



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

NOELY SILVA VIANA

**GEOTECNOLOGIAS E ATRIBUTOS DOS SOLOS PARA ANÁLISE AMBIENTAL
DE UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NO SEMIÁRIDO**

**FORTALEZA
2024**

NOELY SILVA VIANA

GEOTECNOLOGIAS E ATRIBUTOS DOS SOLOS PARA ANÁLISE AMBIENTAL DE
UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NO SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientadora: Prof.^a Dra. Isabel Cristina da Silva Araújo.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V668g Viana, Noely Silva.
Geotecnologias e atributos dos solos para análise ambiental de unidade de conservação no semiárido /
Noely Silva Viana. – 2024.
86 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2024.
Orientação: Profa. Dra. Isabel Cristina da Silva Araújo.

1. Reserva Particular do Patrimônio Natural. 2. Análises físico-químicas. 3. Carbono orgânico total. I.
Título.

CDD 630

NOELY SILVA VIANA

GEOTECNOLOGIAS E ATRIBUTOS DOS SOLOS PARA ANÁLISE AMBIENTAL DE
UNIDADE DE CONSERVAÇÃO NO SEMIÁRIDO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Aprovada em: 18/03/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Isabel Cristina da Silva Araújo (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Tadeu dos Santos Dias
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Janaina Melo Oliveira
Universidade Aberta do Brasil (UAB/UECE)

A Deus.

Aos meus pais, Adriana e Walberto.

As minhas irmãs, Beatriz e Júlia.

AGRADECIMENTOS

Sempre acho válido relembrar o começo da caminhada, como um sonho tornou-se realidade, pois é isso que o mestrado representa para mim. Agradeço a Deus, que me guiou até aqui e por me permitir viver tantas coisas boas ao longo dessa trajetória.

Se não fosse os meus pais, Adriana e Walberto, dedicando-se desde o princípio para que a educação fosse possível e de qualidade, batalhando para tal, me incentivando e me apoiando a cada momento.

Se não fosse as minhas irmãs, Beatriz e Júlia, ofertando um ombro amigo, consolo, parceria e amor infinito. Sem esquecer do quanto elas acreditam em mim, mal sabem que é por elas que dou o meu melhor sempre.

Se não fosse o Nicolas Gustavo, meu noivo, que tanto me apoia e faz parte da realização das minhas conquistas.

Se não fosse os meus amigos, conquistados ao longo dessa trajetória do mestrado, Josiana, Fernanda Helena, Bruno Gabriel, Felipe Augusto e Valéria, que tornaram essa etapa mais leve, cheia de amor, aconchego e nunca me deixaram achar que estava sozinha, podendo sempre recorrer para pedir ajuda, desabafar, ir tomar um café juntos e rir até esquecer dos problemas.

Agradeço aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola, que tanto contribuíram na minha formação profissional, em especial à Prof.^a Dra. Isabel Cristina da Silva Araújo, pela excelente orientação, conversas e aprendizados, obrigada por tanto.

Ao Prof. Dr. Fernando Bezerra Lopes, membro da banca, pelo incentivo, apoio e auxílio nesta jornada.

Ao Prof. Carlos Tadeu dos Santos Dias, membro da banca, que fez valiosas contribuições e com toda paciência do mundo me ajudou e sanou minhas dúvidas.

A prof.^a Dra. Janaina Melo Oliveira, membro da banca, a quem tenho tanto apreço, amor e carinho, obrigada pela colaboração e parceria.

Agradeço ao Francisco José e Amilson, técnicos de laboratórios do Departamento de Ciência do Solo – UFC, por toda assistência com as minhas análises.

À Instituição Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FUNCAP, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de mestrado, a qual possibilitou a realização dessa pesquisa.

“Em minha opinião, o que ele queria dizer era que o perigo não era tanto a morte, mas a alienação permanente do intelecto.” (Brontë, 1847, p. 137)

RESUMO

Ao falar do Semiárido Brasileiro, as preocupações surgem em detrimento das características singulares associadas a ações antrópicas degradadoras, como práticas agrícolas inadequadas, queimadas e desmatamentos. Pautado na problemática da degradação, urgente necessidade de proteção e recuperação, a implementação e correta gestão de unidades de conservação (UCs) se mostra como estratégia importante, e, partindo desse pressuposto, tem-se como exemplo a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Não Me Deixes, situada no município de Quixadá, Ceará. Assim, os objetivos deste trabalho foram caracterizar físico-quimicamente três áreas com diferentes usos e ocupação da RPPN e da Fazenda, sendo elas: mata nativa (MN), área degradada em regeneração (AR) e agricultura (AG), bem como identificar o uso e ocupação do solo por meio de geotecnologias, de forma a observar os efeitos a longo prazo da UC. Ao longo da pesquisa realizou-se visitas de campo nas áreas de estudo para coletar amostras de solo e pontos de localização, de modo que foram feitas análises de densidade do solo (Ds), classificação textural, carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (N), pH, condutividade elétrica (CE), fósforo (P), sódio (Na), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), acidez potencial e alumínio (Al). Além do processo em laboratório, também foram executadas geotecnologias, como o NDVI e a Classificação Supervisionada, ambas no software QGIS versão 3.16.16. Finalizadas as análises em laboratório, técnicas estatísticas foram aplicadas, como a Análise de Componentes Principais (ACP), Análise de Função Discriminante Canônica (ADC), Análise Multivariada da Variância (MANOVA) e Teste de Tukey no software SAS® versão livre. A ADC demonstrou que as áreas estão separadas em grupos com base nos atributos químicos, a MANOVA rejeitou a hipótese nula de que todas as áreas possuem o mesmo vetor de média, e o teste de Tukey confirmou que AG difere estatisticamente de MN e AR, mas MN e AR não diferem entre si. O NDVI corroborou que houve mudança na área da RPPN ao longo dos anos desde a sua criação, com a diminuição de áreas de solo exposto e o surgimento da classe de vegetação arbustiva semiaberta. A classificação supervisionada teve como resultado cinco classes, incluindo nuvem, água, vegetação densa, vegetação rala e solo exposto.

Palavras-chave: Reserva Particular do Patrimônio Natural; análises físico-químicas; carbono orgânico total.

ABSTRACT

When discussing the Brazilian Semi-Arid region, concerns arise due to its unique characteristics associated with degrading human activities such as inadequate agricultural practices, burning, and deforestation. Addressing the issues of degradation and the urgent need for protection and recovery, the implementation and proper management of conservation units (UCs) are shown to be important strategies. An example is the Private Natural Heritage Reserve (RPPN) Fazenda Não Me Deixes, located in the municipality of Quixadá, Ceará. The objectives of this work were to physicochemically characterize three areas with different uses and occupations within the RPPN and the farm, namely: native forest (MN), degraded area in regeneration (AR), and agriculture (AG). Additionally, it aimed to identify land use and occupation through geotechnologies to observe the long-term effects of the UC. Throughout the research, field visits were conducted in the study areas to collect soil samples and location points. Analyses of soil density, textural classification, total organic carbon, total nitrogen, pH, electrical conductivity, phosphorus, sodium, potassium, calcium, magnesium, potential acidity, and aluminum were performed. Besides laboratory processes, geotechnologies such as NDVI and supervised classification were executed, both using QGIS software version 3.16.16. Upon completion of laboratory analyses, statistical techniques were applied, including Principal Component Analysis (PCA), Canonical Discriminant Function Analysis (CDFA), Multivariate Analysis of Variance (MANOVA), and Tukey's test in the free version of SAS® software. CDFA demonstrated that the areas are grouped based on chemical attributes. MANOVA rejected the null hypothesis that all areas have the same mean vector, and Tukey's test confirmed that AG statistically differs from MN and AR, but MN and AR do not differ from each other. NDVI corroborated changes in the RPPN area over the years since its creation, with a reduction in exposed soil areas and the emergence of semi-open shrub vegetation class. Supervised classification resulted in five classes: cloud, water, dense vegetation, sparse vegetation, and exposed soil.

Keywords: Private Natural Heritage Reserves; physicochemical analyses; total organic carbon.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Delimitação do semiárido brasileiro	17
Figura 2	– Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará	19
Figura 3	– Mapa de localização da Fazenda e RPPN Não Me Deixes, Quixadá – CE, 2024	27
Figura 4	– Mapa de solos da Fazenda e RPPN Não Me Deixes, Quixadá – CE, 2024	28
Figura 5	– Áreas de estudo. (A) área de agricultura na Fazenda Não Me Deixes; (B) área em regeneração na RPPN Não Me Deixes; (C) área de mata nativa na RPPN Não Me Deixes.....	30
Figura 6	– Amostras de solo. (A) amostras de solo secando ao ar na estufa do Departamento de Ciência do Solo, UFC; (B) amostras de solo sendo destorreadas e peneiradas.	32
Figura 7	– Gráfico Biplot da matriz de dados com as variáveis e áreas segundo os componentes principais	53
Figura 8	– Gráfico discriminante para separação das áreas de estudo com elipses de confiança (95%) para os vetores de médias	58
Figura 9	– Teste de Tukey realizado para as áreas	60
Figura 10	– Mapa de NDVI obtido pela Equação 2 para os anos de 1999 e 2009 na RPPN Não Me Deixes, Quixadá, CE.....	61
Figura 11	– Mapa de NDVI obtido pela Equação 2 para os anos de 2019 e 2023 na RPPN Não Me Deixes, Quixadá, CE.....	62
Figura 12	– Mapa de Classificação supervisionada da Fazenda Não Me Deixes, Quixadá, CE.....	66
Figura 13	– Área com vegetação densa na RPPN Não Me Deixes, Quixadá, CE	68
Figura 14	– Área com solo exposto na Fazenda Não Me Deixes, Quixadá, CE.....	69
Figura 15	– Açude pertencente a Fazenda Não Me Deixes, Quixadá, CE.....	70
Figura 16	– Área com vegetação rala na Fazenda (a) e área em regeneração na RPPN (b), Quixadá, CE.....	71
Figura 17	– Área com vegetação rala na RPPN, Quixadá, CE	71
Figura 18	– Trilhas ao longo da RPPN, Quixadá, CE.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Tempo de sedimentação calculado para a fração silte em função da temperatura da suspensão para profundidade de 5 cm para as amostras levantadas na pesquisa.....	33
Tabela 2	– Bandas e comprimento de onda do L5	42
Tabela 3	– Bandas e comprimento de onda do L8	43
Tabela 4	– Bandas e comprimento do L9.....	43
Tabela 5	– Informações referente ao NDVI com o satélite, data de cena e banda....	43
Tabela 6	– Classes e descrição determinadas para a classificação supervisionada dos dados da pesquisa.....	44
Tabela 7	– Bandas S2A, resolução e comprimento de onda para o cálculo do NDVI	44
Tabela 8	– Resultado das análises físico-químicas das variáveis segundo as camadas e áreas	47
Tabela 9	– Autovetores das componentes principais	54
Tabela 10	– MANOVA e aproximações F para todas as áreas.....	56
Tabela 11	– MANOVA e aproximações F para o contraste AG vs AR.....	57
Tabela 12	– MANOVA e aproximações F para o contraste AG vs MN.....	57
Tabela 13	– MANOVA e aproximações F para o contraste AR vs MN.....	57
Tabela 14	– Coeficientes Canônicos para a análise discriminante.....	59
Tabela 15	– Classificação do NDVI.....	62
Tabela 16	– Classificação obtida com NDVI para os anos de 1999, 2009, 2019 e 2023 da área da RPPN.....	62
Tabela 17	– Classificação gerada pelo plugin AcATaMa.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AcATaMa	<i>Accuracy Assessment of Thematic Maps</i>
ACP	Análise de Componentes Principais
ADC	Análise de Função Discriminante Canônica
AG	Área com agricultura
AR	Área em regeneração
Ca	Cálcio
CAN	Canônica
CE	Condutividade elétrica
COT	Carbono orgânico total
CP1	Componente principal 1
CP2	Componente principal 2
CTC	Capacidade de troca de cátions total
DN	Digital number
Ds	Densidade do solo
K	Potássio
L5	Landsat 5
L8	Landsat 8
L9	Landsat 9
MANOVA	Análise Multivariada de Variância
Mg	Magnésio
MN	Área de mata nativa
MO	Matéria orgânica
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
P	Fósforo
RPPN	Reservar Particular do Patrimônio Natural
SB	Soma de bases trocáveis
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
S2A	Sentinel 2A
T	Capacidade de troca de cátions total

TFSA	Terra fina seca ao ar
UC	Unidade de Conservação
USGS	United States Geological Survey
V%	Saturação de bases em porcentagem

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos.....	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1	O Semiárido brasileiro e a degradação do solo	17
3.2	Parâmetros de qualidade do solo	20
3.3	Unidades de conservação e a recuperação de áreas degradadas	21
3.4	Uso de Geotecnologias.....	24
4	MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1	Área de estudo	27
4.2	Caracterização das áreas analisadas	29
4.3	Histórico	30
4.3.1	<i>Criação da RPPN Fazenda Não Me Deixes</i>	30
4.3.2	<i>Situação atual da RPPN.....</i>	30
4.4	Amostragem	31
4.5	Preparo das amostras de solo para análise	31
4.6	Caracterização física das amostras.....	32
4.6.1	<i>Densidade do solo.....</i>	32
4.6.2	<i>Análise granulométrica.....</i>	32
4.7	Caracterização química das amostras	34
4.7.1	<i>Medição do carbono orgânico total (COT).....</i>	34
4.7.2	<i>Medição do nitrogênio total</i>	35
4.7.3	<i>pH e CE.....</i>	36
4.7.4	<i>Fósforo disponível</i>	36
4.7.5	<i>Medição do Na e K</i>	37
4.7.6	<i>Determinação da Acidez Potencial</i>	37
4.7.7	<i>Medição do Alumínio trocável</i>	38
4.7.8	<i>Medição de Ca e Mg</i>	38
4.7.9	<i>Determinação do Valor S – Soma de Bases Trocáveis.....</i>	39
4.7.10	<i>Determinação do Valor T – CTC Total (Capacidade de Troca de Cátions Total).....</i>	39

4.7.11	<i>Determinação do Valor V (Percentagem de Saturação por Bases)</i>	39
4.8	Análise Estatística	40
4.9	Ambiente SIG	41
4.9.1	<i>Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)</i>	41
4.9.2	<i>Classificação Supervisionada</i>	43
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
5.1	Caracterização das áreas analisadas	47
5.2	Estatística	52
5.2.1	<i>Análise de Componentes Principais</i>	52
5.2.2	<i>MANOVA</i>	56
5.2.3	<i>Análise de Função Discriminante Canônica</i>	58
5.3	<i>Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)</i>	60
5.4	Classificação Supervisionada	65
6	CONCLUSÃO	73
	REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira é formada por 1477 municípios, contemplando os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo. Possui características singulares que permitem identificá-la, como regime de chuvas marcado pela irregularidade, precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 mm, altas taxas de evapotranspiração, índice de aridez até 0,5% e risco de seca maior que 60% (IBGE, 2022; INSA, 2023).

No entanto, engana-se quem pensa que esta é uma região desprovida de belezas naturais e inóspita, pois mesmo com os riscos de escassez hídrica, também é marcada por monções torrenciais, proporcionando água aos rios intermitentes e vigor à vegetação. A vegetação típica é a caatinga, adaptada às condições de sazonalidade e altas temperaturas, marcada por elevada riqueza de espécies, apresentando mais de onze mil espécies vegetais catalogadas e constituída por leguminosas, gramíneas, euphorbiáceas, bromeliáceas e cactáceas (Lima *et al.*, 2019; INSA, 2023).

Ao falar do semiárido, as preocupações surgem, na maioria das vezes, em detrimento das suas características somadas às ações antrópicas, como queimadas, desmatamentos, práticas agrícolas inadequadas, sobrepastoreio, dentre outras atividades. Estas ações causam, por sua vez, suscetibilidade à degradação ambiental, a qual, de acordo com a legislação, pode ser definida como a alteração adversa das características do meio ambiente, ou seja, são atividades que podem vir a causar comprometimento e/ou esgotamento dos recursos naturais (Brasil, 1981).

Documentadamente, a caatinga, quando comparada com outros biomas, apesar do elevado grau de endemismo, é pouco estudada e negligenciada no cenário de políticas públicas de conservação, que por vezes priorizaram as florestas úmidas (Paiva *et al.*, 2021). Nesse contexto, baseado na problemática da degradação, urgente necessidade de proteção e recuperação, a implementação e o devido manejo de unidades de conservação (UCs) se mostra como estratégia importante.

