover uma gestão mais equilibrada dos recursos naturais. No entanto, para que essas iniciativas tenham sucesso, é necessário um compromisso político e social que envolva tanto o governo quanto as comunidades locais e organizações internacionais na promoção de um modelo agrícola mais resiliente e sustentável (MCCLINTOCK et al., 2020).

3.8. Urbanização

A cidade de Cap-Haitien, no Norte do Haiti, experimentou uma rápida expansão urbana e uma diminuição na cobertura vegetal nas últimas três décadas. A área construída triplicou, resultando na perda de terras agrícolas e degradação da vegetação (WASELIN, 2019). A ocupação do Haiti pelos Estados Unidos de 1915 a 1934, teve um impacto significativo na região do Caribe, moldando as perspectivas do povo caribenho e influenciando o desenvolvimento de ideologias políticas como a federação e a crítica ao neocolonialismo (DALLEO, 2020). A ocupação do Haiti pelos EUA foi influenciada pelos valores e pelo caráter da era progressista, bem como por relatos exagerados dos perigos vindos da Europa. O objetivo era difundir a democracia e o constitucionalismo americanos e estabelecer o controle econômico e político sobre o Haiti (HENRY, 2018). Os missionários protestantes dos EUA no Haiti exerceram influência importante tanto no apelo à intervenção dos EUA quanto na posterior oposição à ocupação, influenciando a tomada de decisões políticas e a opinião pública (SMITH, 2016).

3.9. Exploração florestal e seus impactos no Haiti

A exploração florestal no Haiti tem sido um dos principais fatores de degradação ambiental, impulsionada pela demanda por lenha e carvão vegetal, fontes essenciais de energia para grande parte da população.

O desmatamento descontrolado resultou em uma drástica redução da cobertura vegetal, comprometendo os solos, os recursos hídricos e a biodiversidade do país (HEDGES et al., 2018).

A perda florestal intensifica a erosão do solo, tornando-o menos produtivo e mais suscetível à desertificação. Além disso, a ausência de vegetação reduz a infiltração da água no solo, agravando a escassez hídrica e aumentando a vulnerabilidade do país a enchentes e deslizamentos de terra, especialmente durante a temporada de chuvas (MCCLINTOCK et al., 2020).

A destruição dos ecossistemas florestais também ameaça diversas espécies endêmicas, resultando na fragmentação de habitats e na redução da biodiversidade. Muitos organismos que dependem das florestas para sobreviver estão em risco de extinção, comprometendo o equilíbrio ecológico local (PIERRE et al., 2019).

Para mitigar esses impactos, algumas iniciativas têm sido implementadas, incluindo programas de reflorestamento e campanhas para incentivar o uso de fontes alternativas de energia. No entanto, a eficácia dessas ações ainda é limitada devido à falta de recursos e à alta dependência da população dos produtos florestais como meio de subsistência (EMANUEL e JEAN-BAPTISTE, 2020).

A adoção de políticas ambientais mais rigorosas, aliada à educação ambiental e ao desenvolvimento de alternativas energéticas viáveis, é fundamental para reverter esse quadro e garantir um uso mais sustentável dos recursos naturais do Haiti (PÉREZ et al., 2022).

3.10. Incêndios florestais no Haiti

Os incêndios florestais no Haiti têm se tornado um problema ambiental significativo, exacerbando a degradação dos ecossistemas e contribuindo para a perda acelerada da cobertura vegetal. Embora algumas queimadas ocorram naturalmente, a grande maioria dos incêndios no país é de origem antrópica, sendo

provocada principalmente por práticas agrícolas, produção de carvão vegetal e expansão de áreas de pastagem (HEDGES et al., 2018).

A destruição das florestas pelo fogo acelera a erosão do solo, reduzindo sua fertilidade e comprometendo a capacidade de regeneração da vegetação. Além disso, a perda de biomassa vegetal impacta diretamente o ciclo hidrológico, diminuindo a retenção de água no solo e aumentando a vulnerabilidade do Haiti a períodos de seca e enchentes (MCCLINTOCK et al., 2020).

Os incêndios também representam uma séria ameaça à biodiversidade haitiana, uma vez que destroem habitats naturais e colocam em risco espécies endêmicas já fragilizadas pelo desmatamento. A fumaça e as emissões de gases poluentes resultantes das queimadas agravam a qualidade do ar e contribuem para o aquecimento global, intensificando os efeitos das mudanças climáticas na região (PIERRE et al., 2019).

Para combater esse problema, é essencial adotar medidas preventivas, como o fortalecimento das políticas de manejo florestal, a fiscalização mais rigorosa e a promoção de práticas agrícolas sustentáveis que reduzam a necessidade do uso do fogo. Além disso, campanhas de conscientização ambiental e alternativas energéticas viáveis podem ajudar a diminuir a dependência da população em relação à queima de madeira para a produção de carvão (EMANUEL e JEAN-BAPTISTE, 2020).

O combate aos incêndios florestais no Haiti exige uma abordagem integrada, que envolva governos, comunidades locais e organizações ambientais, garantindo um uso mais sustentável dos recursos naturais e preservando a biodiversidade para as futuras gerações (PÉREZ et al., 2022).

3.11. Utilização de árvores no Haiti

As árvores desempenham um papel essencial na sociedade haitiana, tanto ecológica quanto economicamente. Seu uso vai muito além da produção de madeira e carvão vegetal. Elas são usadas na agricultura, na conservação do solo e na regulação do clima local. Nas áreas rurais, as árvores geralmente servem como cercas vivas, proteção contra a erosão e sombra para o gado. A agrossilvicultura, que integra as árvores aos sistemas agrícolas, ajuda a manter a fertilidade do solo e oferece uma diversidade de plantas favorável ao cultivo. No entanto, a intensificação do uso de

árvores para carvão e outras necessidades energéticas levou ao desmatamento maciço, exacerbando a já frágil situação ambiental do país (KOOHAFKAN e LILIN, 1989).

A exploração de árvores para a produção de carvão vegetal continua sendo um dos principais fatores de desmatamento no Haiti. A falta de fontes alternativas de energia e a crescente demanda por combustível doméstico estão levando à derrubada de grandes extensões de floresta. Na região de Cap-Haïtien, por exemplo, as práticas ilegais de extração de madeira afetam não apenas as florestas, mas também os ecossistemas locais, perturbando a biodiversidade e acelerando a erosão do solo. Essa exploração insustentável tem graves repercussões econômicas e ecológicas, dificultando a restauração de ecossistemas degradados (JEAN, 2020).

Em resposta a essa situação, foram criadas iniciativas de reflorestamento para restaurar o solo e os ecossistemas florestais. Os projetos de reflorestamento têm como alvo espécies como *Acacia mangium* e *Leucaena leucocephala*, que são capazes de restaurar rapidamente solos degradados. Esses esforços visam aumentar o armazenamento de carbono, melhorar a fertilidade do solo e proporcionar uma melhor cobertura florestal para reduzir a erosão. No entanto, esses projetos enfrentam desafios como o gerenciamento sustentável da terra e a conscientização das comunidades locais sobre a importância de proteger os recursos naturais (JEAN-PIERRE et al., 2024).

Apesar dos esforços de reflorestamento e conservação, os desafios associados ao gerenciamento sustentável dos recursos florestais continuam significativos. A crescente pressão demográfica, as necessidades energéticas não atendidas e as políticas inadequadas de gestão florestal estão exacerbando a degradação florestal. O gerenciamento florestal eficaz requer uma abordagem integrada que combine o conhecimento tradicional e as práticas agrícolas modernas, ao mesmo tempo em que implementa estratégias de conservação adaptadas ao contexto local. O sucesso dessas iniciativas dependerá do compromisso das comunidades locais e da eficácia das políticas públicas para proteger as florestas remanescentes (KOOHAFKAN e LILIN, 1989).

3.12. Geotecnologias aplicadas no estudo de desmatamento

As geotecnologias desempenham um papel fundamental no estudo do desmatamento, proporcionando ferramentas eficientes para monitorar e analisar as mudanças na cobertura do solo ao longo do tempo. A combinação de sistemas de informações geográficas (SIG), sensoriamento remoto e modelagem espacial permite não só mapear as áreas desmatadas, mas também compreender os fatores que impulsionam essas mudanças.

O sensoriamento remoto, por meio de satélites como Landsat, Sentinel e MODIS, oferece imagens temporais e de alta resolução, permitindo o monitoramento contínuo e em grande escala das florestas. Essas imagens são analisadas usando índices de vegetação, como o NDVI, que indicam a saúde da vegetação e ajudam a identificar áreas degradadas (TURNER et al., 2015).

A modelagem espacial é outra aplicação crucial das geotecnologias, permitindo a análise de fatores ambientais que contribuem para o desmatamento, como o uso da terra, a topografia, a precipitação e a temperatura. A integração de dados ambientais e de uso do solo com técnicas de modelagem, como redes neurais artificiais e análise espacial, tem sido usada para prever áreas de risco de desmatamento, identificar hotspots e entender os padrões de perda de vegetação. Além disso, essas tecnologias auxiliam na projeção de cenários futuros, fornecendo informações valiosas para o planejamento e a implementação de políticas públicas de conservação (ALVES et al., 2020).

Outro benefício das geotecnologias é a sua capacidade de auxiliar na elaboração de estratégias de restauração e reflorestamento. Ao identificar as áreas mais afetadas pelo desmatamento, essas ferramentas podem orientar projetos de reabilitação ambiental, sugerindo áreas prioritárias para o plantio de árvores e a recuperação dos ecossistemas degradados. O uso de SIG, por exemplo, permite a criação de mapas detalhados que mostram os tipos de vegetação, a evolução da cobertura florestal e as áreas mais vulneráveis. Com isso, é possível otimizar o uso dos recursos naturais e monitorar os resultados dos esforços de recuperação (BENZ et al., 2021).

3.13. Sensoriamento remoto

O sensoriamento remoto é essencial para o monitoramento do desmatamento, pois permite a obtenção de dados em grande escala e com alta precisão, utilizando imagens de satélite. Satélites como Landsat, Sentinel e MODIS são usados para analisar mudanças na cobertura do solo, detectar áreas desmatadas e avaliar a saúde da vegetação, com o auxílio de índices como o NDVI (TUCKER, 1979).

Além disso, o sensoriamento remoto pode ser combinado com sistemas de informações geográficas (SIG) para realizar análises espaciais e identificar as causas do desmatamento, como a expansão agrícola (VARGAS et al., 2018).

A análise temporal de imagens satelitais também facilita a detecção de tendências e padrões no desmatamento, permitindo a projeção de futuras mudanças. As imagens ajudam a criar mapas temáticos que indicam a extensão e a localização do desmatamento, essenciais para decisões em políticas públicas de conservação e planejamento de áreas protegidas (CHAVEZ et al., 2005). Dessa forma, o sensoriamento remoto se destaca como uma ferramenta indispensável no estudo e gestão das florestas (LILLESAND et al., 2015).

3.14. Métodos de monitoramento por satélite

Os métodos de monitoramento por satélite são essenciais para detectar e analisar o desmatamento, fornecendo dados precisos e atualizados em larga escala. Os satélites como Landsat, Sentinel e MODIS, é possível monitorar mudanças na cobertura do solo e identificar áreas desmatadas. Técnicas como a classificação de imagens (supervisionada ou não supervisionada) e o uso de índices de vegetação, como o NDVI, ajudam na detecção e quantificação das áreas de desmatamento e na avaliação da saúde da vegetação (PETTORELLI et al., 2014).

Além disso, o uso de séries temporais de imagens permite detectar mudanças ao longo do tempo e prever tendências de desmatamento, auxiliando na elaboração de mapas de risco. Satélites de alta resolução, como WorldView e QuickBird, são eficazes para monitorar áreas menores, enquanto satélites com menor resolução, como o MODIS, são úteis para monitoramento em larga escala (GORELICK et al., 2017). Dessa forma, os métodos de monitoramento por satélite são fundamentais para

a gestão ambiental e para o desenvolvimento de políticas públicas de conservação (HANSEN et al., 2013).

3.15. Análise temporal na pesquisa florestal

A análise temporal é uma ferramenta essencial na pesquisa florestal, pois permite monitorar e entender as dinâmicas das florestas ao longo do tempo. Ao estudar a evolução da cobertura florestal, é possível identificar tendências de degradação, crescimento ou regeneração das áreas florestais, fornecendo informações cruciais para o manejo sustentável e a conservação das florestas.

O uso de dados históricos e a comparação de séries temporais de imagens de satélite, como as fornecidas pelos satélites Landsat e Sentinel, são métodos comuns para realizar essa análise. Esses dados possibilitam a avaliação da perda de vegetação ao longo dos anos, a expansão de áreas agrícolas, o impacto de atividades como o desmatamento e incêndios florestais, e até as mudanças nas práticas de uso da terra (HANSEN et al., 2013).

Também é importante para entender o impacto das mudanças climáticas nas florestas, como o aumento das temperaturas e a alteração nos padrões de precipitação, que podem influenciar a dinâmica florestal. A combinação de dados temporais com modelos de previsão permite simular cenários futuros e auxiliar na elaboração de políticas públicas voltadas para a proteção e restauração florestal (Vargas et al., 2018). Além disso, a análise temporal também pode ser aplicada ao monitoramento de projetos de restauração florestal, permitindo avaliar a eficácia das intervenções ao longo do tempo (ZHU et al., 2016).

Essa abordagem é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo florestal que sejam adaptativas e responsivas às mudanças no ambiente natural e às pressões humanas sobre os ecossistemas florestais. A capacidade de monitorar a evolução das florestas ao longo do tempo oferece uma base sólida para a tomada de decisões em tempo real, além de permitir uma compreensão mais profunda das transformações ambientais que afetam as florestas (PETTORELLI et al., 2014).

3.16. Índice espectrais e climáticos por sensoriamento remoto

Os índices espectrais desempenham um papel crucial no sensoriamento remoto, permitindo a análise de diferentes características da cobertura do solo e do estado das vegetações, com destaque para o monitoramento de florestas. Índices como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), EVI (Índice de Vegetação Ajustado para a Atmosfera) e NDBI (Índice de Diferença Normalizada de Construção) são amplamente utilizados para avaliar a saúde da vegetação, a quantidade de vegetação e as mudanças na cobertura do solo (TUCKER, 1979; HUETE et al., 2002). O NDVI, em particular, é utilizado para identificar áreas com vegetação saudável, o que é essencial para o estudo de desmatamento e degradação florestal.