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) define as UCs como áreas com características naturais relevantes, criadas e protegidas pelo Poder Público com objetivos de conservação ambiental, englobando recursos como atmosfera, águas interiores, superficiais e subterrâneas, estuários, mar territorial, solo, subsolo, elementos da biosfera, fauna e flora. As UCs são instituídas com limites definidos, visando à preservação, uso sustentável e recuperação dos ambientes naturais (Brasil, 2000).

No entanto, dados da literatura apontam que menos de 10% da extensão da caatinga encontra-se protegida e que a maioria das UCs instituídas são pequenas, necessitando de ampliação (Paiva *et al.*, 2021). Para além disso, não se deve esquecer da problemática da ausência de pesquisas, destacando que a produção científica impacta de forma positiva na elaboração de documentos que podem direcionar as ações a serem executadas.

Ainda com base no SNUC, ressalta-se como benefícios dessas unidades a contribuição para a manutenção da diversidade biológica, proteção de espécies ameaçadas de extinção, paisagens naturais, características de natureza geológica e geomorfológica, recuperação e restauração de ecossistemas degradados, promoção da educação e consciência ambiental, dentre outros (Brasil, 2000).

Então partindo do pressuposto da importância de UCs, tem-se como exemplo no estado do Ceará a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Não Me Deixes, situada no município de Quixadá, composta pela vegetação caatinga e instituída com o propósito de proteger a fauna e flora, abrangendo cerca de 300 hectares.

Assim, o intuito foi realizar a caracterização físico-química do solo em diferentes áreas da RPPN e da Fazenda, de forma a observar os efeitos de conservação do solo da UC a longo prazo e como essas áreas se diferenciam daquelas em constante uso. Logo, a hipótese é que a implementação e o manejo de uma UC favorece a regeneração e o processo de recuperação de áreas degradadas, bem como promove o aumento do teor de carbono orgânico total, alterando de maneira significativa os parâmetros físico-químicos do solo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a conservação do solo em diferentes usos e ocupações em uma Fazenda e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) no semiárido brasileiro.

2.2 Objetivos específicos

1. Caracterizar físico-quimicamente três áreas distintas em termos de uso e ocupação do solo: mata nativa, área em regeneração e área agrícola.
2. Utilizar Sensoriamento Remoto e geoprocessamento, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a classificação supervisionada, para caracterizar e identificar os diferentes usos e ocupações do solo.

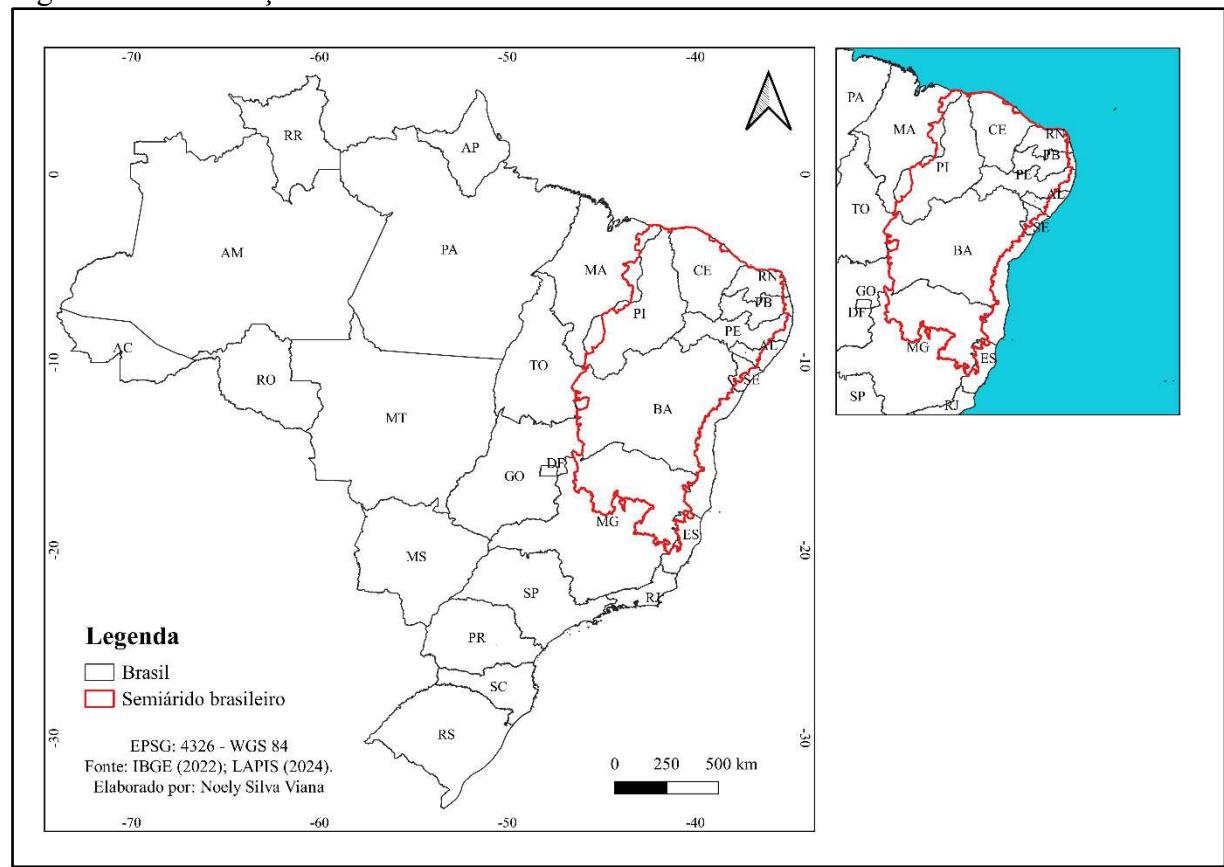
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O Semiárido brasileiro e a degradação do solo

A singularidade da região semiárida é um conjunto de atributos climático, hidrológico e ecológico, marcada por chuvas escassas, periódicas e irregulares, com média de ≤ 800 mm ano $^{-1}$, elevadas taxas mensais e anuais de insolação e evaporação, e uma vegetação com extremos que atua como um verdadeiro termômetro dessa área (Ab'Sáber, 2007; Lucena; Ferrer, Guilhermino, 2021; Silva *et al.*, 2010).

A região é composta por 1.477 municípios, incluindo os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo (IBGE, 2022). A delimitação da região está disposta na Figura 1.

Figura 1 – Delimitação do semiárido brasileiro



Fonte: Autora (2024).

A vegetação típica é a caatinga, adaptada à forte sazonalidade das chuvas e altas temperaturas, arbórea-arbustiva, caducifólia, espinhosa e recorrente em áreas com baixas altitudes. Quando comparada com vegetações de outros semiáridos, a caatinga é considerada uma das mais diversas, no entanto, tem sofrido com a pressão humana, estando entre as

atividades degradadoras o uso da madeira como fonte de energia, a pecuária extensiva e o desmatamento para a expansão da agricultura (Lima *et al.*, 2019).

Ao falar de atividades que causam impactos negativos, é importante salientar que a degradação ocorre quando se torna inviável a adaptação às características físicas, químicas e biológicas, impossibilitando o desenvolvimento socioeconômico (IBAMA, 1990). Além disso, há a redução ou perda nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, da produtividade biológica, econômica, áreas de florestas e mata nativa em virtude dos sistemas de utilização da terra ou combinação de processos, incluindo aqueles provenientes das atividades antrópicas e suas formas de ocupação no território (Brasil, 1998).

O uso inadequado da terra na região semiárida, a exemplo dos sistemas agrícolas convencionais, quando associados as características climáticas tem ocasionado degradação ambiental, tendo em vista que prepondera a agricultura familiar, geralmente em pequenas propriedades, a qual é baseada na queima da vegetação nativa e preparo do solo em conjunto com a pecuária extensiva (Medeiros *et al.*, 2023; Medeiros *et al.*, 2020).

Santana *et al.* (2022) pontuaram que o crescimento populacional gera uma maior demanda na produção de alimentos, o que por sua vez, acarreta mudanças no uso da terra. Esse cenário é ainda mais crítico no semiárido, onde a vegetação nativa é comumente utilizada para produção de madeira, conforme ressaltado anteriormente, fonte de alimento para gado e substituída por culturas de sequeiro.

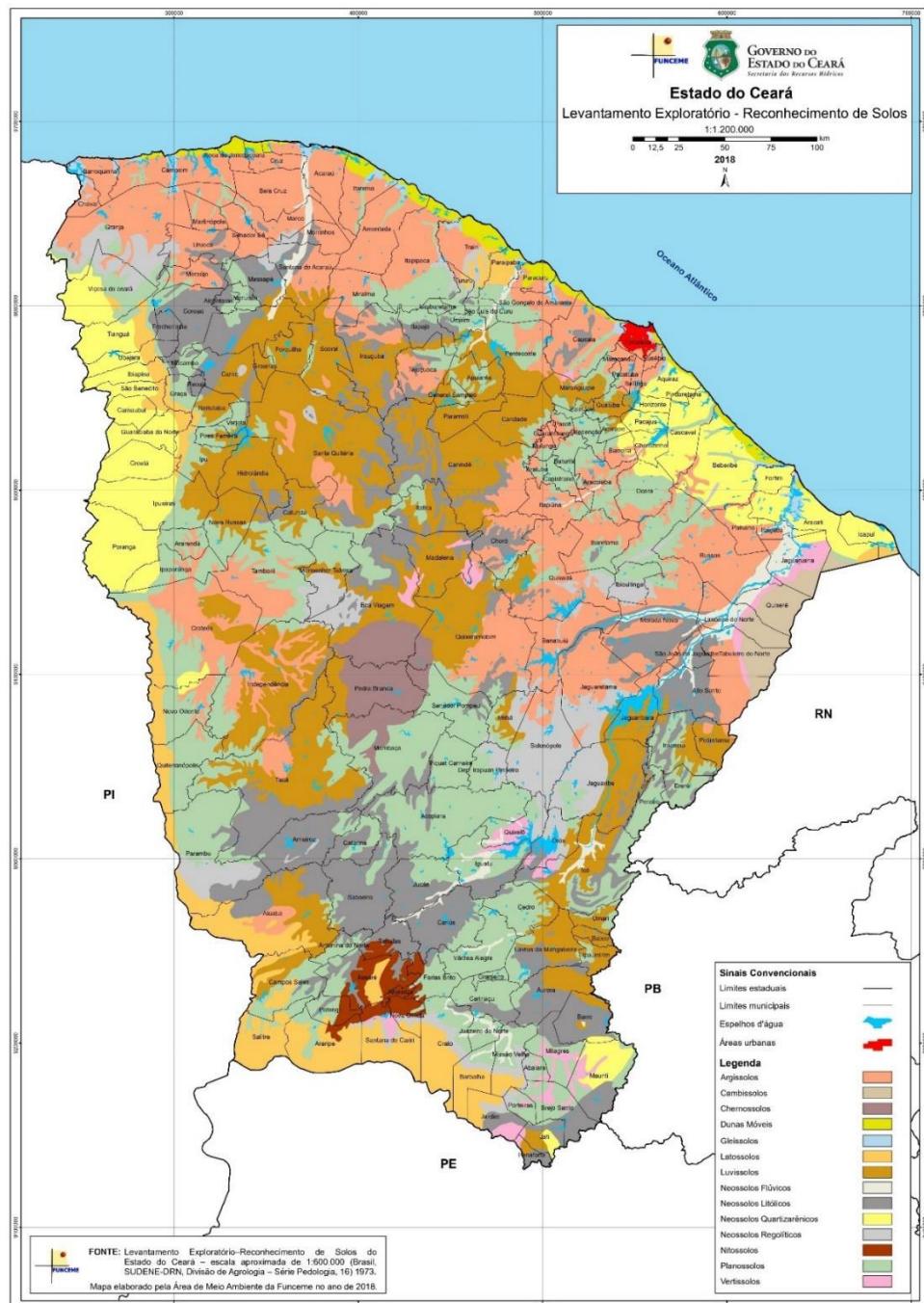
Com a retirada da vegetação para as ações citadas anteriormente, o solo desnudo fica exposto, cria uma crosta superficial em razão do impacto direto das gotas de chuva, e consequentemente, com um solo desprotegido, há vulnerabilidade à erosão, aumento de enxurradas e redução da infiltração da água (Galindo, 2007).

Os solos da caatinga apresentam elevada variabilidade quando comparado a outros do país, originando-se de duas formações geológicas principais, sedimentar e cristalina. A respeito da primeira, quase todos os solos são antigos, bem drenados, intemperizados e variam menos que os cristalinos. Já os solos do cristalino são provenientes do antigo escudo cristalino pré-cambriano expostos à erosão geológica, responsável por formar a grande depressão sertaneja, cristas, inselberges e serras intermediárias e baixas. De maneira geral, são solos que variam bastante em termos de profundidade, textura e capacidade de retenção de água (Silva *et al.*, 1993 *apud* Sampaio, 2010).

Araújo Filho (2013) explica que os solos da região semiárida são quimicamente adequados, mas no contexto físico possuem limitações em virtude de pouca profundidade e afloramentos rochosos. No que diz respeito as classes de solo, o autor pontua seis classes que

cobrem cerca de 86,6% da área do semiárido, sendo estas: Latossolos, Neossolos litólicos, Argissolos, Luvissolos órticos crônicos, Neossolos quartzarênicos e Planossolos hápicos. Ab'Sáber (1974) também destaca que quando comparado a solos de outras regiões semiáridas, os solos dos sertões nordestinos são mais ricos em massa e importância agropastoril. Dessa forma, através da Figura 2 é possível visualizar os solos do estado do Ceará.

Figura 2 – Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado do Ceará



Fonte: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCME), 2018.

3.2 Parâmetros de qualidade do solo

Com o passar dos anos, estudos voltados para a qualidade do solo tem se tornado cada vez mais frequentes, isso se dá em virtude da observação de diferentes fatores que podem vir a causar a degradação do solo (Silva *et al.*, 2020). Nesse sentido, alguns trabalhos realizados na região semiárida têm demonstrado que a composição das comunidades microbianas diminuiu por conta dos processos de degradação, o que pode influenciar de forma negativa na dinâmica do carbono (Pereira *et al.*, 2022). Outras pesquisas elucidam a importância da preservação da vegetação nativa, tendo em vista que o processo de conversão de áreas naturais em campos agrícolas culmina na redução dos estoques de nitrogênio (Santos *et al.*, 2021).

Assim, a qualidade do solo pode ser conceituada como a capacidade de funcionamento dele, objetivando produtividade biológica, qualidade ambiental, saúde vegetal e animal, sendo mensurada por meio de indicadores físicos, químicos e biológicos, de tal maneira que os indicadores são atributos que avaliam ou refletem a condição de sustentabilidade de determinado ecossistema (Araújo; Monteiro, 2007). Thakur e Sharma (2019) apontaram que o solo apresenta propriedades físicas, químicas e biológicas, as quais interagem de forma complexa para proporcionar a sua devida qualidade.

Cabe reforçar que não é possível medir diretamente a capacidade de conservação do solo, mas esta pode ser observada por meio das mudanças de seus atributos, os quais podem ser mensurados por meio do campo, amostragem, sensoriamento remoto e conjunto de informações existentes. A respeito de indicadores químicos de qualidade do solo, tem-se o pH, condutividade elétrica, matéria orgânica (MO) e nutrientes. Os indicadores físicos envolvem o acompanhamento da estrutura do solo por meio do tamanho dos poros, distribuição, estabilidade de agregados, densidade, dentre outros (Thakur; Sharma, 2019).

Lira *et al.* (2012) observaram que os indicadores químicos do solo são relevantes tanto para o contexto agronômico quanto para o ambiental, cabendo a divisão em quatro classes: a) indicadores do comportamento do solo (pH, CE e carbono orgânico); b) indicadores da capacidade do solo de resistir à troca de cátions (tipo de Argila, CTC, CTA, óxidos de ferro e alumínio); c) indicadores da necessidade de nutrição das plantas (N, P, K, Ca, Mg e micronutrientes); e d) indicadores da contaminação ou poluição (metais pesados, nitrato, fosfato e agrotóxicos).

Cavalcante *et al.* (2021) utilizaram indicadores físicos da qualidade do solo para obter uma avaliação ambiental e do potencial agrícola em diferentes usos da terra, sendo selecionadas áreas de caatinga preservada, caatinga degradada, eucalipto e monocultura de

mandioca, os resultados sugeriram que a preservação da caatinga representa a melhor qualidade do solo.

Corrêa *et al.* (2010) procederam à avaliação dos atributos físicos do solo em diferentes usos sob irrigação no contexto semiárido brasileiro, os quais foram categorizados como: ciclo curto, fruticultura, pastagem, área descartada e vegetação nativa. Destaca-se que área descartada são áreas que eram voltadas para o cultivo agrícola, mas depois de alguns anos foram definidas como impróprias para dar continuidade. Assim, concluiu-se que a área descartada apresentou menor qualidade em função dos atributos relacionados ao manejo, com menor profundidade e maior densidade do solo e que o uso agrícola ocasionou alterações nos atributos quando comparado a vegetação nativa.

3.3 Unidades de conservação e a recuperação de áreas degradadas

De acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), unidade de conservação (UC) pode ser definida como uma unidade territorial que contempla os recursos ambientais e águas jurisdicionais, possui características naturais relevantes e tem como um dos seus objetivos recuperar ou restaurar ecossistemas degradados, onde a recuperação é a restituição de um ecossistema ou população silvestre degradada a uma condição não degradada, a qual pode ser diferente da sua condição original (Brasil, 2000).

A respeito das UCs, estas podem ser divididas em dois grupos: Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável. O primeiro grupo representa as unidades que devem preservar a natureza, em que é permitido apenas o uso indireto dos recursos naturais, e é composto pelas seguintes categorias: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre (Brasil, 2000).

O segundo grupo deve conciliar a conservação da natureza e o uso racional de uma parte dos recursos naturais, formado pelas seguintes categorias: Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN (Brasil, 2000).

O foco deste estudo recai sobre a RPPN, a qual, de acordo com a legislação, é uma área de domínio privado com o intuito de conservar a diversidade biológica, gravada com perpetuidade por intermédio de um Termo de Compromisso. Assim, existe todo um processo que deve ser seguido quando determinado proprietário anseia transformar seu imóvel, seja de forma integral ou parcial, em uma RPPN (Brasil, 2006).

Com base na importância das UCs, a pauta de implementar unidades de conservação na caatinga vai além da preservação da biodiversidade e espécies ameaçadas de extinção, sendo também uma maneira de tentar conter ou minimizar a degradação e desertificação. Oliveira, Silva e Moura (2019) defenderam essa necessidade em virtude do processo de desmatamento, o qual resulta na perda de biodiversidade e ocorre rapidamente devido às ações antrópicas e aos fenômenos naturais.

No contexto a nível nacional, a primeira UC foi criada no ano de 1937, o Parque Nacional do Itatiaia, inserido no bioma mata atlântica e situado na Serra da Mantiqueira, contemplando municípios dos estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais (ICMBIO, 2023). Em relação a caatinga, a primeira UC estabelecida foi a Floresta Nacional do Araripe-Apodi no estado do Ceará, criada no ano de 1946 com o intuito de proteger as fontes de água e amortecer o impacto da desertificação (Cerezini; Castro, 2022).

O estudo realizado por Antongiovanni *et al.* (2020) destaca que o problema de degradação da caatinga é potencializado devido à ausência de UCs a nível integral, ou seja, aquelas em que só é permitido o uso indireto dos recursos, as quais não envolvem consumo, coleta, dano ou destruição dos recursos naturais (Brasil, 2000).

Ao buscar dados que explanem a necessidade da implementação de UCs, o Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC) aponta que apenas 8,81% da caatinga encontra-se protegida, e trazendo para a realidade do estado do Ceará, este quantitativo é de 3,06%, um total de 2.430,84 km² (CNUC, 2024), enquanto todo o território possui uma área de 148.894,447 km² (IBGE, 2022).

Tratando especificamente das RPPN's, atualmente o estado do Ceará conta com 47 unidades, contemplando ecossistemas de caatinga arbórea, caatinga arbustiva aberta, caatinga arbustiva densa, carrasco, cerradão, complexo vegetacional da zona litorânea, mata ciliar, mata seca e mata úmida, totalizando uma área protegida de 16.102,75 ha ou 161,03 km² (SEMA, 2024).

Hassler (2005) destaca entre os benefícios de uma área protegida a conservação dos recursos hídricos, manutenção da fauna silvestre e a qualidade do ar e da água. Entretanto, frequentemente a criação de UCs é percebida como um obstáculo ao desenvolvimento econômico e social, pois atividades como mineração, geração de energia e construção de estradas são consideradas incompatíveis com os princípios da conservação e, adicionalmente, existe a suposição de que tal iniciativa não resultará em benefícios tangíveis. Contudo, esse pensamento arcaico advém da falta de dados e informações que apontem os serviços diretos e indiretos gerados por essas unidades, quando estabelecidas (Yong; Medeiros, 2018).

Biodiversidade, turismo sustentável, proteção do solo e regulação climática são alguns dos benefícios que podem ser alcançados. A implementação e a devida gestão podem obter resultados satisfatórios, Yong e Medeiros (2018) relataram que a partir de 2005, quando ocorreu o crescimento acelerado de UCs, houve redução na taxa de desmatamento, o que, por sua vez, refletiu na queda dos níveis de emissão de gases do efeito estufa no Brasil. Essas áreas também podem vir a despertar a consciência ambiental na comunidade por meio da educação ambiental, através da execução de atividades como trilhas e palestras, expandindo a conservação para além dos limites territoriais daquela unidade (Meira; Nascimento; Silva, 2018).

Com base na literatura, a criação de uma RPPN pode contribuir para a recuperação de áreas degradadas, a começar pelo fato de que, quando os proprietários se voluntariam para conservar uma determinada área, se comprometem a não realizar ações degradadoras, como queimadas e desmatamento. Em alguns casos, a exemplo da RPPN Não Me Deixes, parcerias podem ser firmadas com escolas e/ou universidades, promovendo ações de reflorestamento, melhorando a qualidade do solo, além da promoção da educação ambiental, atuando como um local voltado para visitas e pesquisas científicas.

Sabendo que as práticas de agricultura e pecuária podem causar danos irreparáveis no solo, a implementação de uma área protegida desempenha importantes papéis no processo de recuperação de áreas, pois irá impedir o desmatamento e induzir a recuperação florestal, reduzindo os processos erosivos, limitando o uso e ocupação do solo e protegendo as funções ecossistêmicas (Yong; Medeiros, 2018).

Portanto, os serviços ecossistêmicos podem ser definidos como “benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais”, estando dividido em serviços de provisão, de suporte, de regulação e culturais (Brasil, 2021).

Os serviços de provisão são aqueles que disponibilizam bens ou produtos ambientais que serão desfrutados pelas pessoas, como água, alimento e madeira. Os de suporte são responsáveis pela longevidade da vida no ecossistema terrestre, ou seja, ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo, polinização e dispersão de sementes. Já sobre os serviços de regulação, cabe a eles a manutenção da estabilidade dos processos ecossistêmicos, bem como o sequestro de carbono, a purificação do ar e o equilíbrio do ciclo hidrológico, por exemplo. Por fim, os culturais podem ser alcançados por meio do turismo e recreação (Brasil, 2021).

Assim, observando e conhecendo todos os benefícios que são fornecidos pelo ecossistema, destaca-se a necessidade de adotar práticas para preservá-lo, bem como:

implementar áreas protegidas e monitorá-las, de forma que ações degradadoras não ocorram; incentivar e promover a realização de projetos de reflorestamento; em áreas que são voltadas para o cultivo agrícola adotar práticas sustentáveis, buscando a manutenção e não o esgotamento dos recursos naturais; e por fim, mas não menos importante, proporcionar a educação ambiental, pois é por meio desta que acontece o despertar da consciência, apontando os motivos para preservar e as consequências positivas destes atos.

3.4 Uso de Geotecnologias

Sabe-se que ter acesso a informações como a distribuição geográfica de recursos minerais e naturais sempre foi imprescindível para a civilização, mas é uma atividade que até algumas décadas atrás era realizada de forma manual, impedindo uma análise integrada acerca dos dados. No entanto, com o advento da tecnologia e sua expansão, ficou possível armazenar e representar as informações em ambientes computacionais, cedendo lugar ao surgimento do Geoprocessamento, área do conhecimento que faz uso de técnicas matemáticas e computacionais para tratar informações geográficas, sendo importante para áreas do transporte, comunicação, recursos naturais e planejamento. (Câmara; Davis, 2001).

De acordo com Rosa (2005), as geotecnologias, também denominadas geoprocessamento, podem ser conceituadas como um conjunto de tecnologias destinadas a coleta, processamento, análise e fornecimento de informações com referência geográfica, sendo compostas por soluções em softwares, a exemplo do ArcGIS e QGIS, e dentre as geotecnologias, tem-se ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, dentre outras.

Em relação ao sensoriamento remoto, é uma área da ciência que trata da aquisição de informações sobre um determinado objeto, fenômeno ou processo sem que haja o contato direto, utilizando sensores a bordo de aviões ou satélites que operam em qualquer parte do espectro eletromagnético (Arunkumar; Pandiyan; Yuvaraj, 2020). Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), é uma técnica para obter informações, seja sobre um objeto, área ou fenômeno localizado na terra, sem que haja necessidade do contato físico, assim, as informações podem ser alcançadas por radiação eletromagnética através de fontes naturais, como o sol, ou artificiais, como o radar.

Novo (2010) destaca diversas aplicações do sensoriamento remoto, que atualmente dispõe de dados consistentes da atmosfera terrestre. Esses dados permitem a utilização voltada para a ecologia, fornecendo informações sobre solos, florestas e aplicações florestais, o que

possibilita o controle de desflorestamento e a estimativa de biomassa. Nesse cenário, destaca-se que apesar da importância da criação de UCs, não é somente isso que garante seu propósito ambiental, sendo imprescindível a aplicação de ferramentas, como as geotecnologias, para auxiliar na gestão, planejamento e monitoramento do território (Dias; Figueirôa, 2020).

Sabendo da vulnerabilidade da região semiárida em decorrência de atividades degradadoras, os índices de vegetação se apresentam como padrões de resposta espectrais do cenário da cobertura vegetal, atuando como ferramentas importantes para o monitoramento ambiental ao longo do tempo, incluindo épocas de estiagem (Silva *et al.*, 2021). Conforme pontuado por Albuquerque, Ribeiro e Sales (2019), um índice de vegetação é a assimilação de duas ou mais bandas espectrais para obter o realce das características da vegetação.

Dessa maneira, o Normalized Difference Vegetation Index – NDVI ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, é encontrado por meio da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo e do vermelho, e a soma delas (Luz; Galvâncio, 2022). De acordo com Melo, Sales e Oliveira (2011), o NDVI é a execução dos processos de realce por operações matemáticas entre as bandas dos sensores de satélite, atuando na região semiárida como uma forma para monitorar a evolução da degradação. Ou seja, é um indicador da condição da vegetação, onde os resultados podem variar de -1 a 1 (Lima *et al.*, 2017).

No que se refere aos resultados que são encontrados ao executar a equação, o Serviço Geológico dos EUA possui a seguinte classificação: áreas de rocha estéril, areia ou neve são valores baixos; a vegetação esparsa, arbustos e pastagens são valores moderados, de 0,2 a 0,5; e a vegetação densa, encontrada em florestas tropicais e temperadas são valores elevados, de 0,6 – 0,9 (USGS, 2018).

Já o trabalho de Peruzzo *et al.* (2019), realizado no semiárido brasileiro, definiu uma classificação mais detalhada e voltada para a região, em que: água $\leq 0,0$; solo exposto $\geq 0,01$ e $\leq 0,2$; vegetação arbustiva aberta $\geq 0,201$ e $\leq 0,4$; vegetação arbustiva semiaberta $\geq 0,401$ e $\leq 0,6$; vegetação arbustiva-arbórea $\geq 0,601$ e $\leq 0,8$.

Outra ferramenta das geotecnologias de fundamental importância em análises de ambientes naturais é a classificação supervisionada. Na classificação digital, o mapeamento é possível por meio da identificação de objetos homogêneos na cena, dispostos em um conjunto de pixels, em que tal processo pode ser definido como a tradução da energia eletromagnética refletida em classes de cobertura, as quais podem ser, por exemplo, vegetação, corpo hídrico, área irrigada, solo exposto, dentre outras, a depender do local em estudo (Rex *et al.*, 2018; Santos *et al.*, 2019).

Meneses e Sano (2012) reverberam que a classificação supervisionada impõe que o pesquisador tenha conhecimento da sua área para identificar as classes, pois o algoritmo necessita de treinamento para distinguir os alvos, assim, são escolhidas amostras com pixels representativos, também podendo dispor de ferramentas auxiliares, como dados coletados em campo. Os autores destacam ainda que não há definição de uma quantidade de classes, apenas exige-se que sejam bem distintas para não haver confusão e erro ao final.

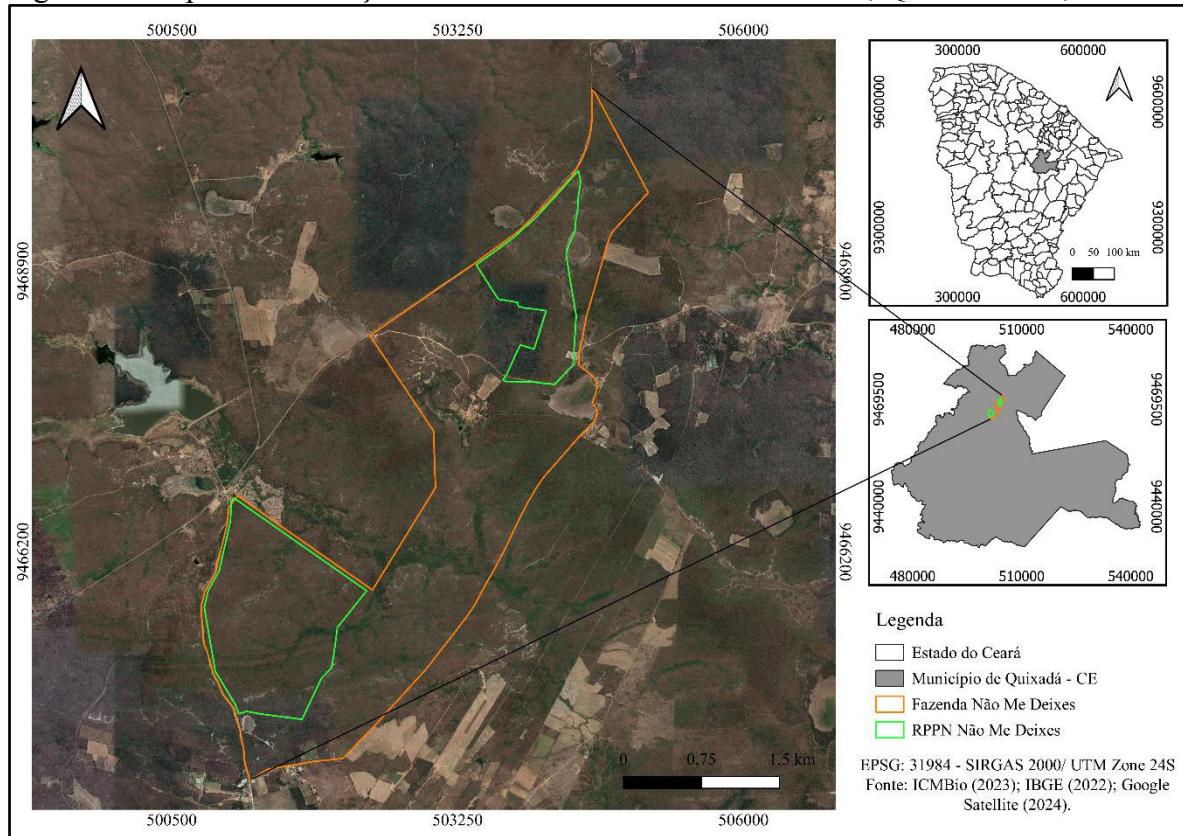
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

A área de estudo contempla a Fazenda e a RPPN Não Me Deixes, localizadas no município de Quixadá-CE, distante aproximadamente 140 km da capital do estado e o acesso pode ser feito pela CE-060.