Além disso, os índices espectrais podem ser combinados com dados climáticos, como temperatura e precipitação, para avaliar o impacto das condições climáticas nas florestas. Por exemplo, a análise conjunta do NDVI com dados de temperatura e precipitação pode ajudar a entender como as mudanças climáticas afetam o crescimento das plantas e as taxas de desmatamento em uma região específica (FENSHOLT et al., 2012). Essa integração de dados de sensoriamento remoto com variáveis climáticas oferece uma abordagem robusta para o monitoramento de ecossistemas e para a modelagem de mudanças no uso da terra em resposta às condições ambientais.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

A Floresta de Pinus está localizada em uma parte do Morne Commissários, uma área adjacente à República Dominicana. Ela é composta por duas unidades distintas: a Unidade 1, situada a Leste, e a Unidade 2, localizada a Oeste. Juntas, essas unidades formam a área protegida da Floresta de Pinus, que é uma das principais áreas protegidas do Haiti, abrangendo aproximadamente 6,28% do território nacional, ou seja, uma área total de 681,61 km², incluindo zonas protegidas terrestres e marinhas (MÉZARD, 2018).

Especificamente, a Unidade 2 está situada no Maciço de La Selle, que constitui a maior cadeia montanhosa do país. Essa unidade se estende entre as latitudes 18°17'10" e 18°23'30" Norte e as longitudes 71°53'10" e 72°04'22" Oeste (Figura 1). A região desempenha um papel fundamental na conservação dos ecossistemas locais e na preservação da biodiversidade.

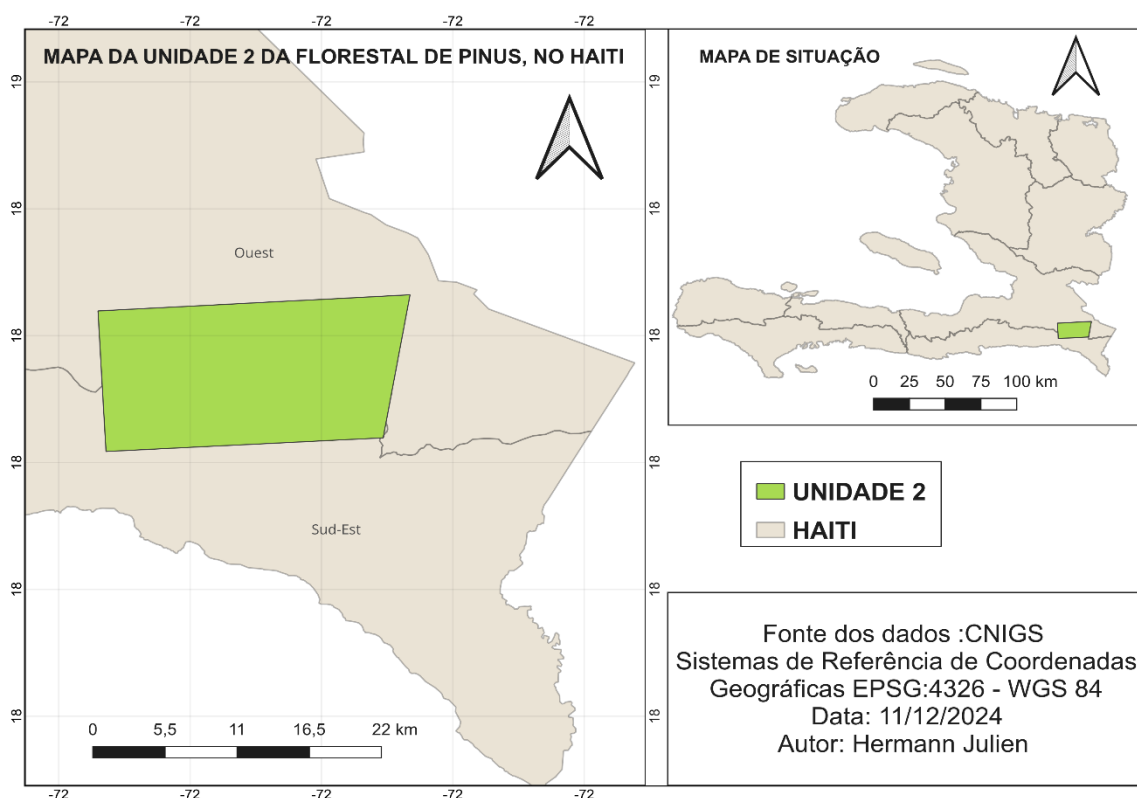


Figura 1- Delimitação da Unidade 2 da Floresta de Pinus do Haiti.

4.2. Zona de amortecimento

Uma zona de amortecimento (buffer) com raio de 5 quilômetros foi criada ao redor dos limites do perímetro estudado. Essa abordagem visa considerar as dinâmicas espaciais localizadas nas proximidades imediatas da zona central, especialmente as áreas antrópicas, que incluem solo exposto, áreas agrícolas, zonas construídas e corpos d'água, além de floresta densa e vegetação arbustiva. A construção do buffer foi realizada com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitindo a geração de uma zona circular contínua ao redor do polígono principal da floresta analisada.

Como mostra a Figura 2, esse perímetro ampliado constitui um referencial pertinente para a análise espacial, especialmente no que diz respeito às interações entre os espaços protegidos e as zonas de ocupação humana periféricas.

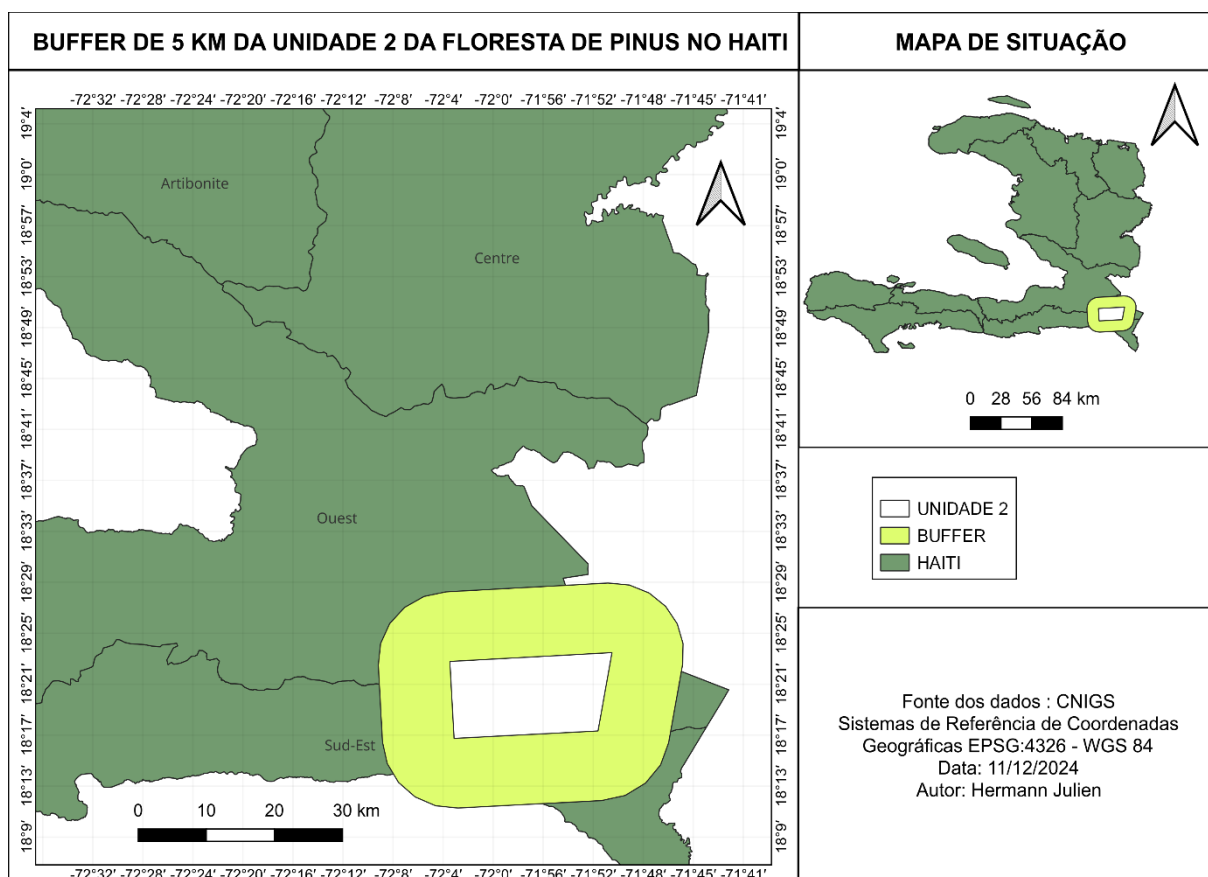


Figura 2- Delimitação da Unidade 2 da Floresta de Pinus do Haiti.

4.3. Coleta de dados

A análise dos modelos de uso e cobertura da terra na Floresta de *Pinus* foi realizada utilizando o conjunto de dados *Global Land Cover and Land Use Change 2000/2020*, desenvolvido pela UMD GLAD. Esse banco de dados foi concebido especificamente para monitorar as transformações nos tipos de uso da terra, fornecendo informações detalhadas sobre a extensão e a altura das florestas, as terras agrícolas, as áreas urbanizadas e os corpos d'água. Com uma resolução espacial de 30 metros, o conjunto de dados possibilita uma análise precisa das mudanças espaço-temporais ocorridas ao longo do período estudado.

Classificação das categorias de uso da terra

Os dados foram reclassificados em categorias principais seguindo o modelo de classificação do IBGE e as especificações da coleção (8) da legenda do Mapa Biomassa. As categorias definidas foram: Florestas densas; Terras agrícolas; Áreas urbanizadas; Corpos d'água et área não classificada.

Cálculo das áreas e alterações

Após a classificação das categorias de uso da terra, as áreas correspondentes a cada classe foram calculadas para os anos de 2000 e 2020, permitindo avaliar as taxas de mudança entre as categorias e as dinâmicas associadas a cada classe de uso. Para determinar as alterações, foi aplicada uma equação específica que possibilitou quantificar essas mudanças e identificar tendências de expansão ou retração nas diferentes categorias analisadas (equação 1).

$$LC (K) = \left(\frac{u_b - u_a}{u_a} \right) * \frac{1}{T} * 100$$

Nessa equação, U_b representa a área final de uma determinada categoria de uso da terra, enquanto U_a indica a área inicial da mesma categoria; T corresponde à duração total do período de estudo, em anos. O índice L_c reflete o grau dinâmico das diferentes categorias ao longo do período analisado.

Por fim, os valores positivos de L_c indicam uma tendência de aumento na categoria em questão, enquanto valores negativos sugerem uma diminuição.

Aquisição de dados da imagem

As imagens de satélite necessárias para este estudo foram adquiridas a partir de fontes fornecidas pelo Google Earth Engine (GEE).

Uso das imagens de satélites

Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 (LS5), Landsat 7 (LS7) e Sentinel-2, cobrindo o período de estudo de 2000 a 2020. A aquisição das imagens foi realizada por meio da plataforma Google Earth Engine (GEE), amplamente reconhecida por sua eficiência no processamento de grandes volumes de dados de sensoriamento remoto. No catálogo do GEE, foram selecionadas as coleções LANDSAT/LT05/C02/T1_L2 para o Landsat 5, LANDSAT/LE07/C02/T1_L2 para o Landsat 7 e COPERNICUS/S2_SR para o Sentinel-2, que fornece dados de refletância de superfície. Para garantir a qualidade e a relevância dos dados, aplicaram-se critérios rigorosos de filtragem. As datas foram limitadas ao período especificado no estudo, e selecionaram-se imagens com menos de 10% de cobertura de nuvens, visando minimizar interferências. Além disso, a área de interesse foi definida com base em shapefiles importados diretamente para o GEE.

As imagens passaram por pré-processamento na plataforma, utilizando scripts em JavaScript para realizar correções atmosféricas, geométricas e de alinhamento espacial, assegurando a consistência e a precisão dos dados. Após o processamento, as imagens foram exportadas no formato GeoTIFF para o Google Drive, utilizando o comando `Export.image.toDrive()`. Esse formato facilitou a importação e o uso dos dados em ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como o QGIS em que foram realizadas as análises subsequentes.

Determinação dos índices espectrais

Foram calculados os índices espectrais (NDVI, NDBI e SAVI). Os cálculos foram realizados utilizando a plataforma Google Earth Engine e os resultados foram exportados para o QGIS para análise espacial detalhada. O NDVI foi calculado a partir das bandas do infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED) e varia de 0 a 1. A fórmula utilizada para o cálculo do NDVI é a seguinte: equação 2.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

Os valores de NDVI próximos de 1 indicam áreas com vegetação densa e saudável, pois as plantas refletem significativamente a luz no infravermelho próximo (NIR) e absorvem a luz vermelha (RED). Valores de NDVI próximos de 0 indicam áreas com vegetação esparsa ou com solo exposto, onde a diferença entre a reflectância no NIR e RED é pequena. Valores de NDVI negativos, próximos de -1, indicam a presença de superfícies não vegetadas, como água ou áreas urbanas, pois essas superfícies refletem a luz de maneira diferente das plantas.

O NDBI é um índice utilizado para detectar áreas urbanas ou construídas, baseado na diferença entre as bandas do infravermelho médio (SWIR) e do infravermelho próximo (NIR). A fórmula utilizada para o cálculo do NDBI é a seguinte equação 3.

$$NDBI = \frac{(SWIR - NIR)}{(SWIR + NIR)}$$

Valores positivos de NDBI indicam áreas urbanas ou construídas, onde a reflectância no SWIR é maior do que no NIR, devido ao alto albedo das superfícies construídas (como ruas e edifícios). Valores negativos de NDBI são indicativos de vegetação ou água, onde a reflectância no NIR é maior do que no SWIR, como ocorre nas áreas vegetadas.

O SAVI é uma modificação do NDVI, projetado para minimizar os efeitos do solo exposto em áreas com pouca vegetação. Ele é particularmente útil em áreas semiáridas ou em regiões onde a vegetação é esparsa. A fórmula utilizada para o cálculo do SAVI é a seguinte: equação 4.

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \times (1 + L)$$

Onde L é um fator de correção do solo, cujo valor padrão é 0,5. O SAVI pode ser interpretado da seguinte maneira: Valores de SAVI próximos de 1 indicam uma vegetação densa e saudável, de forma similar ao NDVI. Valores próximos de 0 indicam uma vegetação esparsa ou a presença de solo exposto, ajustando a influência do solo na medição da vegetação.

Em áreas com solo exposto, o SAVI reduz a interferência do solo, tornando a avaliação da vegetação mais precisa em ambientes com vegetação rala.

Após o cálculo dos índices, as imagens foram exportadas da plataforma Google Earth Engine para o QGIS em formato GeoTIFF usando o comando `Export. image. toDrive ()`. Com isso, foi possível realizar análises espaciais detalhadas, identificar mudanças na cobertura do solo e monitorar a saúde da vegetação e o crescimento urbano ao longo do período de estudo (2000-2020).