Quixadá possui as coordenadas geográficas $4^{\circ}58'17''$ S e $39^{\circ}00'55''$ W, faz parte da microrregião conhecida por “Sertões de Quixeramobim”, região central do Ceará, e faz limite com os municípios de Choró, Itapiúna e Ibaretama a norte, Quixeramobim e Banabuiú a sul, Banabuiú, Morada Nova, Ibicuitinga e Ibaretama a leste, Choró e Quixeramobim a oeste (IPECE, 2017). De acordo com dados do IBGE (2022), Quixadá apresenta uma área territorial de 2.020,586 km² e população estimada em 84.168 pessoas. A Figura 3 permite visualizar a localização da área de estudo.

Figura 3 – Mapa de localização da Fazenda e RPPN Não Me Deixes, Quixadá – CE, 2024



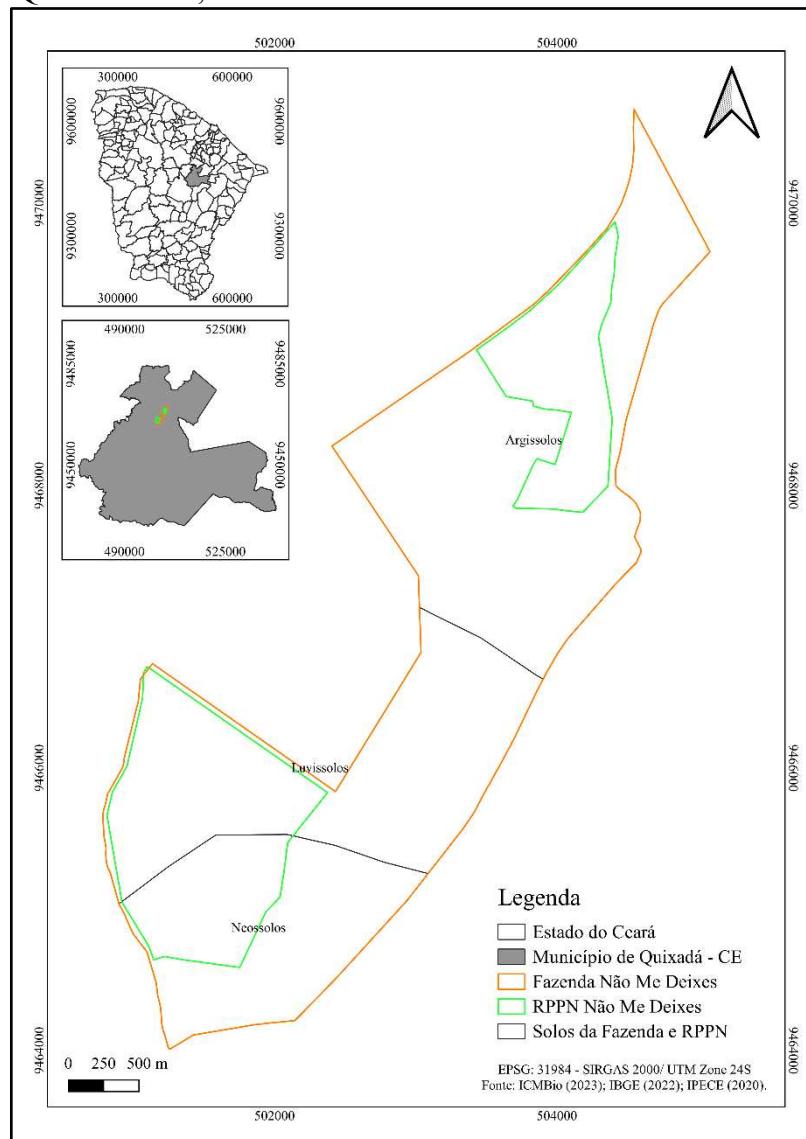
Fonte: Autora (2024).

A região de Quixadá é marcada pelo clima Semiárido Quente, BSh de Köppen-Geiger, pluviosidade média anual entre 250 e 750 mm, temperatura média de 26° a 28°C,

período chuvoso concentrado nos meses de fevereiro a abril, o relevo é constituído por Depressões Sertanejas e Maciços Residuais, a vegetação formada por Caatinga Arbustiva Densa, Caatinga Arbustiva Fechada e Floresta Caducifólia Espinhosa (Viana *et al.*, 2017; Andrade *et al.*, 2020; IPECE, 2017).

Sobre os solos da área de estudo, o mapa produzido permitiu observar três tipos, Neossolos, Luvissolos e Argissolos, conforme Figura 4.

Figura 4 – Mapa de solos da Fazenda e RPPN Não Me Deixes, Quixadá – CE, 2024



Fonte: Autora.

Ao observar a imagem 4, percebe-se que os Argissolos ocupam a maior parte da área da Fazenda e RPPN. São caracterizados como solos de textura arenosa na parte superficial e argilosa na camada embaixo, fertilidade natural média a alta, apresentam profundidade

variável, de forte a imperfeitamente drenados, são de forte a moderadamente ácidos, com saturação por bases alta ou baixa (Araújo Filho, 2013; EMBRAPA, 2018).

Os Luvissolos vão de bem a imperfeitamente drenados, geralmente pouco profundos, com horizonte B textural, moderadamente ácidos a ligeiramente alcalinos, possuem elevada saturação por bases e contém elevado potencial nutricional em razão dos nutrientes disponíveis (EMBRAPA, 2018; Jarbas *et al.*, 2021). Por fim, os Neossolos podem apresentar alta ou baixa saturação por bases, acidez e altos teores de alumínio e sódio, vão desde rasos a profundos, constituídos por material mineral ou orgânico pouco espesso (Santos; Zaroni, 2021; EMBRAPA, 2018).

4.2 Caracterização das áreas analisadas

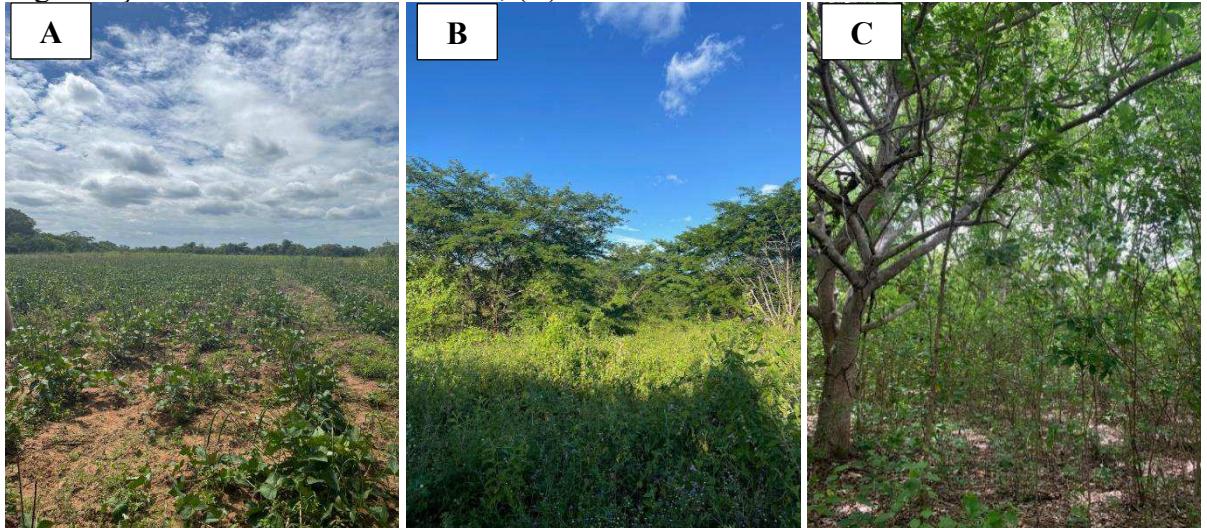
Para realizar a caracterização físico-química foram escolhidas três áreas distintas com diferentes usos e manejo ao longo da fazenda e da UC, sendo elas área de agricultura (AG), área em regeneração (AR) e área de mata nativa (MN).

Área de agricultura: área fora dos limites da RPPN, onde a prática de agricultura sucede há aproximadamente 25 anos (Figura 5A), as culturas promovidas são milho e feijão. Práticas como queimadas não são recorrentes, pois todos os anos o plantio é realizado, sendo feita apenas a limpeza da área.

Área em regeneração: de acordo com relatos dos habitantes, alguns anos atrás ocorria a criação de gado em áreas da fazenda, consequentemente, os animais acabavam adentrando os limites da RPPN e comendo o pasto, em seguida, os moradores queimavam a área. No entanto, essas práticas deixaram de ocorrer em meados de 2018, quando a criação cessou e ações de reflorestamento foram promovidas (Figura 5B).

Área de mata nativa: relatos indicam que essa área é preservada desde quando estudos foram iniciados, e a única ação de impacto negativo que ocorreu foi a retirada de madeira para a fazenda (Figura 5C).

Figura 5 – Áreas de estudo. (A) área de agricultura na Fazenda Não Me Deixes; (B) área em regeneração na RPPN Não Me Deixes; (C) área de mata nativa na RPPN Não Me Deixes



Fonte: Autora (2023).

4.3 Histórico

4.3.1 Criação da RPPN Fazenda Não Me Deixes

A Fazenda Não Me Deixes possui cerca de 928 hectares e durante muito tempo foi a moradia e lugar da escritora cearense Rachel de Queiroz (1910 – 2003). No ano de 1999, com a preocupação que suas terras fossem conservadas, a escritora procurou o IBAMA, na época órgão responsável por esse tipo de ação, visto que ainda não existia o ICMBio, e criou a RPPN Não Me Deixes, destinando cerca de 300 hectares da totalidade da sua fazenda. O decreto que oficializava a criação da UC foi publicado no Diário Oficial da União no dia 16 de abril de 1999¹.

4.3.2 Situação atual da RPPN

Apesar da criação da RPPN ter sido em 1999, o Plano de Manejo só veio a ser elaborado no ano de 2012, constando dentre os objetivos proteger as paisagens naturais de notável beleza cênica e os recursos hídricos presentes, preservar as fitofisionomias de caatinga existentes, no caso caatinga arbustiva e caatinga arbórea, proteger espécies de fauna, principalmente aquelas raras e/ou ameaçadas de extinção e prover a pesquisa científica, de

¹ Informação fornecida pelo “Projeto de viabilização operacional para o Plano de Manejo atualizado da Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Não Me Deixes”, realizado por Nogueira e Salek, 2022.

forma a conhecer melhor a RPPN e os recursos naturais da região. Quando o plano foi elaborado, foram identificadas espécies de flora e fauna endêmicas e ameaçadas de extinção, como o Pau-branco, aroeira, pica-pau-anão-da-caatinga, jacu-verdadeiro, gato-do-mato e onça parda.

Depois de mais uma década da elaboração do plano de manejo (2012), é possível perceber que a área continua sendo preservada e apresentando progressos, pois antes havia criação de ovinos, caprinos e bovinos, o que culminava na invasão desses animais em áreas da UC, interferindo na conservação. No entanto, este tipo de criação não ocorre mais, tanto na Fazenda como na RRPN, além de ter sido observado também a diminuição de áreas de cultivo, pois muitos moradores acabaram deixando a fazenda¹.

Atualmente, a fazenda conta com visitas frequentes de alunos das escolas do entorno e tem sido um local de estudos científicos voltados para a fauna e flora, principalmente por parte de alunos da Universidade Federal do Ceará¹.

4.4 Amostragem

Para obter a caracterização físico-química das áreas foram coletadas cinco (5) amostras compostas deformadas em cada local de estudo AG, AR e MN, em uma profundidade de 0 – 20 cm com o uso do trado holandês, em maio de 2023. Vale salientar que cada amostra composta foi formada por três (3) amostras simples.

Também foram realizadas, no mesmo período de coleta das amostras deformadas, três (3) coletas de amostras indeformadas em cada área com o auxílio do trado Uhland, em uma profundidade de 0–10 cm. O objetivo dessa amostragem foi obter a densidade do solo.

4.5 Preparo das amostras de solo para análise

As amostras deformadas foram dispostas para secar ao ar (Figura 6A), destorreadas e passadas em uma peneira de 2 mm (Figura 6B), de forma a obter a terra fina seca ao ar (TFSA) para a realização das análises. As indeformadas seguiram direto para a estufa, de forma a obter o valor da densidade do solo.

Figura 6 – Amostras de solo. (A) amostras de solo secando ao ar na estufa do Departamento de Ciência do Solo, UFC; (B) amostras de solo sendo destorroadas e peneiradas.



Fonte: Autora (2023).

4.6 Caracterização física das amostras

4.6.1 Densidade do solo

Conforme o Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (2017), realizou-se a coleta com o auxílio de cilindro metálico, as dimensões do cilindro utilizado foram medidas, no caso raio e altura, e anotadas em triplicata para calcular o volume. Transferiu-se a amostra para um recipiente de massa conhecida e secou-se em estufa a uma temperatura de 105° C por 48 horas. Por fim, as amostras foram retiradas da estufa, pesadas e o valor final foi obtido por meio da Equação 3.

$$Ds = \frac{Ma}{v} \quad (3)$$

em que:

Ds: densidade do solo, em kg dm^{-3} ;

Ma: massa da amostra de solo seco a 105 °C até peso constante, em g;

V: volume do cilindro, em cm^3 , obtido por meio da multiplicação do valor de π , raio e altura.

4.6.2 Análise granulométrica

Para a análise granulométrica, foi necessário pesar 20 g de TFSA em lata de peso conhecido e levar para a estufa por 24 horas a uma temperatura de 105 °C, de forma a obter o Fator F de correção. Em seguida, mais 20 g foram pesadas em um becker de 250 ml, onde

adicou-se 100 ml de água destilada e 10 ml de hidróxido de sódio 1N, a amostra foi agitada com bastão de vidro e ficou em repouso por um período de 12-16 horas. Passado esse tempo, o conteúdo foi transferido para o copo metálico do agitador elétrico, usando jatos de água destilada para retirar todo o material e deixar o volume em aproximadamente 300 ml, agitando por 10 minutos.

Feito isso, o conteúdo foi passado através da peneira de 20 cm de diâmetro e malha de 0,053 mm, apoiada em um funil sob cilindro de sedimentação com capacidade de 1000 ml. O material retido na peneira foi lavado com cuidado, de forma que ficou apenas a fração areia, a qual foi transferida para lata de peso conhecido e levada para a estufa por 24 horas a uma temperatura de 105 °C.

Em relação ao cilindro, completou-se até atingir a marca de 1000 ml, agitou-se a suspensão por 20 segundos com agitador manual. O tempo após agitação foi marcado e a temperatura medida, de forma a verificar na Tabela 1 o tempo de sedimentação da fração argila para 5 cm de profundidade.

Tabela 1 – Tempo de sedimentação calculado para a fração silte em função da temperatura da suspensão para profundidade de 5 cm para as amostras levantadas na pesquisa

Temperatura °C	Tempo de sedimentação a 5 cm	
	h	min
15	4	23
16	4	16
17	4	10
18	4	4
19	3	58
20	3	52
21	3	46
22	3	41
23	3	36
24	3	31
25	3	26
26	3	21
27	3	17
28	3	13
29	3	9
30	3	5

Fonte: Teixeira, P. *et al.* (2017).

Após o tempo indicado conforme a Tabela 1, foi introduzida a pipeta de 25 ml até a profundidade de 5cm e coletado o volume de suspensão, tendo sido transferido para becker de 30 ml e de peso conhecido, com aproximação de 0,001 g, junto com a porção proveniente

da lavagem da pipeta. Cabe destacar que a prova em branco deve ser preparada também, colocando 10 ml do dispersante utilizado e seguindo todo o protocolo. Os beckers foram para estufa com temperatura entre 105 °C e 110 °C e permaneceram até a água evaporar. Quando o material já estava seco, foi retirado da estufa e pesado. Por diferença, obteve-se a massa da argila, e para a prova em branco, obteve-se a massa do dispersante (Amaral Filho; Assis Júnior; Mota, 2008).

As Equações 4, 5, 6 e 7 foram utilizadas para obter o Fator F, porcentagem de areia, argila e silte, respectivamente.

$$\text{Fator F} = \frac{\text{Peso da amostra}}{20} \quad (4)$$

em que:

20: valor da TFSA pesada.

$$\text{areia} = \text{peso da areia} * 5 * \text{Fator F} \quad (5)$$

$$\text{argila} = [(\text{peso da argila} + \text{dispersante}) - \text{dispersante}] * 200 * \text{Fator F} \quad (6)$$

$$\text{silte} = 100 - (\% \text{ argila} + \% \text{ areia}) \quad (7)$$

O manual ressalta que, caso não seja utilizado 20g de TFSA, os valores 5 e 200, presentes nas equações 5 e 6, mudam.

4.7 Caracterização química das amostras

4.7.1 Medição do carbono orgânico total (COT)

A metodologia utilizada para análise de COT foi a adaptada de Yeomans e Bremner (1988) definida por Mendonça e Matos (2005). Foram pesadas 0,100 gramas de TFSA (peneiradas e trituradas) e transferidas para tubos de digestão onde adicionou-se 5 ml da solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,167 mol L⁻¹ e 7,5 ml de H_2SO_4 concentrado.

Feito isso, os tubos foram levados ao bloco digestor pré-aquecido a 170°C e mantidos por 30 minutos. Ao tirar do bloco, as amostras ficaram esfriando por aproximadamente 15 minutos e foram transferidas para Erlenmeyer de 250 ml com o auxílio de água destilada, de forma a atingir um volume final em torno de 100 ml. Por fim, adicionou-se 0,3 ml de solução indicadora de Ferroin e titulou com a solução de sulfato ferroso amoniacial 0,2 mol L⁻¹.

Sabendo da necessidade de serem feitas soluções brancas controles (5 ml de $K_2Cr_2O_7$ 0,167 mol L⁻¹ + 7,5 ml de H_2SO_4 concentrado), para o estudo foram realizadas quatro, duas com aquecimento e duas sem aquecimento.

Realizada a parte prática, a porcentagem de carbono orgânico foi calculada com base nas Equações 8 e 9.

$$A = \left[(V_{ba} - V_{am}) * \left(\frac{V_{bn} - V_{ba}}{V_{bn}} \right) \right] + (V_{ba} - V_{am}) \quad (8)$$

em que:

V_{ba} : volume gasto na titulação do branco controle com aquecimento;

V_{bn} : volume gasto na titulação do branco controle sem aquecimento;

V_{am} : volume gasto na titulação da amostra.

$$CO \text{ (dag/kg)} = \frac{(A) * (\text{molaridade Sulfato Ferroso}) * (3) * (100)}{\text{peso da amostra (mg)}} \quad (9)$$

em que:

3: é o resultado da relação entre o número de mols de $Cr_2O_7^{2-}$ que reagem com Fe^{+2} (1/6), multiplicado pelo número de mols de $Cr_2O_7^{2-}$ que reagem com o C^0 (3/2) multiplicado pela massa atômica do C (12);

100: é o fator de conversão de unidade.

4.7.2 Medição do nitrogênio total

Para esta análise utilizou-se o método descrito no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (2017), em que o processo realizado para a quantificação de nitrogênio (N) é conhecido como digestão de Kjeldahl, onde o N da matéria orgânica do solo é mineralizado até amônio (NH_4^+) por meio da oxidação com ácido sulfúrico, em alta temperatura, na presença de catalisadores.

Feita a digestão, o N amoniacal que está no meio ácido foi submetido a destilação a vapor após forte alcalinização com adição de NaOH (hidróxido de sódio), fazendo com que o NH_4^+ fosse convertido em amônia (NH_3), tendo sido arrastada pelo vapor d'água e condensada até encontrar a solução de ácido bórico. Essa solução contém indicadores que possibilitaram observar o processo através da alteração de cor vermelha/violeta para um tom verde azulado.

No caso da quantificação, essa se deu pela titulação com o ácido sulfúrico até alcançar o retorno da cor vermelha, correspondendo ao ponto de viragem para condição mais ácida, dessa forma, a quantidade de N é proporcional à quantidade de ácido gasta na titulação. Os cálculos que foram realizados podem ser identificados nas Equações 10 e 11.

$$N(\text{mg}) = M_{\text{as}} * 28 * V_{\text{as}} \quad (10)$$

em que:

N (mg): quantidade de nitrogênio recuperada na destilação, em mg;

M_{as} : concentração da solução padronizada de ácido sulfúrico, em mol L⁻¹;

28: equivale a duas vezes a massa de N (N = 14g);

V_{as} : volume da solução padronizada ácido sulfúrico gasto na titulação, em ml.

$$N = \frac{M_{\text{ac}} * 28 * V_{\text{ac}}}{m} * 1000 \quad (11)$$

em que:

N: concentração de nitrogênio da amostra de solo, em g kg⁻¹;

M_{ac} : concentração da solução padronizada de ácido sulfúrico, em mol L⁻¹;

28: equivale a duas vezes a massa de N (N = 14g);

V_{ac} : volume da solução padronizada ácido sulfúrico gasto na titulação, em ml;

m: massa da amostra de solo digerida, em mg.

4.7.3 pH e CE

A obtenção do pH se deu por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo: líquido, em que primeiro pesou-se 10 gramas de solo, adicionou-se 25 ml de água destilada, agitou-se com bastão de vidro individual por 60 segundos e as amostras ficaram em repouso por 1 hora. Com isso, realizou-se a leitura no pHmetro (Teixeira *et al.*, 2017).

Para a CE, utilizou-se as mesmas amostras para pH, mas a leitura se deu no condutivímetro.

4.7.4 Fósforo disponível

Para determinar o fósforo disponível embasou-se no Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (2017). Primeiramente, pesou-se 5 gramas de solo e adicionou-se 50 ml de solução extratora Mehlich-1, em seguida, as amostras foram levadas para o agitador circular horizontal por 5 minutos e ficaram decantando por uma noite.

Passado o período indicado, pipetou-se, sem filtrar, 25 ml do extrato, e, desse extrato, foi pipetado mais 5 ml para adicionar 5 ml de solução ácida de molibdato de amônio diluído e uma “pitada” de ácido ascórbico em pó. Agitou-se por 1 minuto e depois deixou

desenvolver a cor azul por um período de 1 hora. Por fim, tornou-se possível realizar a leitura no espectrofotômetro-UV-Vis, usando filtro vermelho (comprimento de onda de 660 nm). O cálculo está disposto na Equação 12.

$$P = \frac{L-b}{a} * d * 10 \quad (12)$$

em que:

P: concentração de fósforo disponível no solo, em mg kg^{-1} ;

L: leitura da amostra, em absorbância;

a: coeficiente angular da reta dos padrões (intercepto);

b: coeficiente linear da reta dos padrões;

d: fator de diluição do extrato de Mehlich (caso não seja necessário fazer diluição, d = 1);

10: fator que leva em consideração a diluição do solo: extrator.

4.7.5 Medição do Na e K

Para a leitura de sódio e potássio utilizou-se da mesma solução preparada para as análises de fósforo, neste caso o equipamento utilizado foi o fotômetro de chama. Cabe destacar que a leitura é determinada em ppm, sendo necessário fazer a conversão para cmol_c/kg , conforme Equações 13 e 14 (Teixeira *et al.*, 2017).

$$\text{Na cmol}_c \text{ Kg}^{-1} = \frac{\text{Na} (\text{mg kg}^{-1})}{230} \quad (13)$$

em que:

230: é a massa atômica do sódio (23) x 10.

$$\text{K cmol}_c \text{ Kg}^{-1} = \frac{\text{K} (\text{mg kg}^{-1})}{390} \quad (14)$$

em que:

390: é a massa atômica do potássio (39) x 10.

4.7.6 Determinação da Acidez Potencial

Para a acidez potencial, tornou-se necessário pesar 5g de solo (TFSA), colocar em Erlenmeyer de 125ml e adicionar 75ml de acetato de cálcio 0,5 mol L^{-1} a pH 7, levar para agitador horizontal circular por 10 minutos e depois deixar em repouso por uma noite. Passado o período, foi pipetado 25ml da solução sobrenadante obtida, adicionou-se três gotas de fenolftaleína e realizou-se a titulação com solução padronizada de 0,025 mol L^{-1} de NaOH até

desenvolver a cor rosa (Teixeira *et al.*, 2017). A Equação 15 utilizada para obtenção dos cálculos encontra-se disposta a seguir.

$$(H^+ + Al^{3+}) = (V_a - V_b) * 1,65 * f \quad (15)$$

em que:

$(H^+ + Al^{3+})$: acidez potencial do solo, em $cmol_c \text{ kg}^{-1}$;

V_a : volume da solução padronizada de NaOH 0,025 mol L^{-1} gasto na titulação da amostra (ml);

V_b : volume da solução padronizada de NaOH 0,025 mol L^{-1} gasto na titulação da prova em branco, em ml;

1,65: fator de correção;

f : fator de correção considerando a padronização da solução de NaOH, em que $f = 0,025 / [NaOH_{pad}]$; em que $[NaOH_{pad}]$ é a concentração da solução padronizada de NaOH.

4.7.7 *Medição do Alumínio trocável*

Para a medição do alumínio trocável, foram pesadas 10 g de solo (TFSA) e adicionou-se 100 ml de cloreto de potássio ($KCl 1 \text{ mol L}^{-1}$), as amostras foram agitadas por 5 minutos em agitador horizontal circular e ficaram em repouso por uma noite. Em seguida, foi pipetado 25 ml para a titulação, a qual se deu com hidróxido de sódio (NaOH) na presença do indicador azul de bromotimol (Teixeira *et al.*, 2017). Os cálculos se deram de acordo com a Equação 16.

$$Al = V * f \quad (16)$$

em que:

Al : concentração de alumínio trocável no solo, em $cmol_c \text{ kg}^{-1}$;

V : volume da solução padronizada de NaOH gasto na titulação, em ml;

f : fator de correção considerando a padronização da solução de NaOH em que $f = [NaOH_{pad}] \times 40$;

$[NaOH_{pad}]$: concentração da solução padronizada de NaOH, em mol L^{-1} ;

Valor 40: equivale a $4 \times 100/10$, em que o 4 advém da divisão de 100 ml da solução extratora por 25 mL pipetado, 100 da mudança de 10 g para 1 kg de solo e 10 da mudança de $mmol_c \text{ kg}^{-1}$ para $cmol_c \text{ kg}^{-1}$.

4.7.8 *Medição de Ca e Mg*

Para esta análise, levou-se em consideração o Manual de Métodos de Análise de Solo da Embrapa (1997). Assim, pesou-se 10 g de solo TFSA, adicionou-se 100 ml de acetato de amônio, agitou-se por 15 minutos em agitador e ficou em repouso por cerca de 24 horas. Em seguida, foi pipetado 25 ml para Ca e 25 ml para Mg. No caso do magnésio, adicionou-se 3 ml de Coquetel e 4 gramas de eriocromo T. Para o cálcio, 3 ml de KOH e 2 ml de trietanolamina. Feito isso, a titulação foi realizada com EDTA 0,025 N. Os cálculos se deram de acordo com as Equações 17 e 18.

$$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \left(\frac{\text{cmol}_c}{\text{kg}} \right) = \text{ml EDTA} \quad (17)$$

$$\text{Ca}^{2+} \left(\frac{\text{cmol}_c}{\text{kg}} \right) = \text{ml EDTA} \quad (18)$$

O valor do Magnésio é obtido por meio da diferença dos resultados das Equações 17 e 18.

4.7.9 Determinação do Valor S – Soma de Bases Trocáveis

A Soma de Bases Trocáveis, como o próprio nome sugere, é a soma dos resultados obtidos de cálcio, magnésio, potássio e sódio, em cmol_c/kg (Teixeira *et al.*, 2017), conforme Equação 19.

$$\text{Valor S} = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+ \quad (19)$$

4.7.10 Determinação do Valor T – CTC Total (Capacidade de Troca de Cátions Total)

É encontrada por meio da soma entre o Valor S e a acidez potencial (Teixeira *et al.*, 2017) (Equação 20).

$$\text{Valor T} = \text{Valor S} + (\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}) \quad (20)$$

4.7.11 Determinação do Valor V (Percentagem de Saturação por Bases)

De acordo com P. Teixeira *et al.* (2017), é a proporção do solo que é preenchida pelas bases trocáveis. O cálculo se dá por meio da Equação 21.

$$\text{Valor V (\%)} = \frac{100 * \text{Valor S}}{\text{Valor T}} \quad (21)$$

em que:

Valor V: percentagem de saturação por bases;

Valor S: soma de bases trocáveis;

Valor T: CTC total.

4.8 Análise Estatística

Os resultados encontrados nas análises em laboratório foram submetidos a análise estatística multivariada, iniciando pela Análise de Componentes Principais (ACP), que tem como objetivo transformar o conjunto de dados original em um conjunto de dados reduzido e sucinto para melhor interpretá-lo (Deng *et al.*, 2019). Tal técnica foi abordada inicialmente por Karl Pearson (1901) e anos depois por Hotelling (1933), sendo este último quem apresentou uma descrição de métodos computacionais práticos, mas só passou a ser utilizada amplamente quando os computadores se tornaram acessíveis (Manly; Alberto, 2019). O primeiro passo foi calcular todos os parâmetros, com os valores das repetições de cada área para obter a média e rodar os comandos no software SAS® OnDemand (<https://welcome.oda.sas.com/>) disponibilizado de forma gratuita para a comunidade acadêmica, utilizando os comandos PROC PRINCOMP, BIPLOT e PROC PRINQUAL.

Além da ACP, foi executada a Análise Multivariada de Variância (MANOVA), a qual tem como objetivo considerar várias variáveis, que, em um primeiro momento, todas são igualmente importantes (Manly; Alberto, 2019). O processo foi feito a partir dos resultados das análises químicas para as três áreas, a fim de verificar se, quando comparadas, essas áreas diferiram entre si pelo Teste F ($p < 0.05$), em que a hipótese nula (H_0) é apresentada da seguinte forma: $H_0: T_1 = T_2 = T_3$, em que T representa as três áreas e afirma a igualdade dos vetores de média, versus a hipótese alternativa (H_a), de que ao menos um contraste dos vetores de média é significativo (Rosário *et al.*, 2008). O processo ocorreu no software SAS, por meio do comando PROC GLM.

Também foi realizada a Análise de Função Discriminante Canônica (ADC), a qual possibilita separar diferentes grupos com base nos dados disponíveis. Assim, procurou-se mostrar a maior separação entre as três áreas (grupos), mata nativa, área em regeneração e agricultura analisando as variáveis canônicas (Oliveira *et al.*, 2021). Manly e Alberto (2019) destacam que as funções discriminantes canônicas Z_1, Z_2, \dots, Z_s são combinações lineares das variáveis originais, de forma que Z_1 expressa as diferenças existentes entre os grupos tanto quanto seja possível, Z_2 busca capturar informações de separação que não foi retida em Z_1 e assim sucessivamente, sendo ideal que as primeiras funções explorem as diferenças mais importantes. A análise também foi executada no software SAS®, através do comando PROC

CANDISC. Finalizou-se com o Teste de Tukey, também no SAS® por meio do comando PROC GLM para comparar as médias entre os grupos, utilizando a primeira variável discriminante canônica.

4.9 Ambiente SIG

4.9.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Para obter o NDVI foram escolhidos quatro períodos: 1999, 2009, 2019 e 2023, partindo da criação da RPPN em 1999, com um intervalo de 10 anos, e a data mais recente, 2023. Utilizou-se cenas do Landsat 5 (L5), coleção 2 e nível 2, órbita 217 e ponto 063, para obter o NDVI de 1999 e 2009. O satélite conta com uma resolução espacial de 30 metros e as imagens podem ser baixadas de forma gratuita na plataforma do Serviço Geológico dos Estados Unidos – USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Priorizou-se o segundo semestre do ano, pois no primeiro há grande presença de nuvens na cena, dificultando a execução do processo. Sendo assim, a primeira é do dia 15/10/1999 enquanto a segunda do dia 11/09/2009.

Para executar o NDVI e realizar a comparação de imagens em diferentes datas e/ou épocas, deve-se primeiramente fazer a conversão das cenas, as quais encontram-se em números digitais (DN). No caso do L5, é necessário converter primeiramente de DN para radiância, de radiância para reflectância, e por fim aplicar a equação do NDVI.

O processo de conversão de DN para radiância ocorre de acordo com a Equação 22 (USGS, 2023).

$$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (22)$$

em que:

L_λ : é a radiância espectral;

M_L : é o fator multiplicativo específico da banda utilizada (RADIANCE_MULT_BAND_X em que X é a banda);

Q_{cal} : são os valores de pixel de produto padrão quantizados e calibrados (DN);

A_L : é o fator aditivo específico da banda utilizada (RADIANCE_ADD_BAND_X em que X é a banda).