Aquisição e processamento dos dados climáticos

Para investigar as relações entre variáveis climáticas e o desmatamento na área de estudo, foram utilizadas três principais variáveis climáticas: temperatura média, precipitação acumulada e evapotranspiração potencial. Esses dados foram obtidos da plataforma NASA POWER, que fornece informações climáticas globais com alta confiabilidade. As séries temporais utilizadas abrangem o período de 2000 a 2020, com resolução temporal mensal. A plataforma oferece os dados no formato CSV permitindo uma análise eficiente. Após o download, os dados foram submetidos a um processo de pré-processamento.

4.4. Análise de dados

Análise de normalidade

A avaliação da normalidade dos índices espectrais, juntamente com as variáveis climáticas (precipitação e temperatura), foi realizada por meio do teste de Shapiro-Wilk. Esse procedimento, de caráter fundamental, permitiu verificar se o conjunto de dados seguia uma distribuição normal. No entanto, os resultados indicaram a ausência de normalidade nos dados analisados.

Análise de correlação

A análise de correlação foi realizada para examinar as associações entre índices espectrais e variáveis climáticas. A técnica de correlação de Spearman foi empregada devido à sua adequação para dados não paramétricos. Os resultados foram representados por meio de gráficos gerados com o pacote ggplot2, em que os coeficientes de correlação e os valores de p foram apresentados de forma distinta para cada par de variáveis.

Regressão linear

As associações entre índices espectrais e fatores climáticos foram posteriormente investigadas empregando modelos de regressão linear simples. A eficácia de cada ajuste foi avaliada pelo cálculo do coeficiente de determinação (R^2), o que permitiu estimar a proporção de variância elucidada pelos modelos, fornecendo assim uma visão significativa da robustez das relações observadas.

Análise de Componentes Principais (PCA)

Por fim, a PCA foi realizada para diminuir a dimensionalidade do conjunto de dados e elucidar as relações intrínsecas entre índices espectrais e variáveis climáticas (temperatura, precipitação). Os resultados do PCA foram ilustrados por meio de gráficos, que facilitaram a visualização das interações das variáveis e ressaltaram as respectivas contribuições de cada variável para a variância geral.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Padrões de uso e ocupação da terra e taxa de desmatamento

A análise do uso e ocupação da terra na Unidade 2 da Floresta de Pinus, no Haiti, revela mudanças entre os anos de 2000 e 2020. Em 2000, a área urbanizada contava com 1009 hectares, expandindo-se para 1678 hectares em 2020, o que representa um aumento de 669 hectares, com uma taxa de desmatamento de 66,37% e um grau dinâmico positiva de 3,31%, revelando um ritmo acelerado de transformação da paisagem para usos antrópicos, principalmente devido ao crescimento da urbanização. Essas alterações estão detalhadamente representadas na (Tabela 1) e visualmente ilustradas na (Figura 3), que destaca as mudanças observadas ao longo do período estudado.

Adicionalmente, as águas também mostraram mudanças notáveis no mesmo período. A água, que era de apenas 0,60 hectares em 2000, expandiu-se para 9,48 hectares em 2020. Esse aumento expressivo de 1480%, no espaço ocupado por água, com um grau dinâmico de 74%, pode indicar uma adaptação nas práticas de gestão hídrica ou mudanças nos padrões hidrológicos da região.

A floresta densa teve uma redução em sua extensão de 10619 hectares em 2000 para 9592 hectares em 2020. Essa redução ao longo de 20 anos corresponde a uma diminuição florestal de 1027 hectares, com uma taxa de desmatamento de 9,67% da área. Essa redução é caracterizada por um grau dinâmico de -048, indicando uma dinâmica negativa da mudança.

Esse valor negativo traduz uma contração progressiva da floresta densa ao longo do tempo, evidenciando um processo ativo de desmatamento e um enfraquecimento do ecossistema florestal. Paralelamente, a vegetação arbustiva apresentou um crescimento modesto, aumentando de 12046 hectares em 2000 para 12394 hectares em 2020, um aumento de 2,88%, com um grau dinâmico de 0,14%. Esse crescimento pode ser atribuído a fenômenos de sucessão ecológica ou a alterações nas práticas de uso do solo que favorecem a expansão da vegetação arbustiva em detrimento de outras formas vegetativas.

Tabela 1- Evolução do uso e ocupação da terra na Unidade 2 da Floresta de *Pinus* , no Haiti 2000-2020.

Ano	2000	2020	Mudanças	Grau dinâmico
Classe	Área em ha	Área em ha	(%)	(%)
Área antropizada	1009	1678	66,37	3,31
Água	0,60	9,48	1480	74
Floresta densa	10619	9592	-9,67	-0,48
Vegetação arbustiva	12046	12394	2,88	0,14
Total	23674	23674	-	-

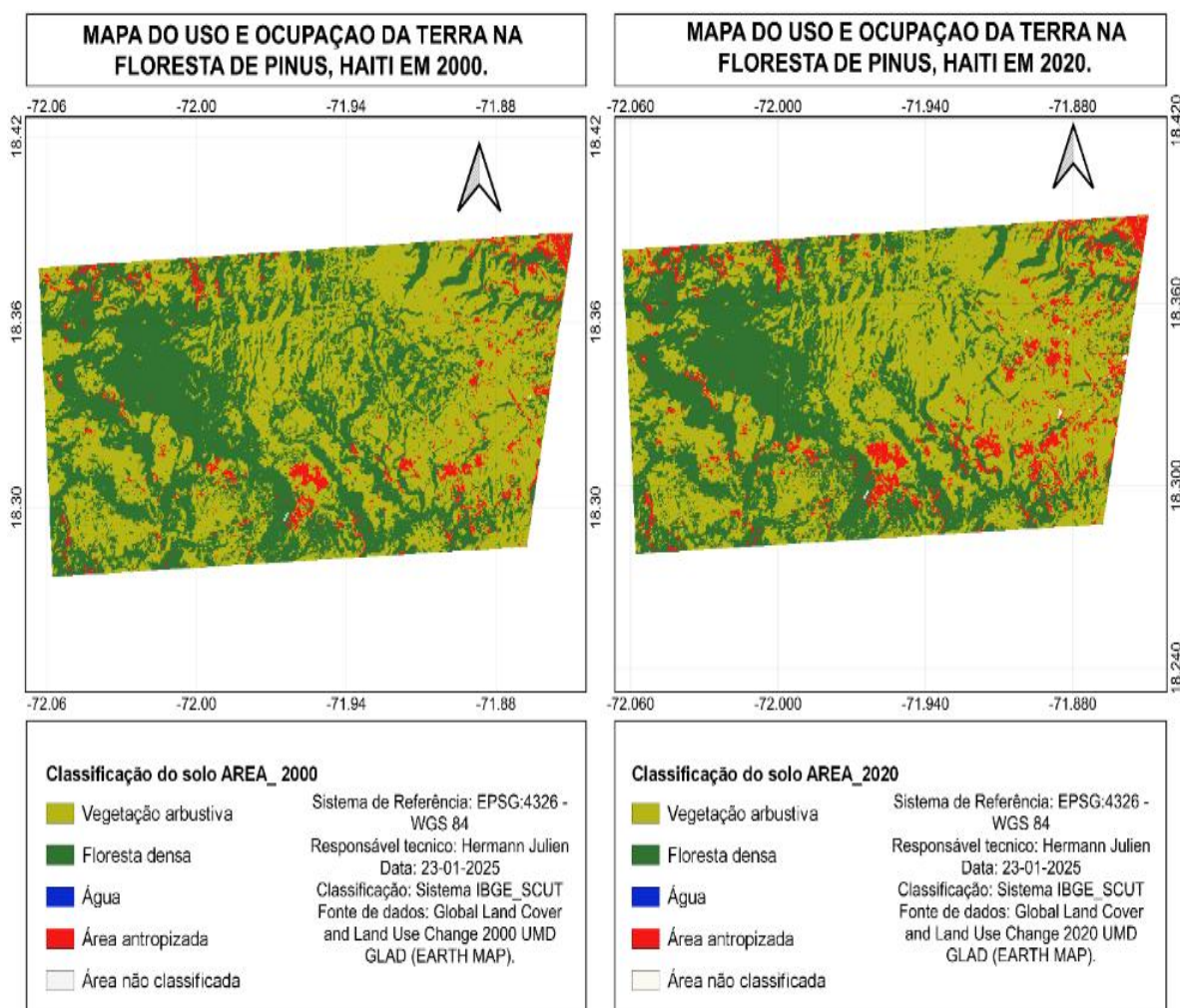


Figura 3- Classificação do uso e ocupação da terra na Unidade 2 da Floresta de *Pinus* , no Haiti 2000-2020.

A redução da floresta densa observada na área de estudo no Haiti reflete uma tendência comum em países tropicais e subtropicais, onde o desmatamento está frequentemente associado à expansão agrícola, ao crescimento urbano desordenado e à exploração insustentável dos recursos naturais. A situação haitiana é agravada por um contexto socioeconômico vulnerável, marcado pela pobreza, insegurança alimentar e falta de alternativas sustentáveis para a população rural, o que acentua a pressão sobre os ecossistemas naturais (LEE et al., 2019).

Esse cenário não é exclusivo do Haiti. Países vizinhos e outros territórios com condições climáticas semelhantes como temperaturas elevadas e regimes de precipitação tropicais também enfrentam desafios parecidos. Na República Dominicana, que compartilha a ilha com o Haiti, observa-se igualmente uma degradação ambiental progressiva, sobretudo em áreas montanhosas onde a agricultura migratória e o uso intensivo da terra são comuns. Apesar de políticas ambientais mais estruturadas, a pressão sobre os recursos naturais continua a ameaçar a cobertura vegetal remanescente.

Comparações também podem ser feitas com o contexto africano. No noroeste do Benin, por exemplo, observou-se uma substituição progressiva da floresta por mosaicos agrícolas e áreas de pousio, resultado da intensificação da agricultura e das pressões demográficas (THIERRY et al., 2018). Da mesma forma, na região de Annaba, na Argélia, o avanço urbano tem transformado áreas verdes e terras agrícolas em zonas urbanizadas, refletindo um padrão global de conversão de terras em razão de pressões antrópicas (NOUI et al., 2023).

Outro caso relevante é o da região da Baixa Vallée de Dallol Maouri, onde a expansão da agricultura extensiva levou à perda de 61% das savanas arborizadas e arbustivas, alterando significativamente a estrutura do ecossistema local (MAHAMAN et al., 2022). De maneira análoga, no Punjab, no Paquistão, o crescimento das áreas urbanas e agrícolas ocorreu às custas das florestas, provocando uma mudança marcante na paisagem natural (SAJID et al., 2022).

Apesar desse cenário preocupante, as investigações revelam que uma paisagem arbustiva pode apresentar certa resiliência após perturbações, com recuperação gradual da vegetação nativa. Essa regeneração pode oferecer refúgios importantes para a biodiversidade local, constituindo um aspecto crucial para estratégias de restauração ecológica em áreas degradadas (MARTINEZ et al. 2017),

Dessa forma, a comparação entre o Haiti e outros países com realidades socioeconômicas e ecológicas semelhantes justifica-se não apenas pelas condições climáticas comparáveis (temperaturas tropicais e altos índices de precipitação), mas também pela predominância de fatores estruturais comuns como a pobreza rural, a ausência de políticas de ordenamento territorial eficazes e a dependência de recursos naturais para subsistência. Entender essas semelhanças pode contribuir para o desenvolvimento de estratégias regionais de conservação e uso sustentável da terra adaptadas às especificidades locais.

Alterações nas áreas de ocupação na Zona de Amortecimento (ZA)

A análise da zona de amortecimento na Unidade 2 da Floresta de Pinus, no Haiti, entre os anos de 2000 e 2020, revela mudanças nas diferentes classes de uso e cobertura da terra. Primeiramente, observa-se um aumento expressivo na área urbanizada, que passou de 3810,26 hectares em 2000 para 5286,42 hectares em 2020, com um aumento de 1476,16 hectares. Isso representa um crescimento percentual de 38,74% e um grau dinâmico de 1,93%, indicando uma tendência crescente de urbanização nas zonas de amortecimento, potencialmente impulsionada pela expansão das atividades humanas e pela necessidade de desenvolvimento de infraestruturas.

Igualmente, a superfície de água aumentou de 14,12 hectares em 2000 para 26,97 hectares em 2020, o que representa um crescimento percentual de 91% e um grau dinâmico de 4,55%. Esse valor positivo e elevado indica uma taxa acelerada de expansão da cobertura hídrica, possivelmente associada a mudanças nos padrões de precipitação, à criação de reservatórios artificiais ou ao manejo dos recursos hídricos nas áreas de transição.

As áreas da floresta densa apresentaram uma redução em sua extensão, passando de 14164,56 hectares em 2000 para 13650,84 hectares em 2020, observando uma redução de 513,72 hectares, com uma taxa de desmatamento de -3,62% e um grau dinâmico de -0,18%, indicando um declínio mais moderado, essa diminuição sugere que as pressões de uso da terra, possivelmente relacionadas à agricultura e à urbanização, podem ter contribuído para a perda de cobertura florestal nas zonas de amortecimento. A redução da floresta densa pode comprometer a capacidade dessas áreas de atuar como tampão, protegendo os ecossistemas centrais de atividades antrópicas.

Em última análise, a vegetação arbustiva também sofreu uma leve diminuição, de 22212,74 hectares em 2000 para 21237,19 hectares em 2020, o que representa uma diminuição de 975,55 hectares com, 4,39% e um grau dinâmico de -0,21%. Esta redução na vegetação arbustiva pode ser atribuída a práticas agrícolas intensivas e ao uso inadequado das terras, que alteram a composição da vegetação e afetam a biodiversidade nas áreas de transição. Essas alterações estão detalhadamente representadas na (Tabela 2 e Figura 4), que destaca as mudanças observadas ao longo do período estudado. Os dados revelam, portanto, um padrão de transformação nas zonas de amortecimento que reflete as complexas interações entre conservação e atividades humanas. Tais mudanças são visíveis nos diferentes tipos de cobertura da terra e indicam a necessidade de uma gestão eficaz para manter o equilíbrio entre desenvolvimento e preservação ambiental.

Tabela 2- Alterações na Zona de Amortecimento Unidade 2 da Floresta de Pinus, Haiti em 2000-2020.