A etapa de conversão para reflectância acontece conforme Equação 23 (Lima *et al.*, 2017).

$$\rho_\lambda = \frac{M_\rho * Q_{cal} + A_\rho}{\sin(\theta_{SE})} \quad (23)$$

em que:

P_λ : é a reflectância planetária;

M_p : é o fator de redimensionamento multiplicativo específico da banda dos metadados;

A_p : é o fator de redimensionamento aditivo específico da banda dos metadados;

Q_{cal} : é o quantizado e calibrados valores de pixel de produto padrão (DN);

Sin : seno;

θ_{SE} : ângulo de elevação solar local.

Por fim, a equação do NDVI pode ser visualizada na Equação 24 (Rouse *et al.* (1973)).

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}}}{\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{RED}}} \quad (24)$$

em que:

ρ_{NIR} : reflectância no infravermelho próximo;

ρ_{RED} : reflectância no vermelho.

Destaca-se que para o NDVI com cenas do L5, utiliza-se as bandas 4 e 3, com resolução espacial de 30 metros (Tabela 2). Todo o processo foi realizado no software QGIS versão 3.16.16.

Tabela 2 – Bandas e comprimento de onda do L5

Banda	Comprimento de onda (μm)
1 azul visível	0.45 - 0.52
2 verde visível	0.52 - 0.60
3 vermelho visível	0.63 - 0.69
4 infravermelho próximo	0.76 - 0.90
5 infravermelho próximo	1.55 - 1.75
6 térmica	10.40 - 12.50
7 infravermelho médio	2.08 - 2.35

Fonte: Adaptada de USGS, 2024.

No que se refere ao NDVI para os outros dois anos, 2019 e 2023, trabalhou-se com o Landsat 8 (L8) e Landsat 9 (L9), respectivamente, que também apresentam resolução espacial de 30 metros e resolução temporal de 16 dias. As cenas utilizadas são dos dias 20/09/2019 e 07/09/2023, coleção 2 e nível 2, órbita 217 e ponto 063, baixadas na plataforma do USGS (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

Diferente do L5, o pré-processamento que deve ser feito nas cenas do L8 e L9 é a conversão direta de DN para reflectância, exposta na Equação 23, citada anteriormente. Para calcular o NDVI, as bandas necessárias são 5 e 4 (Tabelas 3 e 4), o processo foi executado no software QGIS 3.16.16.

Tabela 3 – Bandas e comprimento de onda do L8

Banda	Comprimento de onda (μm)
1 aerosol costeiro	0.43 - 0.45
2 azul	0.450 - 0.51
3 verde	0.53 - 0.59
4 vermelho	0.64 - 0.67
5 infravermelho próximo	0.85 - 0.88
6 SWIR 1	1.57 - 1.65
7 SWIR 2	2.11 - 2.29
8 pancromática (PAN)	0.50 - 0.68
9 cirrus	1.36 - 1.38

Fonte: Adaptada de USGS, 2024.

Tabela 4 – Bandas e comprimento do L9

Banda	Comprimento de onda (μm)
1 aerosol costeiro visível	0.43 - 0.45
2 azul visível	0.450 - 0.51
3 verde visível	0.53 - 0.59
4 vermelho	0.64 - 0.67
5 infravermelho próximo	0.85 - 0.88
6 SWIR 1	1.57 - 1.65
7 SWIR 2	2.11 - 2.29
8 pancromática (PAN)	0.50 - 0.68
9 cirrus	1.36 - 1.38

Fonte: Adaptada de USGS, 2024.

Com o intuito de sintetizar as informações primordiais, a Tabela 5 indica os satélites utilizados para o NDVI, datas de aquisição e bandas.

Tabela 5 – Informações referente ao NDVI com o satélite, data de cena e banda

Satélite	Data da cena	Bandas para o NDVI
Landsat 5	15/10/1999	4 e 3
Landsat 5	11/09/2009	4 e 3
Landsat 8	20/09/2019	5 e 4
Landsat 9	07/09/2023	5 e 4

Fonte: Autora (2024).

4.9.2 Classificação Supervisionada

Durante o ano de 2023 e início de 2024, foram realizadas visitas à Fazenda e RPPN Não Me Deixes para reconhecimento da área em estudo. Destacam-se as atividades em campo dos dias 01 e 02 de fevereiro de 2024, em que foram coletados 35 pontos com o GPS para auxiliar na identificação das classes, contemplando áreas de vegetação rala, vegetação densa, estradas, solo exposto e água. Devido à dificuldade de acesso, por se tratar de uma propriedade com 928 hectares, não foi possível coletar mais pontos.

Para a classificação supervisionada, foi utilizado o satélite Sentinel 2A (S2A), que se destaca por apresentar resolução espacial de 10 metros e resolução temporal de 5 dias. A cena escolhida é do dia 18/01/2024 por ser a mais próxima do campo em que os pontos foram coletados e com mínima interferência de nuvens quando comparada as outras. A imagem foi obtida gratuitamente através da plataforma Copernicus, que disponibiliza as Missões Sentinel (<https://dataspace.copernicus.eu/>).

Logo, tomando como base o conhecimento da área, as classes escolhidas para o treinamento da classificação foram: água, solo exposto, vegetação rala e vegetação densa, detalhadas na Tabela 6. Além disso, cabe destacar que nuvens também foram identificadas e classificadas, pois estavam presentes na cena em uso.

Tabela 6 – Classes e descrição determinadas para a classificação supervisionada dos dados da pesquisa

Classe	Descrição
Nuvem	nuvens presentes na cena
Água	reconhecida com base no Açude existente por trás da sede da fazenda
Solo exposto	estradas, áreas expostas e casas dos moradores da fazenda
Vegetação rala	áreas formadas por vegetação mais esparsada e rala
Vegetação densa	áreas cobertas por vegetação nativa (caatinga) e densa, sem interferências antrópicas

Fonte: Autora (2024).

Depois de fazer o download da cena, deu-se início ao pré-processamento, enfatizando que todo o processo, desde o pré-processamento até o produto final, no caso o mapa, se deu no software QGIS versão 3.16.16. O satélite é composto pelas bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 e 12, conforme a Tabela 7, mas as bandas 1, 9 e 10 não foram consideradas porque são voltadas para aerossol, vapor d'água e nuvens (Lantzanakis; Mitraka; Chrysoulakis, 2017).

Tabela 7 – Bandas S2A, resolução e comprimento de onda para o cálculo do NDVI

Banda	Resolução espacial (m)	Comprimento de onda (nm)
1 (aerossol)	60	443
2 (azul)	10	490
3 (verde)	10	560
4 (vermelho)	10	665
5 (red edge 1)	20	705
6 (red edge 2)	20	740
7 (red edge 3)	20	783
8 (infravermelho próximo NIR)	10	842

Banda	Resolução espacial (m)	Comprimento de onda (nm)
9 (vapor de água)	60	945
10 (nuvem)	60	1375
11 (SWIR 1)	20	1610
12 (SWIR 2)	20	2190

Fonte: Adaptado de Copernicus (2023).

Primeiramente, as bandas com resolução de 20 metros foram convertidas para 10 metros. Em seguida, com todas as bandas na mesma resolução, foi feita a conversão de DN para reflectância, conforme Equação 25.

$$\text{Reflectância} = \frac{\text{Banda}}{10000} \quad (25)$$

Após a etapa de pré-processamento, as bandas foram empilhadas e o arquivo inserido no plugin *Semi-Automatic Classification* ou Classificação Semiautomática (SCP) (Congedo, 2023). O complemento, instalado no QGIS, permite a classificação supervisionada de imagens de SR, além de fornecer ferramentas para download de cenas, pré e pós processamento de imagens. Já na etapa de classificação, os polígonos foram definidos com base nos pontos coletados, no conhecimento da área e com auxílio da ferramenta *Google Satellite*, também disponível no QGIS.

Foram delineados 15 polígonos para a classe nuvem, 7 para água, pois trata-se de um açude pequeno localizado por trás da sede da Fazenda Não Me Deixes, 40 para área exposta, 26 para vegetação densa e 30 para a vegetação rala, totalizando 118 amostras de treinamento. Feito isso, a classificação supervisionada foi executada por meio do algoritmo *Minimum Distance* ou Distância Mínima, em que os pixels são atribuídos a uma classe cuja média espectral esteja mais próxima, assim, não existirão pixels não classificados (Meneses; Sano, 2012).

De acordo com a Mastella e Vieira (2018), a classificação de imagens de satélite permite estudar a cobertura da terra e gerar mapas temáticos, no entanto, para todo processo de classificação é necessário que haja validação, de forma a validar a acurácia. Assim, os autores destacam que a acurácia temática atua como uma etapa para verificar se o mapa está correto no que se refere as classes treinadas, possibilitando a identificação e correção de erros.

Para isso, utilizou-se o plugin AcATaMa (Accuracy Assessment of Image Classification) (Llano, 2018), complemento instalado no QGIS, que fornece suporte para o design de amostragem, design de resposta e estimativa. De acordo com Stehman e Czaplewski (1998), sabendo da importância dos mapas de uso e cobertura do solo, principalmente para a gestão e tomada de decisões políticas, devem conter uma avaliação de precisão, para isso, os

principais componentes são design de amostragem, de resposta e os protocolos de estimativa e análise.

Ao utilizar o complemento, escolheu-se a amostragem aleatória estratificada, em que o tamanho total de amostras e o número de pontos para cada classe são calculados de acordo com a proporção da área, destacando que esse tipo de amostragem é utilizado para garantir tamanhos de amostra adequados nas classes de uso e cobertura do mapa, estimando a precisão de cada uma delas (Ferreira, 2020; Stehman; Czaplewski, 1998; Olofsson *et al.*, 2014). No que se refere ao design de resposta, é a mudança na classificação de forma que fique melhor para cada classe em estudo (Olofsson *et al.*, 2014).

Por fim, o terceiro componente é a análise, em que há a obtenção de uma matriz de confusão com as principais informações. Na diagonal estão expressas as classificações corretas, e aquelas informações que não estão a diagonal são as incorretas, ou melhor, a confusão que houve entre as classes (Olofsson *et al.*, 2014).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização das áreas analisadas

Os resultados das análises físico-química das áreas em estudo estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultado das análises físico-químicas das variáveis segundo as camadas e áreas

Variáveis	Camada (cm)	MN	AR	AG
Ds (g/cm ³)	0 - 10	1,45	1,48	1,60
Classificação textural	0 - 20	Franco arenoso	Areia franca	Franco arenoso
COT (g/kg)	0 - 20	66,28	62,89	27,70
N (g/kg)	0 - 20	0,44	0,37	0,51
pH	0 - 20	5,39	5,84	5,84
CE (μS/cm)	0 - 20	36,63	34,54	33,27
P (mg/kg)	0 - 20	0,55	0,56	1,85
Na (cmol _c /dm ³)	0 - 20	0,005	0,004	0,006
K (cmol _c /dm ³)	0 - 20	0,013	0,014	0,016
Ca (cmol _c /kg)	0 - 20	1,78	1,56	1,80
Mg (cmol _c /kg)	0 - 20	0,54	0,68	1,58
Acidez Potencial (cmol _c /kg)	0 - 20	1,45	0,66	0,73
SB (cmol _c /kg)	0 - 20	2,34	2,26	3,40
T (cmol _c /kg)	0 - 20	3,79	2,92	4,13
V (%)	0 - 20	61,74	77,40	82,32

Fonte: Resultados da pesquisa (2023). MN: mata nativa; AR: área em regeneração; AG: agricultura; SB: soma de bases trocáveis; T: Capacidade de troca de cátions total; V%: percentagem de saturação por bases.

Analizando primeiramente a parte física, observa-se maiores valores de Ds para AG, 1,60 g/cm³ na camada de 0-10, enquanto para AR e AG os valores foram de 1,48 e 1,45 g/cm³, respectivamente. De forma a interpretar os resultados dos parâmetros em estudo, Reichert, Reinert e Braida (2003) propuseram valores críticos para a Ds, sendo de 1,7 – 1,8 g/cm³ para solos franco-arenoso, em que AG foi a área que mais se aproximou desse intervalo.

É possível observar maiores valores de Ds em áreas cultivadas, podendo estar atrelado a compactação do solo e/ou à redução dos teores de matéria orgânica (Araújo; Tormena; Silva, 2004). Baseado nisso, MN e AR foram as que apresentaram menores valores em decorrência do manejo adotado, em que há maior manutenção da matéria orgânica, haja vista que esta atua como agente cimentante, melhorando a agregação e estrutura (Barbosa *et al.*, 2020). Calonego *et al.* (2012), ao analisarem áreas sob diferentes manejos, obtiveram

resultados que constataram que a área de mata nativa apresentou menores valores de Ds por não apresentar atividades que promovam a compactação, além do alto valor de matéria orgânica.

No que tange à granulometria, determiná-la é importante para obter uma estimativa indireta de fatores como dinâmica da água, grau de compactação do solo, dosagem de nutrientes, dentre outros. Assim, na classificação textural existem três grupos principais: solos arenosos, fracos e argilosos, e em cada grupo ainda é possível observar classes texturais específicas (Centeno *et al.*, 2017). A classificação obtida para MN e AG foi franco arenoso e para AR foi areia franca, de forma que todas as áreas apresentaram em sua composição cerca de 70 – 80% de areia.

Solos que possuem maiores influências da fração areia em sua composição são considerados com baixo teor de matéria orgânica, pouca capacidade de armazenamento de nutrientes e baixa resistência à mudança de pH (Brady; Weil, 2013). Centeno *et al.* (2017) destacam que esses solos apresentam deficiência em matéria orgânica em virtude dos altos valores de areia, fazendo com que sejam altamente permeáveis e com baixa retenção de água, sendo primordial aplicar uma gestão adequada do uso e adotar práticas conservacionistas.

Partindo para os parâmetros químicos, obter os valores de pH torna-se importante para avaliar as condições de acidez e alcalinidade do solo, pois sabe-se que aqueles muito ácidos ou muito alcalinos não estão em condições propícias para a maioria das plantas. Dessa forma, orienta-se que a faixa de cultivo ideal está situada entre 5,5 – 6,5 e as classes de acidez são classificadas da seguinte maneira: < 5,0 alta; 5,1 – 5,9 média; 6 – 6,9 baixa (Aquino *et al.* 1993). Nas áreas de estudo, MN, AR e AG, o pH foi de 5,39, 5,84 e 5,84, respectivamente, e levando em consideração o intervalo e a classificação acima, AR e AG estão na faixa ideal de pH, enquanto MN um pouco abaixo. Em relação a acidez, as três áreas estão com a acidez média.

Buscando compreender o valor de pH obtido para MN, Vasconcelos (2022) encontrou em sua pesquisa menores valores para áreas preservadas, indicando que pode ter associação com o aumento de carbono orgânico com o passar dos anos, pois a sua disponibilidade acarreta maior oferta de matéria orgânica, o que aumenta a liberação de ácidos orgânicos, e, por fim, reflete no aumento da acidez. Oliveira (2015) também reforça tal resultado, destacando que uma área em pousio apresenta menores valores de pH devido ao maior aporte de carbono orgânico. Assim, o que se observou nesse estudo, é que a área de mata nativa, a qual obteve menor valor de pH, foi a que apresentou maior aporte de COT.

Na análise de condutividade elétrica foram obtidos os resultados de 36,63, 34,54 e 33,27 μ S/cm para MN, AR e AG, respectivamente. Miranda *et al.* (2006), ao estudarem a

composição química do solo sob diferentes coberturas vegetais, observaram que o resultado variou de acordo com o tipo de uso, em que a área sob pastagem apresentou menor valor e mata natural valores superiores, apontando ser um ecossistema mais conservado em termos de nutrientes, pois a CE é uma função da textura e estrutura do solo, ou seja, é sensível de acordo com o teor de água, matéria orgânica e solutos (Godoy *et al.* 2019).

Os valores de P encontrados foram de 0,55, 0,56 e 1,85 mg/kg para MN, AR e AG, respectivamente, ou seja, agricultura apresentou o maior valor, possivelmente devido a incorporação de adubo químico. Nascimento (2016) encontrou em seu estudo menores valores de P em áreas com componente arbustivo e regeneração natural, pontuando que em solos do semiárido, de forma geral, os teores são baixos, de modo que se torna necessário adotar técnicas que maximizem a ciclagem do P nativo.

Ao realizar uma análise do solo e obter baixos valores de P, isso indica que há necessidade de aplicá-lo para que as plantas cresçam e alcancem a produtividade almejada, para teores <5 mg/dm³, as culturas, em sua maioria, apresentarão baixa produtividade, principalmente em solos que possuem textura arenosa (Prezotti e Martins, 2013).