Ano	2000	2020	Mudanças	Grau dinâmico
Classe	ZA em ha	ZA em ha	(%)	(%)
Área antropizada	3810,26	5286,42	38,74	1,93
Água	14,12	26,97	91	4,55
Floresta densa	14164,56	13650,84	- 3,62	- 0,18
Vegetação arbustiva	22212,74	21237,19	- 4,39	- 0,21
Total	40201,68	40201,68	-	-

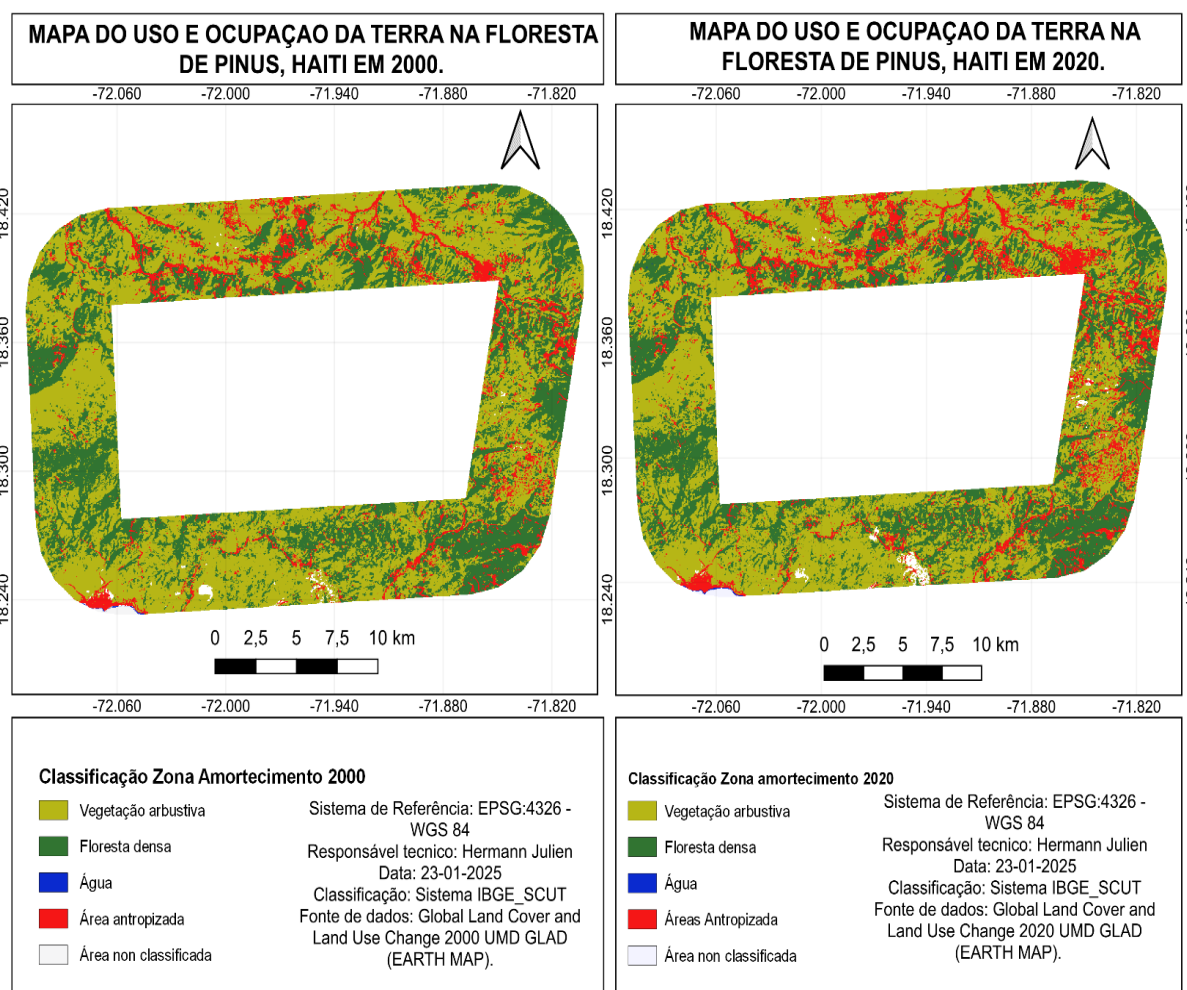


Figura 4- Classificação do uso e ocupação da terra de ZA na Unidade 2 da Floresta de *Pinus*, no Haiti 2000-2020.

Estudos indicam que mudanças nas zonas de amortecimento são comuns em muitas regiões tropicais, não se limitando ao Haiti. Por exemplo, em Annaba, na Argélia, a expansão urbana tem levado à conversão de espaços verdes e terras agrícolas em áreas urbanizadas, comprometendo a função de proteção dessas zonas (NOUI et al., 2023). Essas alterações são semelhantes ao observado na zona de amortecimento no Haiti, onde o crescimento das áreas urbanizadas também desafia os objetivos de conservação. Na América Latina, as zonas de amortecimento na Reserva da Biosfera Maya, na Guatemala, enfrentam problemas similares, onde a expansão agrícola e urbana impacta negativamente a biodiversidade local e os ecossistemas naturais (GARCIA et al., 2019).

Essas mudanças comprometem a integridade ecológica das áreas centrais e dificultam a implementação de práticas de conservação. Da mesma forma, em Porto

Rico, a pressão sobre as zonas de amortecimento das áreas protegidas se intensificou com a expansão agrícola e urbana, mostrando que essas zonas são frequentemente de atividades humanas, que afetam seus papéis de proteção (RODRIGUEZ et al., 2020).

Esse cenário ressalta a necessidade de regulamentações específicas para garantir que as zonas de amortecimento funcionem como um tampão eficaz entre áreas protegidas e usos humanos intensivos.

No caso da Colômbia, o aumento das áreas de corpos hídricos nas zonas de amortecimento é frequentemente ligado a estratégias de conservação e ao manejo sustentável de recursos hídricos. Essas práticas visam equilibrar a necessidade de recursos hídricos para as comunidades locais com a conservação ambiental (LOPEZ et al., 2021). Isso sugere que a gestão integrada pode proporcionar um uso mais sustentável das zonas de amortecimento. Na África, em Madagascar, a expansão da agricultura nas zonas de amortecimento tem contribuído para a degradação das florestas e a perda de cobertura vegetal nativa, refletindo padrões semelhantes aos observados no Haiti (RAKOTOARISOA et al., 2018).

Esse fenômeno ressalta a importância de práticas de manejo sustentável para evitar a degradação ambiental e garantir a manutenção dos ecossistemas nativos. Finalmente, no Punjab, no Paquistão, a expansão das áreas construídas e diminuição das zonas florestais refletem uma tendência de desenvolvimento urbano que também se observa nas zonas de amortecimento do Haiti, mostrando que o equilíbrio entre conservação e desenvolvimento continua sendo um desafio em diversas partes do mundo (SAJID et al., 2022).

A urbanização dentro da zona tampão tem o potencial de gerar uma infinidade de efeitos adversos nas áreas de conservação nos próximos anos. Primeiramente, a fragmentação do habitat surge como uma ameaça significativa, pois a expansão urbana segrega os ecossistemas em fragmentos diminutos e isolados, diminuindo assim a conectividade ecológica e complicando o movimento das espécies. Além disso, uma demanda crescente por recursos naturais, como madeira, água doce e terras aráveis, está exercendo uma maior pressão antropogênica. Além disso, o fenômeno da poluição está se exacerbando simultaneamente com a urbanização, impactando adversamente a qualidade do ar, da água e do solo por meio da geração de resíduos sólidos, águas residuais e emissões de atividades industriais.

A diminuição da capacidade de regulação climática é evidente, pois a transformação de paisagens naturais em ambientes urbanizados resulta na diminuição do sequestro de carbono e modificações no microclima, o que posteriormente leva a alterações nos padrões de precipitação e ao aumento das temperaturas locais. A expansão das áreas urbanas também promove a proliferação de espécies invasoras, que têm o potencial de superar as espécies indígenas e perturbar o equilíbrio ecológico.

A probabilidade de incêndios florestais está aumentando, pois, a proximidade das regiões urbanizadas aos ecossistemas protegidos aumenta o risco de ignições acidentais e deliberadas. Em última análise, a urbanização descontrolada pode culminar em conflitos socioambientais entre comunidades locais, partes interessadas privadas e entidades de conservação, complicando assim a implementação de medidas de proteção eficazes (ALVAREZ et al., 2019).

5.2. Índices espectrais da área de estudo

A análise do NDVI para o ano 2000 revela uma variação nos valores, com a mediana oscilando entre 0,50 em janeiro, período de menor índice, e 0,76 em setembro, o valor mais alto registrado. No início do ano, os valores permaneceram relativamente estáveis, em torno de 0,54, refletindo a estação seca, que limita o crescimento da vegetação. A partir de maio, observa-se um aumento gradual do NDVI, alcançando seu pico entre setembro e novembro, em resposta ao aumento da precipitação. No final do ano, há uma leve redução nos índices, indicando uma desaceleração no crescimento da vegetação devido ao retorno de condições climáticas mais secas (Figura 5, A e B).

A evolução temporal do NDVI de 2000 a 2020 ilustra uma tendência descendente, indicando uma redução gradual na densidade da vegetação ao longo do tempo, possivelmente devido a influências climáticas e antropogênicas. Apesar da consistência na dinâmica sazonal, caracterizada por um aumento do NDVI durante a estação chuvosa e uma redução na estação seca, as flutuações parecem ser mais pronunciadas no ano de 2020, variando de 0,40 em janeiro, nos períodos de menor índice, a 0,70 nos períodos de maior índice. Esse fenômeno pode indicar uma maior vulnerabilidade da vegetação às condições ambientais predominantes.

Uma infinidade de fatores pode elucidar essa evolução: mudanças climáticas, caracterizadas pelo aumento das temperaturas e padrões alterados de precipitação que afetam a disponibilidade de água; intensificação da exploração florestal, associada ao desmatamento para fins agrícolas, produção de lenha e uso comercial, que posteriormente diminui a cobertura vegetal; e pressão populacional, que exacerba a demanda por terras agrícolas e recursos naturais, acelerando assim a degradação dos ecossistemas florestais. Essas tendências observadas se alinham com aquelas documentadas em uma infinidade de regiões tropicais, nas quais a interação das pressões antrópicas e das mudanças climáticas promove a degradação gradual dos recursos naturais e a alteração da dinâmica da vegetação.

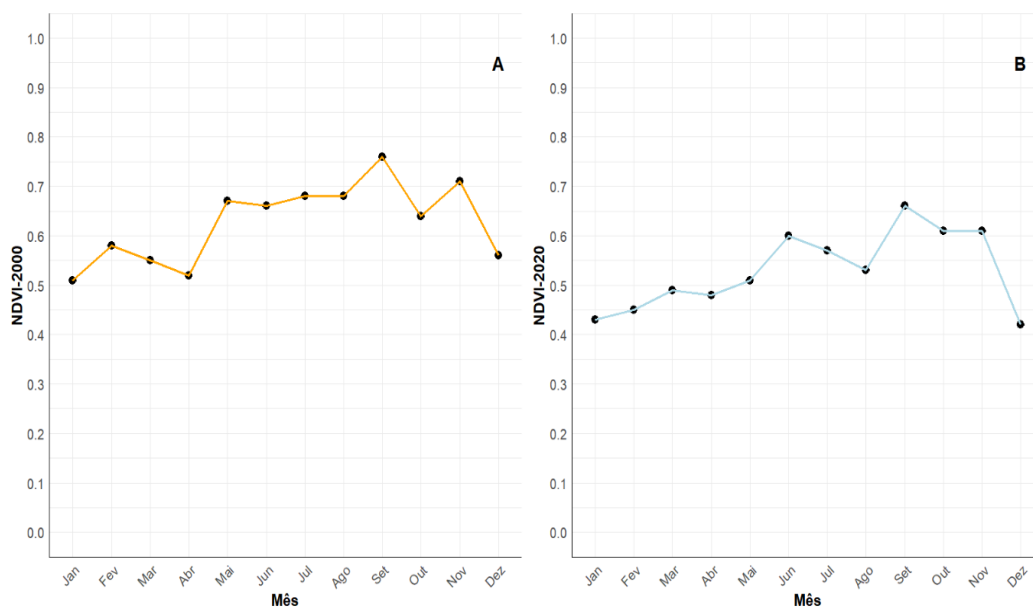


Figura 5 - Índices espectrais ; A) NDVI 2000 – B) NDVI 2020

A análise espacial do NDVI para os anos de 2000 e 2020 evidencia mudanças no ecossistema da Floresta de Pinus no Haiti. Em 2000, observa-se a predominância de vegetação densa, representada pelas classes com valores de NDVI entre 0,60 e 1, mostradas em verde escuro. Essa situação indica um ecossistema mais ou menos preservado, com ampla cobertura florestal contínua. Entretanto, em 2020, embora as formações florestais ainda estejam presentes, nota-se uma redução considerável nas áreas com NDVI elevado, sinalizando perda de biomassa e fragmentação da vegetação. Paralelamente, houve um aumento expressivo nas áreas com NDVI entre 0 e 0,25, representadas em laranja, que indicam solos expostos. Essa classe está

geralmente associada à degradação ambiental, possivelmente resultante de desmatamento, expansão agrícola ou urbanização.

Além disso, as áreas com NDVI entre 0,25 e 0,50, correspondentes à vegetação arbustiva (em amarelo claro), também aumentaram em 2020, sugerindo a substituição parcial da floresta densa por vegetação secundária ou em processo de regeneração. Observa-se ainda uma leve expansão das zonas com NDVI entre -1 e 0 (em vermelho), indicativas de corpos hídricos, o que pode estar relacionado a alterações hidrológicas, aumento da erosão ou à formação de áreas alagadas. Essas mudanças indicam uma intensificação da pressão antrópica sobre a área de estudo ao longo das duas décadas, o que compromete progressivamente a integridade do ecossistema florestal. (Figura 6) .