Em relação aos teores de COT, AG obteve o menor valor, 27,70 g/kg, enquanto MN e AR apresentaram resultados superiores, 66,28 e 62,89 g/kg, respectivamente, observando MN > AR > AG. Korkanç (2014) apontou que a quantidade de COT está relacionada com o uso da terra, ou seja, os valores obtidos em áreas florestadas foram superiores aqueles encontrados em áreas expostas, possivelmente por conta da matéria orgânica, estando em consonância com esse estudo, pois áreas de agricultura sofrem perturbações físicas, culminando em menores valores de COT.

O estudo de Valbrun *et al.* (2017), ao avaliar o COT em áreas de caatinga densa, caatinga aberta, agricultura e pastagem, obtiveram os valores de 10,59 g/kg, 16,63 g/kg, 7,88 g/kg e 15,52 g/kg, respectivamente, apontando maiores teores para caatinga aberta e pastagem em decorrência da concentração de serapilheira e ausência de intervenções do solo. Os autores ressaltaram ainda que a caatinga densa não apresentou maiores valores que a caatinga aberta por ser composta por árvores de porte maior quando comparadas a gramíneas, por exemplo, e isso, quando associado a lignina e outros compostos, interferem na liberação de COT.

Andrade *et al.* (2020) chegaram ao resultado de 12,2 g/kg, 10,8 g/kg, 9,1 g/kg e 7,2 g/kg para caatinga aberta, caatinga densa, pastagem e agricultura, respectivamente. Isso ocorre porque as duas primeiras áreas possuem maior aporte de material orgânico, enquanto a agricultura sofre com a perturbação do solo em função das práticas agrícolas.

A conversão de vegetação nativa é responsável por prejudicar a função da floresta

de “sumidouro de carbono”, nesse caso, a perda de COT torna-se um indicativo de que está havendo o uso intensivo do solo, podendo levar a degradação (Andrade *et al.*, 2020). Ao analisar se 10 anos de pousio foram suficientes para recuperar uma encosta anteriormente degradada no semiárido brasileiro, Almeida *et al.* (2017) observaram que o manejo do pousio reduziu a perda de carbono orgânico quando comparado a uma encosta degradada.

Tratando dos valores de nitrogênio total para as áreas, MN, AR e AG, estes foram 0,44, 0,37 e 0,51g/kg, respectivamente, com maior valor para agricultura, o que pode ser associado a algum tipo de adubação. Andrade *et al.* (2020) obtiveram o nitrogênio total para a região semiárida em áreas de caatinga aberta, encontrando 0,83 g/kg (0-10 cm) e 0,38 g/kg (10-20 cm) e áreas de caatinga densa, com valores de 0,75 g/kg (0-10 cm) e 0,28 g/kg (10-20 cm), pontuando que os baixos teores, mesmo em áreas preservadas, estão atrelados ao déficit hídrico, baixa umidade do solo e do ar e altas temperaturas.

Como os solos do semiárido apresentam pouco acúmulo de matéria orgânica, em razão da produção limitada de biomassa vegetal e rápida mineralização no período chuvoso, isso influencia em baixos valores de nitrogênio (Andrade *et al.*, 2020; Valbrun *et al.*, 2018). Dessa forma, observou-se que para todas as áreas deste trabalho o N encontra-se com baixos valores.

Os valores de Na^+ obtido nas análises foram 0,005, 0,004 e 0,006 cmol_c/kg para MN, AR e AG, respectivamente. Partindo do pressuposto que este é um elemento que pode afetar a qualidade e estrutura dos solos, destaca-se que os resultados encontrados nesta pesquisa estão bem baixos, não prejudicando as propriedades do solo e o crescimento das plantas (Nascimento, 2016).

Em relação ao K^+ , os resultados são de 0,013, 0,014 e 0,016 cmol_c/kg para MN, AR e AG, de modo respectivo. Aquino *et al.* (1993) aponta que o K^+ é importante no estímulo a vegetação, ajuda na fixação de nitrogênio, regula o uso da água e aumenta a resistência a seca, no entanto, de acordo com os valores observados, este elemento encontra-se baixo em todas as áreas estudadas. Em detrimento das propriedades deste elemento, como maior mobilidade por ser monovalente, a lixiviação pode ocorrer com mais facilidade (Benites *et al.*, 2010; Ramos *et al.*, 2023).

Os teores de Ca^{2+} foram 1,78 (MN), 1,56 (AR) e 1,80 cmol_c/kg (AG), e analisando os níveis propostos por Aquino *et al.* (1993), AR está com teor baixo, enquanto MN e AG estão com teores médios. Já os teores de Mg^{2+} foram 0,54 (MN), 0,68 (AR) e 1,58 cmol_c/kg (AG), enquadrando-se como baixo para MN, médio para AR e alto para AG (Aquino *et al.*, 1993). A

literatura afirma que o Ca^{2+} estimula o desenvolvimento das raízes e o Mg^{2+} é parte fundamental da molécula da clorofila.

Para a acidez potencial, os valores encontrados foram de 1,45 (MN), 0,66 (AR) e 0,73 (AG) cmol_c/kg . De acordo com o estudo de Vasconcelos (2022), é coerente que a acidez potencial seja maior em uma área preservada, pois há maior decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos do solo, assim, com o consumo da MO, há maior acidez. Freitas *et al.* (2017) também observaram em seu estudo maior valor de acidez potencial em áreas de mata possivelmente pelo maior teor de matéria orgânica.

Partindo para a SB, os valores obtidos foram: 2,34, 2,26 e 3,40 cmol_c/kg para MN, AR e AG. Para Tavares Filho *et al.* (2020), a SB funciona como indicador da fertilidade do solo, de forma que, quanto maior o resultado, maior será a disponibilidade de nutrientes. Utilizando a interpretação por classe, Prezotti e Martins (2013) definiram que a $\text{SB} < 2$ é considerada baixa, 2,0 – 5,0 média, > 5 alta, pontua-se então que para esse estudo as três áreas estão com a SB classificada como média. É importante frisar que com o aumento na SB há diminuição nos valores de acidez potencial, o que pode ser observado nesse estudo, em que AG, com maior valor de SB, apresentou menor valor de acidez potencial (0,71 cmol_c/Kg) (Silva *et al.*, 2023).

Em relação a CTC, esta, por sua vez, favorece a manutenção da fertilidade do solo por um longo período, ou seja, quanto menor o seu valor, menor a conservação dos elementos essenciais às plantas, de forma que o desenvolvimento vegetal será afetado (Barbosa e Oliveira, 2022). Prezotti e Martins (2013) definiram que a CTC (T) $< 4,5$ é baixa, 4,5 – 10 é média, > 10 é alta, em que solos que possuem $\text{CTC} < 4,5$ apresentam baixa capacidade tampão e são menos resistentes as alterações do pH. Baseado nisso, os resultados encontrados foram: 3,79 cmol_c/kg para MN, 2,92 cmol_c/kg para AR e 4,13 cmol_c/kg para AG, concluindo que todos estão com a CTC baixa.

A saturação de bases em porcentagem (V%) pode ser classificada da seguinte forma: igual ou superior a 50% são solos eutróficos, com alta fertilidade, e aqueles com menos de 50% são distróficos, com baixa fertilidade (Tavares Filho *et al.*, 2020). Assim, todas as áreas são consideradas com solos eutróficos, pois os valores são de: 61,74% (MN), 77,40% (AR) e 82,32% (AG). Esse resultado vai de encontro a classificação dos solos da região (Figura 4), pois todas as amostras coletadas, conforme mapa da área, são solos Argissolos, os quais possuem fertilidade natural de média a alta e podem apresentar alta saturação por bases.

Conforme Prezotti e Martins (2013), a aplicação de calagem é feita para elevar a saturação de bases de acordo com a cultura em cultivo, esta, por sua vez, geralmente varia de

50 – 80%. Os autores dividem ainda a V% em três classes, sendo elas: < 50 baixo; 50 – 70 médio; > 70 alto. Assim, MN está com a V% média, enquanto AR e AG estão com a V% alta.

A respeito do alumínio, a análise de alumínio foi realizada, entretanto, havia tão pouco desse elemento na área que não foi possível calcular, pois na análise as amostras viraram de cor com menos de 0,1 ml.

Em relação a MN, foi possível observar que a Ds não atingiu valores críticos, o que demonstra que não há redução da matéria orgânica e compactação do solo, pelo contrário, apresentou um bom resultado como consequência do manejo adotado, pois trata-se de uma área de preservação. Destaca-se que é a área com o maior teor de COT, confirmado o que a literatura aponta, áreas preservadas apontam maiores teores quando comparadas com áreas expostas e áreas voltadas para agricultura, as quais sofrem com perturbações físicas.

Assim, é importante frisar, que a implementação e o devido manejo de uma UC podem aumentar os teores de COT e alterar de maneira significativa os parâmetros físico-químicos, pois a diferença entre o COT na MN e o COT na AG foi discrepante. Isso pode ser visualizado também na AR, a qual, apesar de estar inserida na poligonal da RPPN, sofreu com impactos por um período, até que estes foram cessados e ações de reflorestamento foram conduzidas. O processo de reflorestamento e o fato de a área não apresentar nenhuma intervenção antrópica também culminou no resultado positivo dos teores de COT, os quais se aproximaram dos valores obtidos na MN. Portanto, para além da implementação de uma UC, também é necessário que haja o manejo correto, não é o suficiente apenas delimitar uma área, monitoramento, fiscalização e ações de recuperação são imprescindíveis para alcançar a conservação.

5.2 Estatística

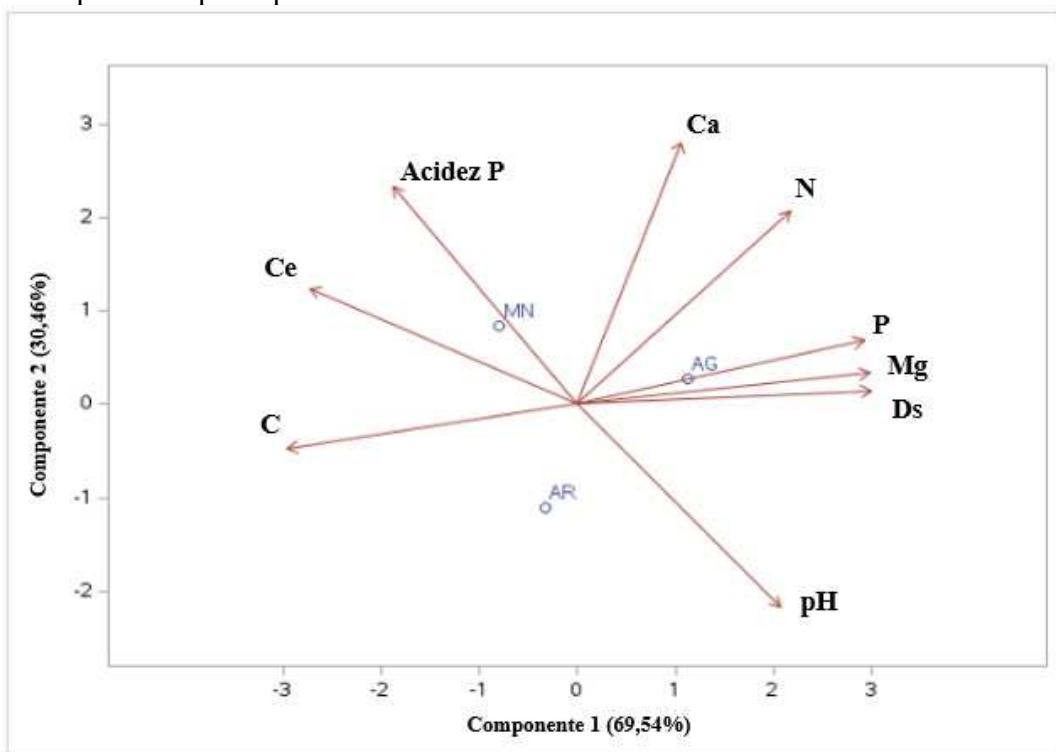
5.2.1 Análise de Componentes Principais

Com os resultados das análises de Ds, COT, N, pH, CE, P, Acidez Potencial, Ca e Mg, obteve-se o gráfico da matriz de correlação entre as variáveis e os componentes principais, conforme Figura 7. Apesar das variáveis Na e K terem sido determinadas para este estudo, ambas não foram incluídas na ACP por apresentarem valores bem baixos.

Sabe-se que na ACP os componentes principais (CP) que expliquem apenas uma pequena proporção da variação dos dados devem ser descartados, sendo importante que os primeiros componentes expliquem em torno de 80 – 90% da variância total (Manly; Alberto,

2019). Neste estudo, observa-se na Figura 7, que o componente 1 explica 69,54% da variância e o componente 2, explica 30,46%, de forma que os dois juntos explicaram 100%. Isso pode ser atribuído ao fato de que há um número pequeno de observações, que no presente estudo são as três áreas.

Figura 7 – Gráfico Biplot da matriz de dados com as variáveis e áreas segundo os componentes principais



Fonte: Elaborado pela autora no software SAS (2024). MN: mata nativa; AR: área em regeneração; AG: agricultura.

No 1º quadrante (superior direito), está destacada a área de AG, caracterizada com altos valores das variáveis como Ca, N, P, Mg e Ds, ou seja, isso indica que elas são mais influentes ou predominantes, e baixo teor de C. No 2º quadrante (superior esquerdo), observa-se a área de MN, caracterizada por apresentar altos valores das variáveis Acidez Potencial e CE, sendo estas as características marcantes, e baixos valores de pH. A respeito da AR, situada no 3º quadrante (inferior esquerdo), visualiza-se próxima a variável C, indicando, possivelmente, que este atributo é importante para áreas em regeneração, e apresenta baixos valores de Ca, N, P, Mg e Ds. Por fim, o 4º quadrante (inferior direito), inclui apenas o pH, sem destacar quaisquer categorias, o que pode sugerir que esta variável é importante para todas as categorias.

O gráfico biplot demonstra que há alta variabilidade dos dados, sendo observado, inclusive, uma correlação inversa entre acidez potencial e pH, ou seja, quanto menor o pH, maior a acidez e vice-versa. Este resultado vai de encontro ao exposto no tópico anterior, em

que a área de MN, que apresentou menor de valor de pH quando comparada as outras por conta do maior teor de COT, foi a que apresentou maior acidez.

De forma sucinta, o 1º quadrante (superior direito), possui os vetores que têm valores positivos em ambos os componentes, CP 1 e CP 2; o 2º (superior esquerdo), apresenta baixos valores para CP 1 e altos para CP 2; o 3º (inferior esquerdo), é formado por valores baixos em ambos os CP, e o 4º (inferior direito), valores altos para CP 1 e baixos para CP 2. Dessa forma, torna-se importante avaliar os valores da CP's, conforme Tabela 9.

Tabela 9 – Autovetores das componentes principais

AUTOVETORES

	CP 1	CP2
Ds	0,397912	0,040180
C	-,392576	-,106751
N	0,283519	0,427037
pH	0,280441	-,431725
CE	-,366173	0,240514
P	0,392761	0,105158
Acidez Potencial	-,256849	0,464518
Ca	0,133900	0,571991
Mg	0,395317	0,079919

Fonte: Elaborado pela autora no software SAS (2024).

Fazendo um corte no CP 1 para os autovetores maiores que 0,3, observa-se que as variáveis que melhor caracterizaram as áreas foram Ds (0.397912), C (-0.392576), CE (-0.366173), P (0.392761) e Mg (0.395317). E um corte acima de 0,4 para o CP2, as variáveis são N (0,427037), pH (-,431725), Acidez Potencial (0,464518) e Ca (0,571991).

No 1º quadrante, em que a AG apresentou valores positivos para Ca, N, P, Mg e Ds, pode-se perceber que a densidade é um dos atributos que afasta essa área de uma área preservada. Levando em consideração que a aeração é fundamental para suprir tanto as necessidades fisiológicas da planta como a distribuição da água ao longo do perfil, a compactação impacta diretamente no crescimento radicular (Lima *et al.*, 2021).