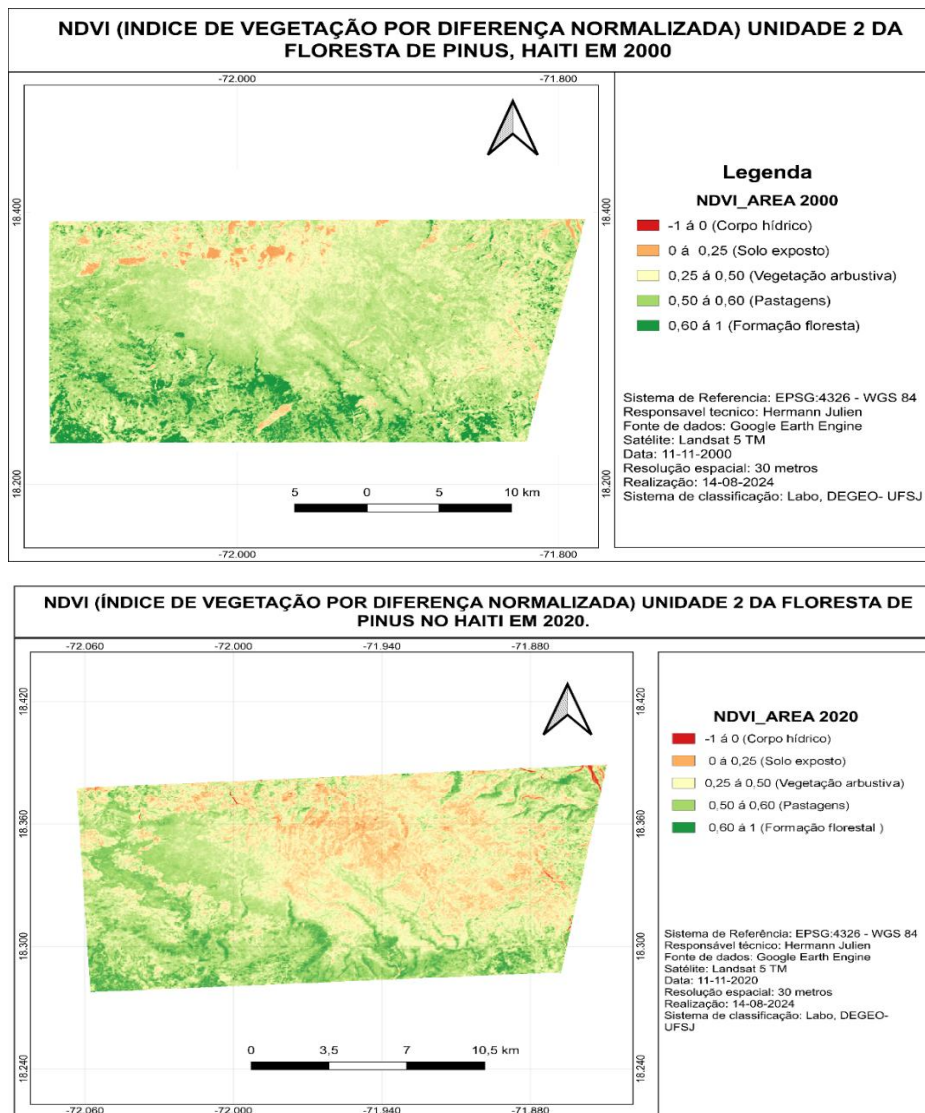


Figura 6- Representação espacial do NDVI na Floresta de *Pinus* no Haiti, em 2000-2020.

Essa tendência reflete uma transição de florestas densas para áreas abertas, provavelmente ligada à exploração progressiva da terra. Essas descobertas ressaltam o imperativo do manejo sustentável dos recursos florestais no Haiti para mitigar a degradação dos ecossistemas e preservar os serviços ecológicos prestados pela floresta de *Pinus*. Estudos indicam que a variação dos valores de NDVI, como a observada entre 2000 e 2020 na Floresta de *Pinus*, está frequentemente associada a pressões humanas que reduzem a densidade da vegetação. O aumento das áreas de solo exposto em 2020, detectado pelo NDVI, reflete uma possível intensificação das atividades de desmatamento e expansão agrícola, comuns em ecossistemas tropicais.

Esse padrão de degradação é bem documentado em áreas florestais tropicais, onde o desmatamento leva à redução da biodiversidade e à fragmentação do habitat (FEARNSIDE et al., 2018). A persistência de altos valores de NDVI em parte da área, no entanto, sugere que ainda existem zonas florestais relativamente preservadas, alinhando-se com achados em florestas da América Latina, onde áreas protegidas mostram maior resistência à degradação (TAPPAN et al., 2016).

Análise do SAVI em 2000 e 2020

A progressão temporal do SAVI na Floresta de *Pinus* do Haiti dos anos 2000 a 2020 elucida as flutuações sazonais e as alterações na dinâmica vegetativa ao longo das décadas. No ano 2000, o SAVI exibiu uma trajetória amplamente ascendente ao longo do ciclo anual, com valores registrados flutuando entre 0,6 e 1,3 (Figura 7, C e D). Um declínio foi observado em fevereiro, seguido por um aumento acelerado em março e abril, indicativo de um potencial rejuvenescimento da vegetação coincidindo com o início da estação chuvosa. O intervalo de maio a julho revelou uma pequena instabilidade, provavelmente atribuível a variações no teor de umidade do solo e na cobertura vegetal. A partir de agosto, um aumento progressivo foi documentado, culminando em um pico em dezembro, que pode estar associado à precipitação tardia e à diminuição das pressões antropogênicas.

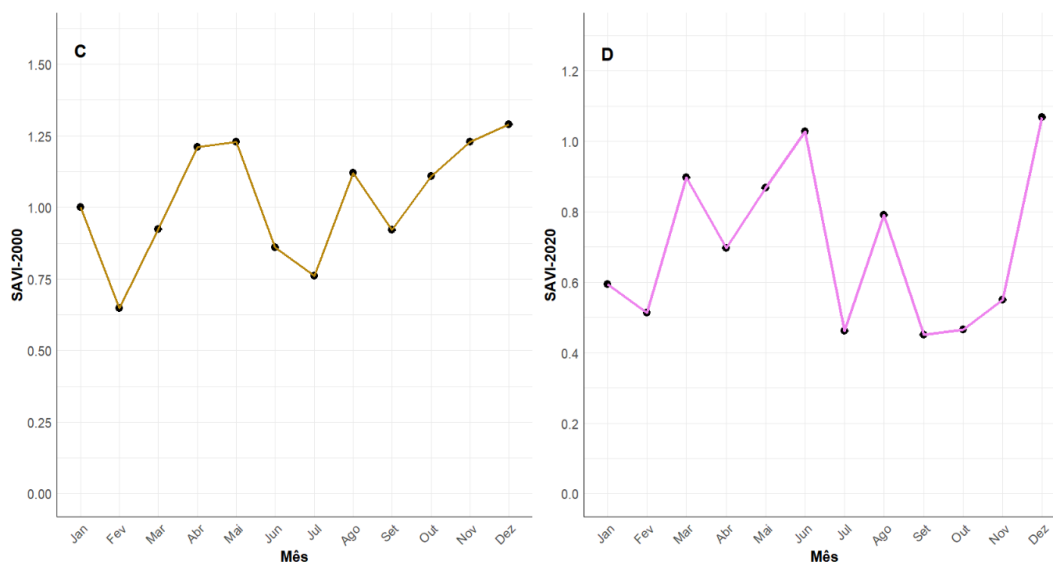


Figura 7- Índices espectrais ; C) SAVI 2000 - D) SAVI 2020

Em 2020, o padrão de variação do SAVI é caracterizado por maior irregularidade, com valores marginalmente inferiores aos registrados em 2000, oscilando entre 0,3 e 1,2. Os declínios pronunciados observados em fevereiro e julho podem significar perturbações ambientais, como incêndios florestais, desmatamento ou fenômenos de degradação da terra.

Os picos observados em março e junho implicam intervalos de recuperação vegetativa, provavelmente resultantes do aumento das chuvas. No entanto, a queda substancial em setembro e outubro pode refletir uma escalada nas pressões induzidas pelo homem, particularmente em relação à exploração florestal ou à expansão de territórios agrícolas. Uma recuperação acentuada foi observada em novembro e dezembro; no entanto, isso não restaurou os níveis aos de 2000, indicando uma deterioração da resiliência do ecossistema nos anos seguintes.

Os resultados obtidos neste estudo corroboram pesquisas realizadas em ecossistemas similares na região do Caribe e na América Latina. Por exemplo, valores elevados de SAVI, como os registrados no Haiti em 2000, também foram observados nas florestas tropicais da República Dominicana, onde condições climáticas favoráveis e baixa pressão antropogênica resultaram em ecossistemas estáveis (RODRÍGUEZ et al., 2018).

A queda acentuada do SAVI é compatível com o impacto de incêndios florestais observados em outros países da região. Estudos realizados no México indicaram que

incêndios podem causar reduções drásticas na biomassa vegetal, prejudicando a regeneração natural a médio prazo (MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ; GARCÍA, 2016).

Esse tipo de perturbação tende a agravar a vulnerabilidade ecológica e comprometer os serviços ecossistêmicos fornecidos pelas florestas. A estabilidade relativa do SAVI entre 2002 e 2004 pode ser explicada por um equilíbrio entre regeneração e degradação. Essa tendência também foi registrada em florestas na Guatemala, onde a recuperação pós-incêndio é frequentemente acompanhada de atividades humanas, como agricultura, que retardam o retorno à vegetação original (RAMÍREZ-GONZÁLEZ; LÓPEZ-CANO, 2017).

Análise do NDBI em 2000 e 2020

No ano 2000, o NDBI apresentou uma variação sazonal bem definida, com picos atingindo aproximadamente 0,28 nos meses de março e setembro. Esses aumentos podem estar associados a atividades humanas cíclicas, como a preparação do solo para a agricultura ou uma intensificação das construções nesses períodos (Figura 8, E e F). Os valores mais baixos do NDBI, em torno de -0,2, foram registrados nos meses de janeiro e julho, o que pode refletir uma redução temporária das superfícies construídas visíveis. Essa queda pode estar relacionada ao aumento da cobertura vegetal, maior umidade do solo ou ao acúmulo de matéria orgânica, reduzindo assim a refletância das superfícies artificiais.

No ano de 2020, o comportamento do NDBI se mostrou mais irregular e menos coerente em comparação a 2000. Diferentemente da tendência sazonal clara observada em 2000, as flutuações do NDBI em 2020 são mais erráticas. Os valores mais elevados foram registrados em setembro, atingindo aproximadamente 0,23, enquanto os mais baixos, próximos de -0,1, ocorreram nos meses de abril e outubro. Essa dinâmica sugere uma urbanização mais instável, caracterizada por fases de expansão e abandono de infraestruturas, sem seguir um ciclo sazonal bem definido.

A maior variabilidade do NDBI em 2020 pode refletir mudanças no uso do solo, um aumento da fragmentação do ambiente urbano ou a evolução das práticas humanas que influenciam a estrutura das áreas construídas.

Em 2000, apresentou valores de NDBI mais elevados e uma tendência sazonal mais marcada, sugerindo uma urbanização mais estável e uma ocupação mais regular das áreas construídas. Em contraste, no ano de 2020, embora ainda existam picos no NDBI, suas flutuações irregulares indicam um desenvolvimento urbano mais desordenado, caracterizado por fases de expansão e abandono de infraestruturas, o que pode refletir um padrão de construção menos estruturado.

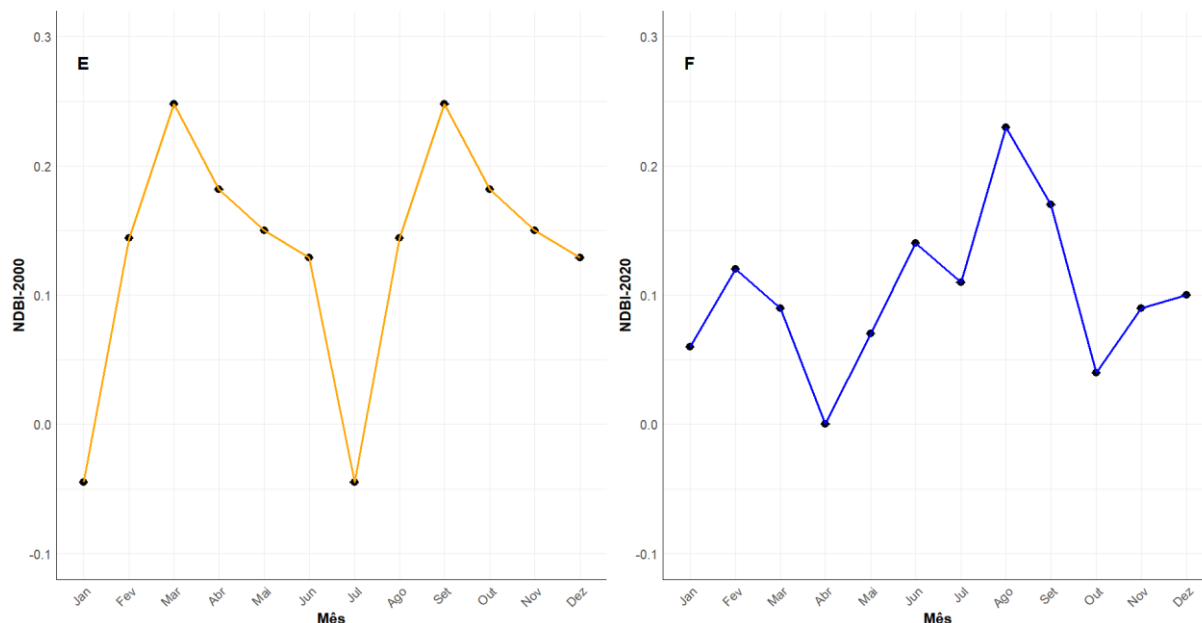


Figura 8- Índices espectrais; E) NDBI 2000 – F) NDBI 2020.

As flutuações do NDBI observadas neste estudo são comparáveis a tendências registradas em outras regiões sob pressão antropogênica. Por exemplo, um estudo realizado na China demonstrou que o aumento do NDBI estava fortemente correlacionado com a rápida urbanização e expansão das infraestruturas nas áreas periurbanas, indicando uma pressão crescente sobre as terras agrícolas para o desenvolvimento urbano (XU et al., 2013).

Os aumentos do NDBI na nossa área de estudo, especialmente em 2006 e 2008, podem estar associados a um processo similar de expansão urbana ou conversão de terras para atividades não agrícolas. Em regiões tropicais como a Índia, o aumento do NDBI também foi observado em áreas de intensa desflorestação para expansão agrícola e desenvolvimento de infraestruturas, ilustrando como a atividade humana altera diretamente os índices de vegetação e cobertura do solo (RAHMAN et al., 2011).

Essa semelhança sugere que os picos de NDBI em nossa área de estudo podem estar relacionados a atividades como expansão de terras agrícolas ou desmatamento para novas construções. Variáveis climáticas e índices espectrais.

Temperatura e NDVI

A análise comparativa entre os anos 2000 e 2020 revela variações sazonais distintas no NDVI e na temperatura, destacando a influência desta última na cobertura vegetal. De janeiro a abril de 2000, os valores de NDVI foram relativamente baixos, variando entre 0,48 e 0,50, enquanto a temperatura média ficou entre 22 °C e 24 °C.

De maio a agosto, observou-se um leve aumento no NDVI, atingindo valores entre 0,55 e 0,60, com temperaturas variando de 25 a 26 °C, sendo esses meses particularmente quentes. Em setembro, o NDVI alcançou aproximadamente 0,71, com temperaturas oscilando entre 27 °C e 28 °C. Finalmente, de outubro a dezembro, registrou-se uma diminuição no índice, seguida por um aumento em novembro, possivelmente devido à queda nas temperaturas.

De janeiro a março de 2020, o NDVI apresentou valores ligeiramente mais baixos, variando entre 0,43 e 0,46, com temperaturas aumentando cerca de 1,5 °C a 2 °C em relação a 2000. De abril a junho, embora o NDVI tenha atingido valores semelhantes aos de 2000, manteve-se ligeiramente inferior, enquanto as temperaturas ultrapassaram, em média, 26 °C.

De julho a agosto, o NDVI apresentou uma queda, variando entre 0,55 e 0,58, enquanto as temperaturas superaram os 27 °C. Em setembro, com temperaturas mais elevadas do que em junho e julho, o NDVI foi menor, sugerindo que o aumento da temperatura contribuiu para a redução da biomassa vegetal ativa (Figura 9).

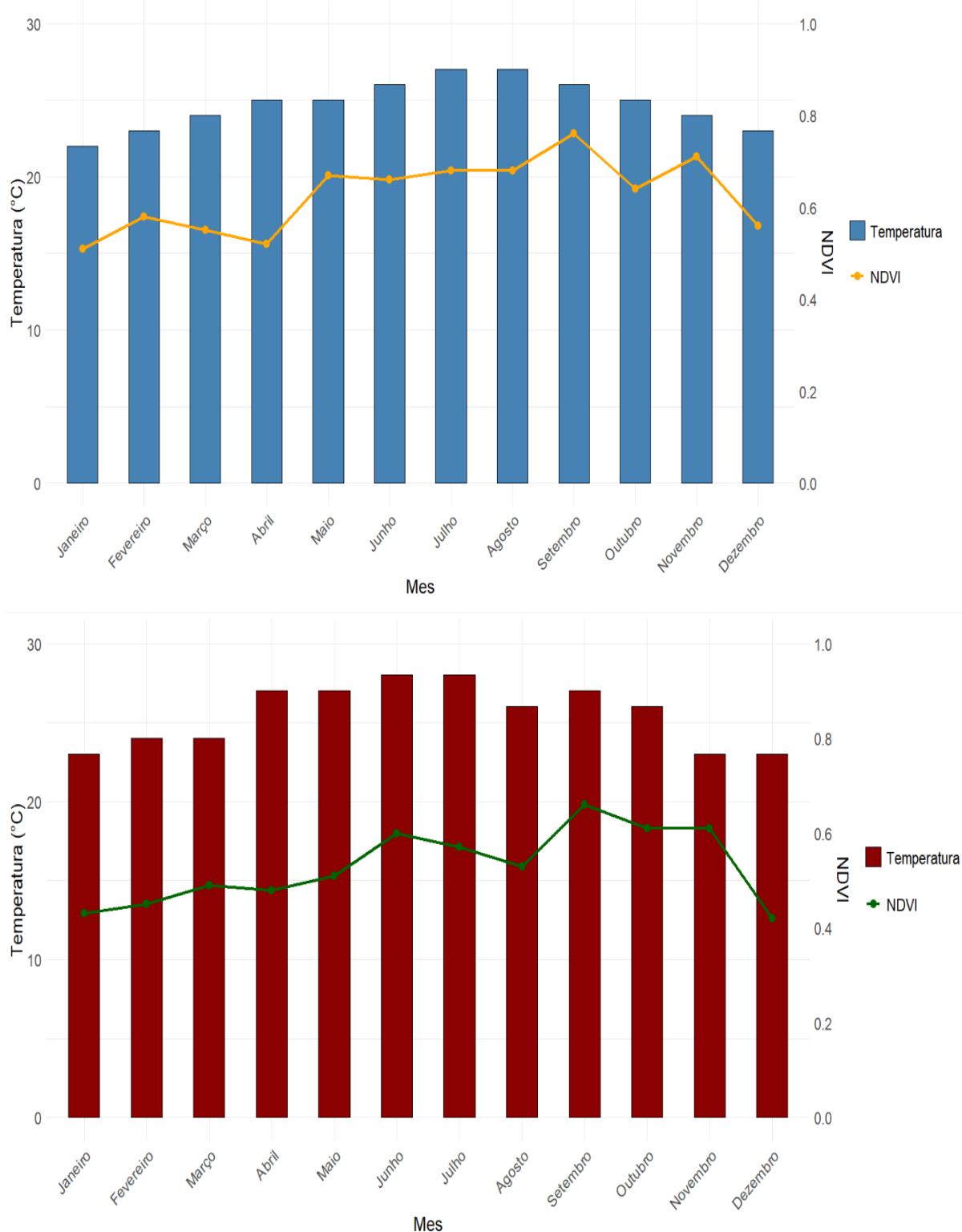


Figura 9- Distribuição do NDVI em função da temperatura na área de estudo em 2000 e 2020

Os resultados indicam que a temperatura influencia significativamente a dinâmica do NDVI, especialmente em condições de baixa disponibilidade hídrica. Em 2020, observou-se que, apesar da presença de luz solar suficiente, os valores de NDVI

foram inferiores aos do ano 2000. Isso sugere que o aumento contínuo das temperaturas pode intensificar os efeitos do estresse ambiental sobre a vegetação, reduzindo sua atividade fotossintética e, conseqüentemente, a densidade da cobertura vegetal. Entretanto, essa variação no NDVI não pode ser atribuída unicamente à temperatura.

A disponibilidade de água permanece como um fator determinante para a produtividade vegetal. Durante a estação seca, o déficit hídrico se torna o principal fator limitante, comprometendo a atividade metabólica das plantas. Já na estação chuvosa, a combinação de temperaturas elevadas com maior disponibilidade hídrica favorece o desenvolvimento da vegetação, refletido em valores mais altos de NDVI (ASNER et al., 2005).

Precipitação e NDVI

Uma análise comparativa entre os anos de 2000 e 2020 elucida notáveis flutuações mensais no NDVI e na precipitação, ressaltando assim o impacto desta última na cobertura vegetal. Durante o período de janeiro a abril de 2000, os valores de NDVI foram comparativamente baixos, variando de 0,50 a 0,58, enquanto a precipitação média mensal flutuou entre 25 mm e 35 mm. De maio a agosto, observou-se um aumento modesto no NDVI, atingindo valores entre 0,58 e 0,60, concomitante com um aumento na precipitação, que atingiu o pico de 71 mm, embora com um declínio em junho, seguido por um aumento progressivo.

Em setembro, o NDVI subiu para aproximadamente 0,76, coincidindo com uma elevação na precipitação para 100 mm, sugerindo uma resposta favorável da vegetação à maior disponibilidade de água (Figura 10). Por fim, de outubro a dezembro, observou-se um declínio no índice, seguido por um aumento em novembro, provavelmente atribuível às flutuações na precipitação.

De janeiro a março de 2020, o NDVI exibiu valores marginalmente mais baixos, variando de 0,43 a 0,46, enquanto os níveis de precipitação foram inferiores aos registrados durante o mesmo período de 2000. De abril a junho, o NDVI atingir valores comparáveis aos de 2000, ele permaneceu um pouco menor, potencialmente indicativo de restrições hídricas, pois os níveis de precipitação continuaram baixos. De julho a agosto, o NDVI sofreu um declínio, registrando valores entre 0,55 e 0,58,

acompanhados por chuvas ainda menores em comparação com os mesmos meses de 2000. Em setembro, com um ligeiro aumento na precipitação, o NDVI demonstrou uma recuperação marginal, embora tenha persistido abaixo dos valores registrados em 2000. Os resultados indicam que a precipitação exerce uma influência direta na dinâmica do NDVI, regulando a disponibilidade de água para a vegetação e, conseqüentemente, sua produtividade. Em 2020, caracterizado por uma redução nos volumes de precipitação em vários períodos do ano, o NDVI exibiu valores inferiores aos de 2000, o que implica que a disponibilidade limitada de água pode ter restringido o crescimento da vegetação.

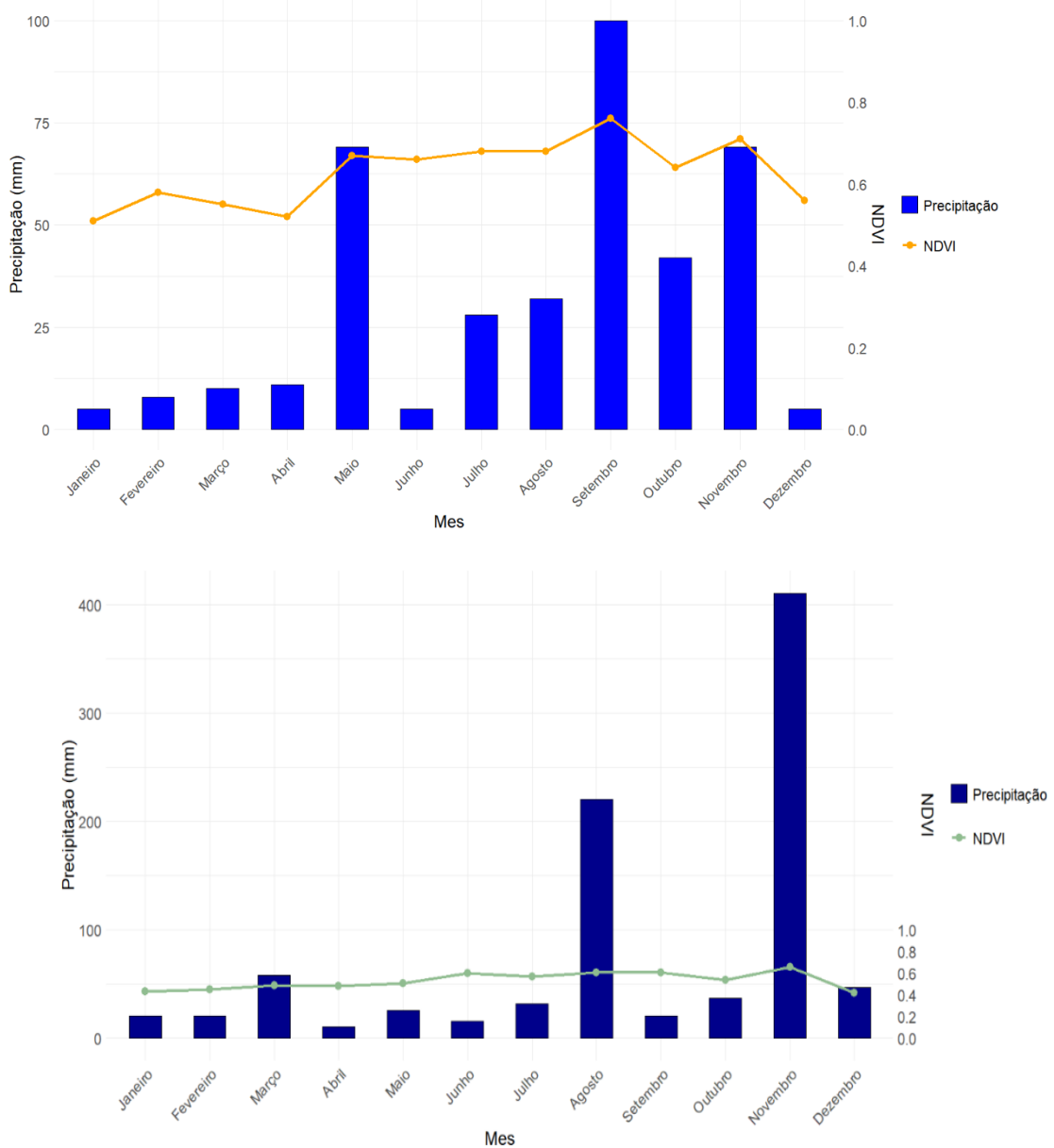


Figura 10- Distribuição do NDVI em função da precipitação na área de estudo em 2000 e 2020.

Durante a estação seca, a diminuição das precipitações tem um impacto significativo na absorção de água pelas plantas, resultando em uma redução da biomassa e em uma cobertura vegetal menos densa. Esse fenômeno é principalmente causado pelo estresse hídrico, que afeta os processos fisiológicos e bioquímicos das plantas, reduz a capacidade fotossintética e altera os padrões de crescimento.

As plantas adotam diversos mecanismos de adaptação para enfrentar a escassez de água, como a modificação da relação raiz-parte aérea e a melhoria da eficiência da transpiração. O impacto da redução das precipitações na vegetação é evidente em diferentes ecossistemas, sendo que pradarias e regiões semiáridas apresentam respostas variadas dependendo das espécies e dos níveis de redução das chuvas (SELEIMAN et al., 2021).

5.3. Regressão linear entre variáveis climáticas e índices espectrais

A regressão entre o NDVI e a temperatura também mostrou uma relação significativa, com um p-valor de 0,00 e um coeficiente levemente positivo (Figura 11). Esse achado sugere que aumentos moderados na temperatura podem estimular a atividade vegetal em determinadas condições. No entanto, esses efeitos benéficos são frequentemente limitados em ecossistemas tropicais, onde temperaturas elevadas acima de um determinado limite crítico levam ao aumento do estresse hídrico.

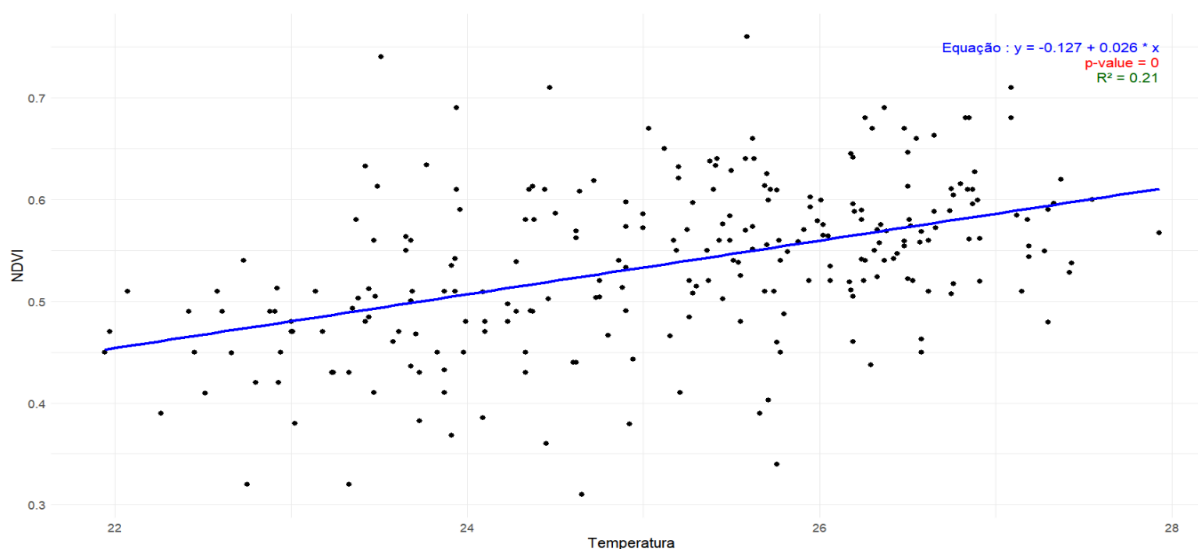


Figura 11 - Regressão linear entre NDVI e temperatura

A regressão entre o NDVI e a precipitação revelou uma relação significativa, com um p-valor de 0,001 e um coeficiente positivo, indicando que o aumento da precipitação está fortemente associado ao aumento do NDVI. Esse resultado válido a interpretação de que a disponibilidade de água é crucial para a produtividade vegetal neste ecossistema tropical (Figura 12). Os resultados mostram que o NDVI está fortemente influenciado por fatores climáticos, especialmente pela precipitação, com sensibilidade adicional à temperatura. Durante a estação chuvosa, a vegetação responde positivamente à maior disponibilidade hídrica, elevando os valores dos índices.

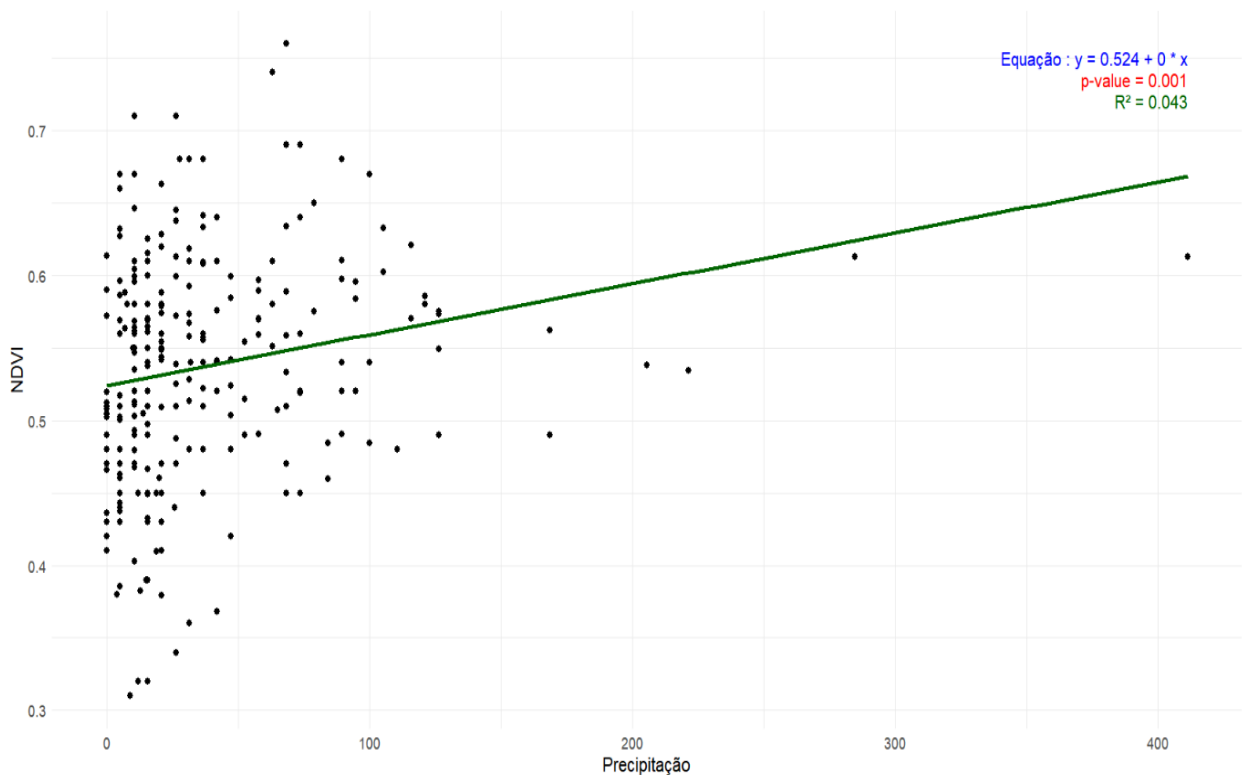


Figura 12 - Regressão linear entre NDVI e precipitação

A correlação não significativa entre NDVI e evapotranspiração pode estar ligada à influência de múltiplas variáveis sobre a ET, como umidade do solo e radiação, o que pode desfocar sua relação direta com a densidade da vegetação. Assim, os índices espectrais respondem de maneira diferenciada aos fatores naturais e antrópicos, exigindo abordagens integradas nas análises ecológicas.

O gráfico de dispersão evidencia um coeficiente próximo de zero e um p-valor de 0,55, indicando que a relação entre essas variáveis não é estatisticamente significativa.

O coeficiente de determinação ($R^2 = 0,001$) sugere que a evapotranspiração não explica a variação observada no NDVI (Figura 13). Esse resultado pode ser justificado por vários fatores. Como observado anteriormente, a precipitação é o fator determinante para a produtividade vegetal nesse ecossistema.

A evapotranspiração está intrinsecamente ligada à disponibilidade de água, mas sua influência na biomassa e na densidade da cobertura vegetal pode ser indireta e menos evidente em uma análise de regressão simples. Espécies vegetais possuem diferentes estratégias fisiológicas e mecanismos de adaptação ao estresse hídrico. Algumas espécies podem manter um NDVI elevado mesmo sob alta evapotranspiração, devido à presença de mecanismos de conservação de água, como fechamento estomático e eficiência fotossintética otimizada.

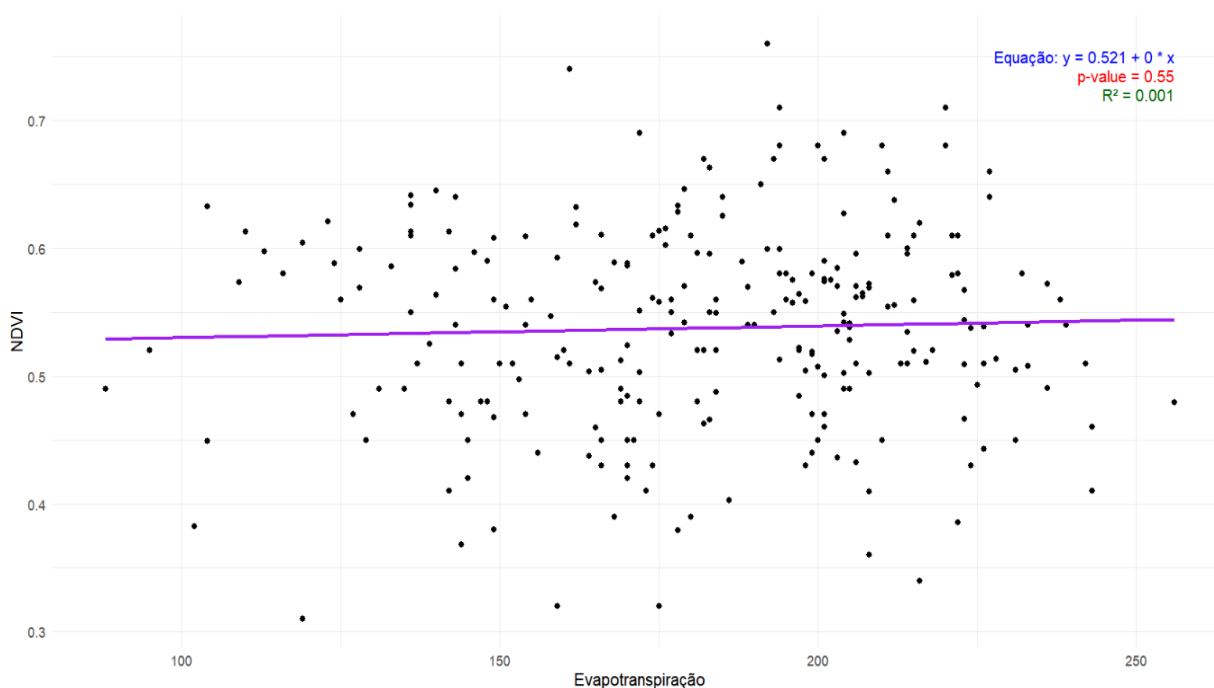


Figura 13 - Regressão linear entre NDVI e evapotranspiração

As relações identificadas entre os fatores climáticos e os índices espectrais revelam mecanismos subjacentes essenciais para compreender a dinâmica ecológica em ecossistemas tropicais. A correlação positiva entre o NDVI e a precipitação confirma o papel determinante da água no suporte à produtividade vegetal.

As florestas tropicais úmidas dependem fortemente da precipitação para manter sua atividade fotossintética e sua densidade de biomassa (ACHARD et al. 2002). A relação entre o NDVI e a temperatura, embora significativa, apresenta um efeito mais sutil.

Temperaturas moderadas podem favorecer o crescimento vegetal ao aumentar a eficiência dos processos metabólicos, especialmente em ambientes com temperaturas relativamente baixas. No entanto, temperaturas excessivamente altas, típicas de zonas tropicais, amplificam o estresse hídrico, resultando em uma redução da atividade vegetal. A posição específica do NDBI na ACP evidencia as dinâmicas antropogênicas na região estudada.

Diferentemente dos índices espectrais relacionados à vegetação, o NDBI reflete influências humanas, como a urbanização e as mudanças no uso do solo, de forma independente das variações climáticas. Essas observações estão em consonância com os trabalhos que demonstraram o impacto crescente da urbanização sobre a estrutura e a função dos ecossistemas tropicais (GONZÁLEZ; RAMÍREZ, 2012).

Análise de Componentes Principais (ACP)

A Análise de Componentes Principais (ACP) aplicada aos índices espectrais e aos fatores climáticos da área de estudo evidenciou padrões estruturais complexos entre essas variáveis. As duas primeiras componentes principais, Dim1 e Dim2, explicam 27,5% e 21,3% da variância total, respectivamente, totalizando 48,8% da variabilidade dos dados (Figura 14).

Embora esse valor represente uma parcela importante da informação original, observa-se que mais da metade da variância (51,2%) permanece distribuída entre as demais componentes não analisadas em profundidade. Isso reforça a complexidade dos sistemas ecológicos e climáticos da região, cujos padrões de variação não podem ser totalmente explicados por apenas duas dimensões.

A Dim1 expressa um gradiente ambiental marcado pelas projeções conjuntas do NDVI, SAVI e precipitação, sugerindo padrões comuns associados à cobertura vegetal e à disponibilidade hídrica.

Em sentido oposto, temperatura e evapotranspiração apresentam projeções contrárias, refletindo um eixo entre ambientes mais úmidos e vegetação densa versus condições de maior estresse térmico. A Dim2, por sua vez, destaca-se pela forte projeção do NDBI, o que indica que esse índice segue um padrão de variação distinto, possivelmente relacionado a fatores antrópicos, como urbanização e alteração do uso

do solo. A disposição ortogonal do NDBI em relação aos demais elementos sugere que as influências humanas atuam sobre a paisagem de maneira estrutural e relativamente independente das variáveis climáticas analisadas.

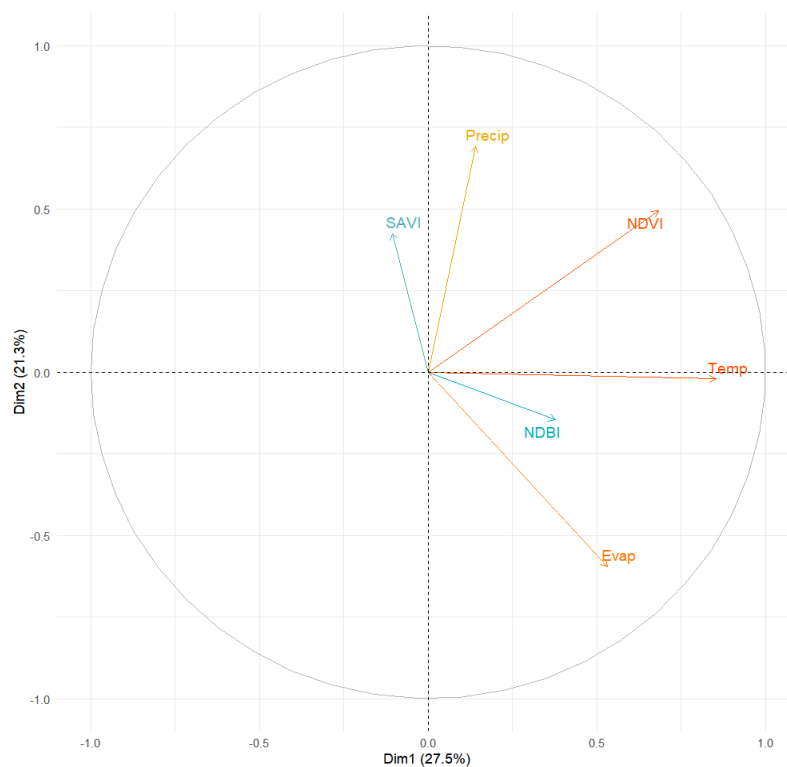


Figura 14- Análise em Componentes Principais (ACP) dos índices espectrais e fatores climáticos Floresta de *Pinus* no Haiti em 2000-2020.

As relações identificadas entre os fatores climáticos e os índices espectrais revelam mecanismos subjacentes essenciais para compreender a dinâmica ecológica em ecossistemas tropicais. A correlação positiva entre o NDVI e a precipitação confirma o papel determinante da água no suporte à produtividade vegetal, as florestas tropicais úmidas dependem fortemente da precipitação para manter sua atividade fotossintética e sua densidade de biomassa (ACHARD e al. 2002).

A relação entre o NDVI e a temperatura, embora significativa, apresenta um efeito mais sutil. Temperaturas moderadas podem favorecer o crescimento vegetal ao aumentar a eficiência dos processos metabólicos, especialmente em ambientes com temperaturas relativamente baixas. No entanto, temperaturas excessivamente altas, típicas de zonas tropicais, amplificam o estresse hídrico, resultando em uma redução da atividade vegetal. A posição específica do NDBI na ACP evidencia as dinâmicas antropogênicas na região estudada.

Diferentemente dos índices espectrais relacionados à vegetação, o NDBI reflete influências humanas, como a urbanização e as mudanças no uso do solo, de forma independente das variações climáticas. Os resultados observados neste trabalho corroboram estudos anteriores que demonstraram o impacto crescente da urbanização sobre a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas tropicais (GONZÁLEZ e RAMÍREZ, 2012).

Os resultados destacam a importância da precipitação como o principal motor da dinâmica vegetal, enquanto a temperatura atua como um modulador cujo efeito depende das condições locais. Além disso, as pressões antropogênicas, embora menos influenciadas pelos fatores climáticos, desempenham um papel significativo na transformação da estrutura ecológica da Floresta de Pinus. Essas conclusões reforçam a necessidade de uma gestão integrada dos recursos naturais para garantir a resiliência e a sustentabilidade deste ecossistema diante das pressões climáticas e humanas.

6. CONCLUSÕES

Este estudo identificou transformações no uso e ocupação da terra na Unidade 2 da Floresta de Pinus, no Haiti. Essas mudanças estão relacionadas principalmente à intensificação das atividades humanas, como a agricultura e o desmatamento, bem como à influência de fatores climáticos, como a variação das precipitações e o aumento das temperaturas. Ao longo do período avaliado, observou-se uma progressiva substituição das formações naturais por áreas antropizadas, refletindo padrões de urbanização e alteração do uso do solo.

As análises dos índices espectrais reforçaram essa tendência ao revelarem a diminuição da vegetação e o avanço das áreas antropizadas. A variação dos índices indicou modificações estruturais importantes na paisagem, com impactos sobre a cobertura vegetal. Além disso, as variáveis climáticas, em especial a precipitação e a temperatura, mostraram-se determinantes para a dinâmica da vegetação local, atuando de forma complementar aos processos antrópicos.

Os resultados obtidos demonstram a complexidade das interações entre fatores naturais e ações humanas na configuração espacial da região. Diante disso, destaca-se a importância de políticas públicas voltadas à gestão territorial sustentável, que integrem práticas de conservação ambiental, uso racional do solo e adaptação às mudanças climáticas.

Por fim, o uso de tecnologias de sensoriamento remoto mostrou-se eficaz para o monitoramento e a compreensão das transformações ambientais, oferecendo suporte técnico e científico fundamental para a formulação de estratégias de planejamento e conservação da paisagem em escala regional.

7. REFERÊNCIAS

ACHARD, F., EVA, H. D., STIBIG, H.-J., MAYAUX, P., GALLEGOS, J., RICHARDS, T., & MALINGREAU, J.-P. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. **Science**, 297(5583), 999-1002, 2002.

ALVES, R.; OLIVEIRA, T.; LOPES, M. Modelagem espacial para previsão do desmatamento e análise dos fatores ambientais. **Journal of Environmental Modeling**, v. 48, n. 2, p. 39-50, 2020.

ASNER, G. P., KNAPP, D. E., BROADBENT, E. N., OLIVEIRA, P. J. C., KELLER, M., & SILVA, J. N. (2005). Selective logging in the Brazilian Amazon. **Science**, 310(5747), 480-482, 2005.

BENZ, U.; HOFMANN, P.; WEIDNER, M. A utilização de geotecnologias no monitoramento do desmatamento: uma revisão das ferramentas e métodos atuais. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 5, p. 123-134, 2021.

CHAVEZ, P. S. et al. Remote sensing for environmental monitoring and assessment of forest resources in tropical regions. **Forest Ecology and Management**, v. 204, n. 1, p. 1-18, 2005.

DALLEO, R. Regionalism, Imperialism, and Sovereignty: West Indies Federation and the Occupation of Haiti. **Small Axe: A Caribbean Journal of Criticism**, v. 24, n. 1, p. 61-68, 2020.

DIAMOND, J. Collapse: How societies choose to fail or succeed. **New York: Viking Press**, 2005.

EMANUEL, K.; JEAN-BAPTISTE, L. Reforestation and land conservation strategies in Haiti: Challenges and opportunities. **International Journal of Environmental Policy**, v. 27, n. 2, p. 95-112, 2020.

FEARNSIDE, P., NOBRE, C., & BARBOSA, R. Agricultural expansion and deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Environmental Studies**, (2018).

GORELICK, N. et al. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017.

HANSEN, M. C. et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **Science**, v. 342, n. 6160, p. 850-853, 2013.

HEDGES, S. B.; COHEN, W. B.; TIMYAN, J. Deforestation and environmental degradation in Haiti: Causes and consequences. **Journal of Caribbean Ecology**, v. 34, n. 1, p. 45-63, 2018.

HELVETAS. Tous ensemble pour les aires protégées, 2009. HAITI. Disponível em: <<https://www.helvetas.org/fr/haiti/ce-qu-on-fait/comment-on-travaille/nos-projets/amerique-latine/haiti/CoGAP-Belle%20Anse-Haiti>>. Acesso em: 6 set. 2023.

HENRY, L. S. The Response of the African American Press to the United States Occupation of Haiti, 1915-1934, 2018.

HUETE, A. R. et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, 2002.

ILIONOR, L. **Combattre le déboisement ou les inégalités sociales ?** 2008.

JEAN, D. Analyse des impacts de la coupe arbitraire et intensive des arbres sur les systèmes de cultures (cas de Bois-de-lance, Cap-Haïtien, Haïti). 2020. Mémoire (**Fin d'études**) – Université Quisqueya.

JEAN-PIERRE, J. et al. Reboiser les terres dégradées pour augmenter les stocks de carbone et d'azote du sol et lutter contre les changements climatiques en Haïti 2024, **Université de Sherbrooke**.

KAIMOWITZ, D.; PAUPITZ, J.; NYGREN, A. **Forests, Policies and People on the Central American Agricultural Frontier**, p. 247–253, 1999.

KOOHAFKAN, A. P.; LILIN, CH. Arbres et arbustes de Haïti: utilisation des espèces ligneuses en conservation des sols et en aménagement des bassins versants. **Rome: FAO**, 1989.

LEE, Y. J., CHOI, H. S., PARK, K. W., & KIM, T. H. Deforestation and its impacts on biodiversity in tropical forests. **Journal of Ecological Economics**, 2019.

LILLESAND, T.; KIEFER, R.; CHIPMAN, J. **Remote sensing and image interpretation**. 7. ed. New York: John Wiley & Sons, 2015.

LIMA, N. A; NICELLE A. S; OLIVEIRA, L. M; XAVIER, M. L. P. NASCIMENTO, E. F. Índices Espectrais por Sensoriamento Remoto com os Satélites LANDSAT-5 e SENTINEL-2 no entorno do reservatório Poço da Cruz - PE. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, n. 5, p. 299, 2019.

LOPEZ, M., FERNANDEZ, J., RAMIREZ, D., & CASTILLO, F. (2021). Water resource management in Colombian buffer zones: Balancing conservation and community needs. **Journal of Tropical Environmental Studies**, 2021.

LÓPEZ, R.; GARCÍA, A.; TORRES, M. Land use change and deforestation in the Caribbean region: Causes and consequences. **Environmental Science Journal**, v. 45, n. 2, p. 120-135, 2020.

LUCILE, M, A. S. The Real Story of Haiti's Forests. **Changing the narrative around deforestation and charcoal in Haiti**, 2017.

LUNDAHL, M. The political economy of disaster: **Destitution, plunder and earthquake in Haiti**. London: Routledge, 2013.

MAHAMAN, M., ADAMOU, A., & OUMAROU, A). Impact des variations climatiques sur la dynamique du couvert végétal en zone sahélienne. **Revue Africaine des Sciencesdel’Environnement**,(2022,14(2),85-98.

RAKOTOARISOA, A. "Agricultural Pressure and Forest Loss in Madagascar's Buffer 2018, p.12-24 Zones." **African Journal of Environmental Science and Technology**.

MARESMA, A. Accuracy of NDVI-derived corn yield predictions is impacted by time of sensing. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 169, p. 105-236, 2020.

MARTINEZ, F., SANTOS, G., & OLIVEIRA, M. Ecological succession and ecosystem resilience following disturbance in tropical forests. **Global Ecology and Biogeography**, 2017.

MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ, E., & GARCÍA, C. M. Influencia del cambio climático en la productividad vegetal: Un análisis basado en NDVI y temperatura. **Revista de Ecología y Cambio Global**, (2016, p- 22(4), 215-230.

MARYLYNN E. S. **Agrarian Change and Peasant Prospects in Haiti**. 2014.

MCCLINTOCK, N.; TAYLOR, J.; MULLANEY, E. Agricultural land use change and soil erosion in Haiti: A socio-environmental perspective. **Land Degradation & Development**, v. 31, n. 2, p. 78-92, 2020.

MÉZARD, C. **Caractérisation des perturbations anthropiques de la forêt des pins d’Haïti : Cas de l’unité 2**. Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT) 2018, 120 p. Master de spécialisation en production intégrée et préservation des ressources naturelles en milieu urbain et péri-urbain) – Université de Liège.

MILLER, S.; RIVERA, J. Urban expansion and land use transformation in Caribbean cities. **Journal of Urban Planning**, v. 33, n. 4, p. 540-555, 2019.

MURIELLE M, P. D. D. L. V. A. Modélisation spatiale des dynamiques d’occupation du sol agricole en Guadeloupe (Antilles Françaises). 2016.

MYCOO, M.; JOHNNY, C. Sustainable land management strategies for Caribbean islands. **Journal of Environmental Policy**, v. 22, n. 1, p. 55-70, 2018.

NOUI, H., BENSLIMANE, M., & KHELIFA, A. Urban expansion and its effects on buffer zones in Annaba, Algeria. **Journal of Urban Planning and Development**, 2023.

NUNO, L. Análise Fisiográfica com QGIS (tutorial). Relevo, hipsometria, declives e exposição de encostas, 2016..

PÉREZ, R.; FONTAINE, Y.; SMITH, L. Climate change and forced migration in Haiti: Implications for land use and urban planning. **Climate and Society**, v. 15, n. 1, p. 120-138, 2022.

PETTORELLI, N. et al. The role of remote sensing in the study of biodiversity and ecosystem processes. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 1, n. 5, p. 1-13, 2014.

PIERRE, J.; JOSEPH, P.; MORISSET, A. Mining and land degradation in Haiti: Impacts on biodiversity and water resources. **Environmental Research Journal**, v. 28, n. 4, p. 350-368, 2019.

RAMÍREZ-GONZÁLEZ, J., & LÓPEZ-CANO, R. Evaluación de la relación entre NDVI y temperatura en ecosistemas tropicales. **Investigaciones Geográficas**, 2017, p-69, 45-60.

RICHARDSON, B. Agricultural change and deforestation in the Caribbean: A historical perspective. **Journal of Caribbean Studies**, v. 29, n. 1, p. 15-32, 2017.

RODRIGUEZ, L., ESPINOZA, R., & MORALES, P. Challenges to buffer zones in Puerto Rico: Urban and agricultural expansion into protected areas. **Caribbean Ecology Review**, 2020.

ROMAIN FRELAT. PROJET BASSINS VERSANTS EN HAÏTI – **PHASE I: Description spatiale des bassins versants Haïtiens**, 2012.

SAJID, R., KHAN, M. A., IQBAL, Z., HUSSAIN, T., & FAROOQ, S. Urban development and its impact on buffer zones in Punjab, Pakistan. **Asian Environmental Journal**, (2022).

SALOMON, W ; SIKUZANI, Y. U; KOUAKOU, A. T. M; BARIMA, Y. S. S; JOSEPH, K. H; THEODAT, J. M; BOGAERT, J. D. Dynamique paysagère du Parc National Naturel de la Forêt des Pins en Haïti (1973- 2018). **Tropicultura**, n. 2, 21 maio 2021.

SCOTT, D.; GÖSSLING, S. Tourism development and environmental challenges in the Caribbean. **Coastal and Marine Studies**, v. 18, n. 2, p. 200-215, 2020.

SELEIMAN, M. F., AL-SUHAIBANI, N., ALI, N., AKMAL, M., & SHAMI, A. Climate change impacts on agroecosystems and potential adaptation measures: **A review. Agronomy**, 2021, p-11(4), 734.

SHELLER, M. Urban expansion and land use challenges in Port-au-Prince: Implications for disaster risk reduction. **Journal of Urban Studies**, v. 40, n. 3, p. 210-229, 2021.

SILVA, A. M. DA; RODGERS, J. Deforestation across the World: Causes and Alternatives for Mitigating. **International Journal of Environmental Science and Development**, v. 9, n. 3, p. 67–73, 2018.

SMITH, M. J. Capture Land: **Jamaica, Haiti, and the United States Occupation**. **Journal of Haitian Studies**, v. 21, n. 2, p. 181–206, 2016.

SOUZA, C. M., SHIMBO, J. Z., ROSA, M. R., PARENTE, L. L., ALENCAR, A. A., RUDORFF, B. F. T., HASENACK, H., MATSUMOTO, M., FERREIRA, L. G., & AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, 2018.

SOUZA, D. S, L. Assessment of changes in land use and occupation on the hydrological regime of a basin in the west of Bahia. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 123, p. 104-218, 2023.

TAPPAN, G. G., intitulado "Vegetation Dynamics in West African Sahel and the Influence of Conservation Practices", foi publicado no periódico **African Journal of Ecology**, 2016.

TAYLOR, M.; STEPHENSON, T.; CHEN, A. Climate change and land use interactions in the Caribbean: Impacts on ecosystems and agriculture. **Climate and Environment**, v. 12, n. 3, p. 90-108, 2021.

THIERRY, B., DUPONT, L., & LAURENT, J. Effets de la variabilité climatique sur la couverture végétale : Une approche basée sur l'analyse du NDVI. **Journal de Climatologie et Environnement**, p-15(3), 112-127, 2018.

TOOCHI, E. C. Forest Biodiversity Degradation: Assessment of Deforestation in Ohaji Egbema Forest Reserve, Imo State, Nigeria Using GIS Approach. **Open Access Journal of Biogeneric Science and Research**, v. 10, n. 5, 2 fev. 2022.

TROUILLOT, M.-R. Haiti, State against Nation: **The origins and legacy of Duvalierism**. New York: Monthly Review Press, 1990.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.

VARGAS, W. A. et al. Use of remote sensing and GIS for monitoring land use change in tropical regions. **Journal of Land Use Science**, v. 13, n. 4, p. 376-391, 2018.

WASELIN, S. Y. U. S. A. T. M. K. S. C. K. J.-P. B. J. B. **Caractérisation de la dynamique de l'occupation du sol en zone urbaine et périurbaine de la ville du Cap-Haïtien (Haïti) de 1986 à 2017**. 2019.

ZHU, Z. et al. Improved forest monitoring using Landsat time series data. **Remote Sensing of Environment**, v. 186, p. 64-73, 2016.