O estudo de Falcão *et al.* (2020) apontou que entre áreas de solo exposto, sistema de preparo convencional, sistema de plantio direto, cana-de-açúcar, pastagem permanente e mata nativa, as que apresentaram maiores valores de Ds foram solo exposto, preparo convencional, plantio direto e cana-de-açúcar, e os menores foram pastagem permanente e mata nativa. Os autores relatam que tal resultado pode estar atrelado a ausência de pastejo e maiores valores de COT. Dessa forma, o 1º quadrante permite observar que AG foi a área com menor qualidade estrutural, em virtude da Ds e menor teor de COT, verificando que há relação direta

entre o tipo de uso e a Ds.

No tocante ao P, o estudo de Carneiro *et al.* (2023) identificou que entre as áreas de caatinga sob pastejo, silviagrícola e monocultivo, todas localizadas no semiárido cearense, a que apresentou maior teor foi a silviagrícola. Luna (2021) também observou dentre as suas áreas, incluindo agricultura e caatinga densa, que a de maior valor foi agricultura, possivelmente em virtude da aplicação de fertilizantes químicos, levando em consideração que no semiárido os solos apresentam baixos teores de P. Desse modo, o mesmo aconteceu neste trabalho, em que AG deteve maior concentração de P.

Ao se deparar com o Mg, nota-se que esse nutriente apresentou maior teor na AG, sendo assim, Costa *et al.* (2018), destacam que apesar de esperar altos teores de nutrientes como Ca e Mg em áreas preservadas, valores baixos também são condizentes, pois estão relacionados com a capacidade de equilíbrio da ciclagem, o que reduz a disponibilidade deles, além disso, solos com maiores taxas de acidez são responsáveis por diminuir a disponibilidade de bases trocáveis.

Iwata *et al.* (2012), ao encontrar maiores valores de Ca e Mg para um sistema agroflorestal quando comparado a uma área de floresta nativa, pontuou que isso ocorre porque o ambiente de mata nativa está equilibrado, então pode ser que os nutrientes estejam sendo rapidamente absorvidos pelas plantas, não permitindo a disponibilização no solo. Os autores colocam ainda que o maior valor em áreas cultivadas pode ser em decorrência das culturas anuais, revolvendo o solo e expondo as frações orgânicas.

Posto isso, Ramos *et al.* (2023), avaliando atributos dos solos em diferentes usos e manejos no semiárido brasileiro, obtiveram resultados que indicavam a área preservada com o pH levemente ácido em virtude da ausência de Ca, Mg, K e Na. Estes resultados vão de encontro ao observado no gráfico biplot, 2º quadrante, em que a mata nativa apresentou valores positivos para CE e Acidez Potencial, e baixos para pH e Mg.

Acerca disso, Andrade *et al.* (2012) afirmam que os menores valores de pH em áreas de mata nativa podem estar relacionados com o maior teor de matéria orgânica no solo por conta do seu caráter ácido. Sobre a CE, Barbosa e Oliveira (2022) explicam que valores altos podem estar associados a processos de degradação, no entanto, mesmo esse parâmetro estando correlacionado de forma positiva para a área de MN, ficou enquadrado no limite quanto à salinidade e sodicidade.

No entanto, não se pode esquecer que a CE é função da textura e estrutura do solo, e no estudo de Godoy *et al.* (2019), os autores pontuaram que houve uma correlação positiva com a matéria orgânica, o que indica que a área MN está mais conservada.

Quanto ao C, destacado para AR, Sousa *et al.* (2012) afirmam que o processo de exclusão do sobrepastoreio promove impactos positivos no teor de COT, assim, ao avaliar duas áreas, uma com sobrepastoreio e outra degradada em processo de pousio, a que melhor apresentou teores de C foi aquela em pousio, com as concentrações variando de 4,1 a 37,3%. Isto explica o resultado encontrado no 3º quadrante, em que o teor de COT caracterizou a AR.

5.2.2 MANOVA

Conforme ressaltado na metodologia, a Análise da Variância Multivariada (MANOVA) foi realizada para identificar se há diferença entre as três áreas por meio dos atributos químicos (COT, N, pH, CE, P, Acidez Potencial, Ca e Mg). De acordo com Manly e Alberto (2019), quando se tem várias variáveis e amostras, há quatro estatísticas para testar a hipótese de que todas as amostras são de população com mesmo vetor médio, sendo elas: Lambda de Wilks, Maior raiz de Roy, Traço de Pillai e Traço de Lawley-Hotelling, onde espera-se que todos os resultados apresentem níveis de significância similares, não sendo necessário escolher entre um deles. Dessa forma, os resultados obtidos pelo SAS estão na Tabela 10.

Tabela 10 – MANOVA e aproximações F para todas as áreas

MANOVA

Estatísticas	Valor	Valor F	Gl Num	Gl Den	Pr > F
Lambda de Wilks	0,02210283	3,58	16	10	0,0231
Maior raiz de Roy	1,62372513	3,24	16	12	0,0226
Traço de Pillai	15,02383112	4,47	16	5,4118	0,0456
Traço de Lawley-Hottelling	12,72820032	9,55	8	6	0,0065

Fonte: Elaborado pela autora no software SAS (2024). Gl Num: graus de liberdade do numerador; Gl Den: graus de liberdade do denominador; Pr > F: probabilidade maior do que F do valor-p.

Pela Tabela 10 pode-se observar que todos os valores-p são menores que 0,05, com valor de 0,02, podendo rejeitar a H_0 e confirmar que há pelo menos uma diferença significativa entre os vetores de média das áreas, conforme os 4 testes estatísticos.

Queiroz *et al.* (2019) explicam que a diferenciação entre os tratamentos pode ocorrer, principalmente, em razão da perturbação antrópica por meio de práticas de movimentação do solo, a exemplo da aração e gradagem, condutas comumente adotadas em práticas convencionais de agricultura que promovem o rompimento dos agregados e comprometem a estrutura do solo. Pavinato, Merlin e Rosolem (2009) também reconhecem que o sistema de manejo interfere na disponibilidade de nutrientes em detrimento das práticas de

cultivo.

Partindo desse resultado, também foi testado o contraste para AG vs AR, AG vs MN e AR vs MN, podendo observar os resultados nas Tabelas 11, 12 e 13.

Tabela 11 – MANOVA e aproximações F para o contraste AG vs AR

MANOVA CONTRASTE AG vs AR

Estatística	Valor	Valor F	Gl Num	Gl Den	Pr > F
Lambda de Wilks	0,09182751	6,18	8	5	0,0301
Maior raiz de Roy	0,90817249	6,18	8	5	0,0301
Traço de Pillai	9,88998241	6,18	8	5	0,0301
Traço de Lawley-Hottelling	9,88998241	6,18	8	5	0,0301

Fonte: Elaborado pela autora no software SAS (2024). Gl Num: graus de liberdade do numerador; Gl Den: graus de liberdade do denominador; Pr > F: probabilidade maior do que F do valor-p.

Tabela 12 – MANOVA e aproximações F para o contraste AG vs MN

MANOVA CONTRASTE AG vs MN

Estatística	Valor	Valor F	Gl Num	Gl Den	Pr > F
Lambda de Wilks	0,08815578	6,46	8	5	0,0274
Maior raiz de Roy	0,91184422	6,46	8	5	0,0274
Traço de Pillai	10,34355603	6,46	8	5	0,0274
Traço de Lawley-Hottelling	10,34355603	6,46	8	5	0,0274

Fonte: Elaborado pela autora no software SAS (2024). Gl Num: graus de liberdade do numerador; Gl Den: graus de liberdade do denominador; Pr > F: probabilidade maior do que F do valor-p.

Tabela 13 – MANOVA e aproximações F para o contraste AR vs MN

MANOVA CONTRASTE AR vs MN

Estatística	Valor	Valor F	Gl Num	Gl Den	Pr > F
Lambda de Wilks	0,30282766	1,44	8	5	0,3580
Maior raiz de Roy	0,69717234	1,44	8	5	0,3580
Traço de Pillai	2,30220824	1,44	8	5	0,3580
Traço de Lawley-Hottelling	2,30220824	1,44	8	5	0,3580

Fonte: Elaborado pela autora no software SAS (2024). Gl Num: graus de liberdade do numerador; Gl Den: graus de liberdade do denominador; Pr > F: probabilidade maior do que F do valor-p.

A Tabela 11, com valores-p menores que 0,05, no caso 0,03, aponta que os vetores de média de AG e AR diferem entre si, bem como o resultado da Tabela 12, AG e MN, ainda mais significativo, com o resultado de 0,02.

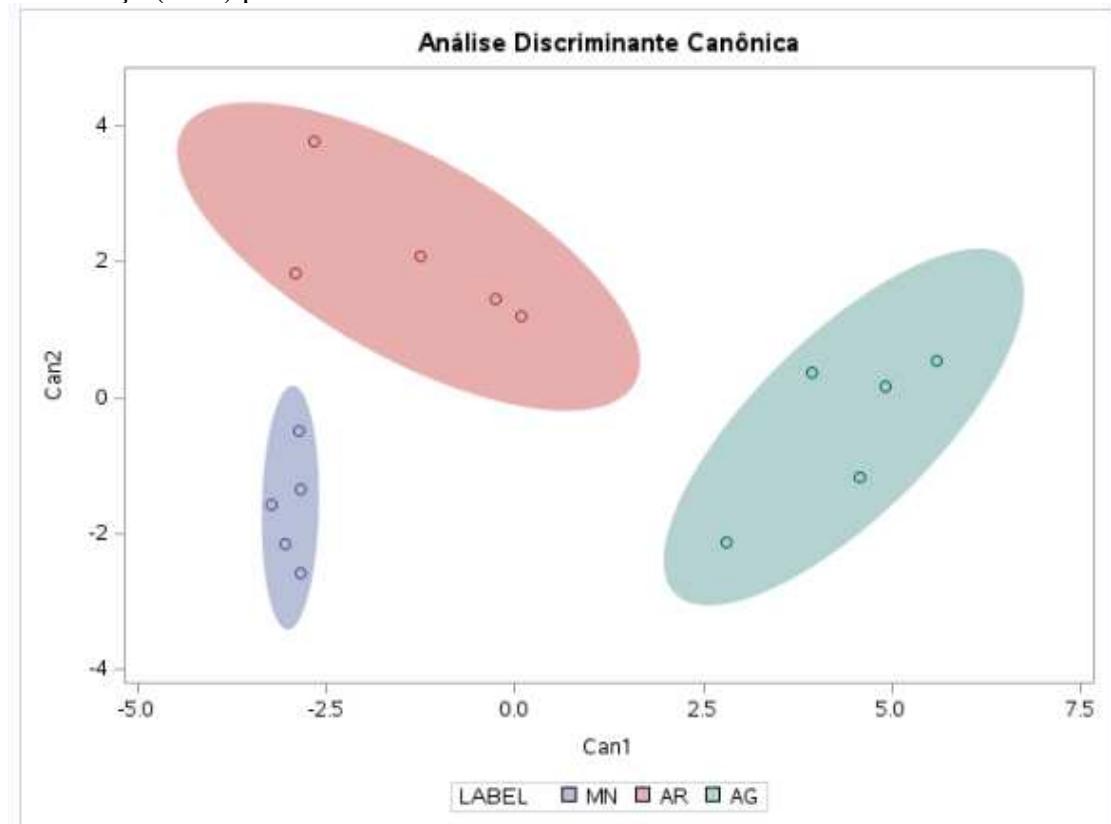
No entanto, pela Tabela 13 observa-se que o contraste entre AR e MN não foi significativo (0,3), de modo que não há diferença nos vetores de média, neste caso a H_0 não foi rejeitada. Esse resultado pode se dar em virtude do estágio de regeneração que a AR se encontra,

onde o pousio e o reflorestamento têm impactado de forma positiva, fazendo com que alguns parâmetros em estudo apresentassem valores próximos a MN. Ferreira (2015) conseguiu identificar que o pousio em uma área degradada forneceu melhorias no que concerne aos atributos físico-químicos, bem como aumento do teor de carbono orgânico.

5.2.3 Análise de Função Discriminante Canônica

A análise discriminante canônica procura identificar combinações lineares para separar dois ou mais grupos, o que a torna uma técnica importante para encontrar as variáveis que os distinguem (Muisis; Hongyu; Silva, 2023). Para esta pesquisa, o intuito foi averiguar o quanto as áreas de MN, AR e AG se distanciam com base nos atributos químicos (COT, N, pH, CE, P, Acidez Potencial, Ca e Mg), cabe destacar que para a análise foram utilizados os dados com repetições, observando o resultado na Figura 8.

Figura 8 – Gráfico discriminante para separação das áreas de estudo com elipses de confiança (95%) para os vetores de médias



Fonte: Elaborado pela autora no software SAS (2024). MN: mata nativa; AR: área em regeneração; AG: agricultura.

De acordo com a imagem acima, a qual apresenta as elipses de confiança de 95% dos vetores de média para cada tratamento, as áreas foram separadas em três grupos distintos,

estando estes representados por cores e tamanhos diferentes, onde a cor azul é a MN, vermelho AR e verde AG. Portanto, analisando os atributos químicos, estatisticamente as áreas se comportam em três categorias distintas, obtendo os coeficientes canônicos CAN 1 e CAN 2, de forma que das oito variáveis originais, duas variáveis canônicas foram suficientes para demonstrar a variação total (Tabela 14).

Tabela 14 – Coeficientes Canônicos para a análise discriminante

Coeficientes Canônicos		
Variáveis	CAN 1	CAN 2
COT	-0,867623677	1,600937818
N	3,527016332	-6,968887104
pH	4,413146391	5,747222645
CE	-0,003262647	0,022474464
P	0,082410954	0,218275579
Acidez Potencial	1,196108274	-0,048821231
Ca	-0,273773242	-2,665535071
Mg	4,216300734	1,637763225

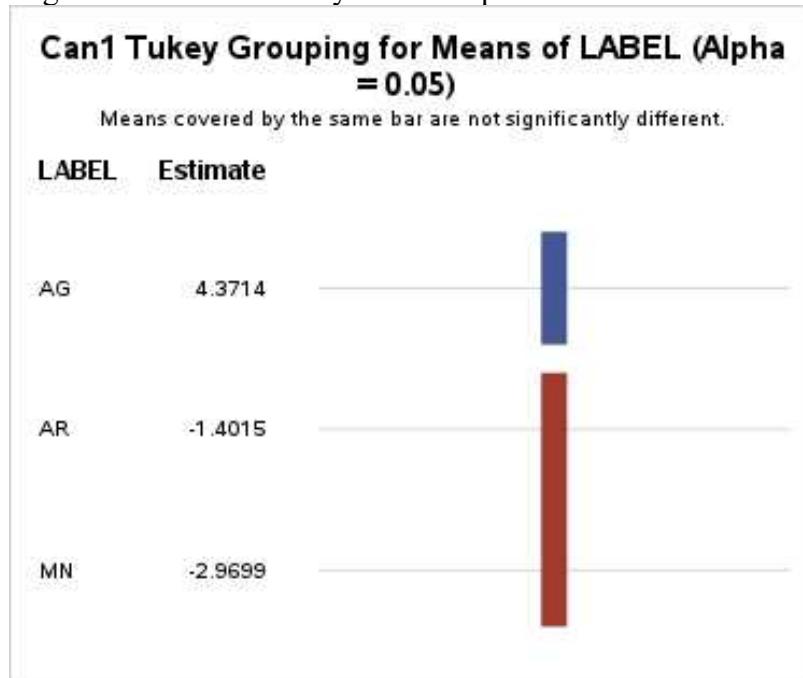
Fonte: Elaborado pela autora no software SAS (2024).

O trabalho de Rosário *et al.* (2008), que também utilizou a ADC para identificar quais variáveis tinham mais peso na discriminação dos tratamentos, fez um corte para aquelas com valores acima de 2. Trazendo a mesma perspectiva para este estudo, com base na Tabela 14, considera-se então que a CAN 1 foi suficiente para separar as áreas, e que, pH (4,41), Mg (4,21) e N (3,53), nesta ordem, foram as variáveis que melhor ajudaram a discriminar.

Ademais, também é importante avaliar os pontos dentro de cada área, pois a dispersão dos mesmos demonstra variabilidade, neste caso, AR e AG apresentaram maiores variabilidades, enquanto MN se comportou de forma mais estável, com os resultados das pontos coletados próximos entre si.

Com a ADC foi possível concluir que as três áreas se separaram, e para além dessa análise, realizou-se o Teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade, de forma a confirmar o resultado anterior, comumente utilizado para comparar as médias entre os grupos e definir se há diferenças significativas. O resultado pode ser visto na Figura 9.

Figura 9 – Teste de Tukey realizado para as áreas



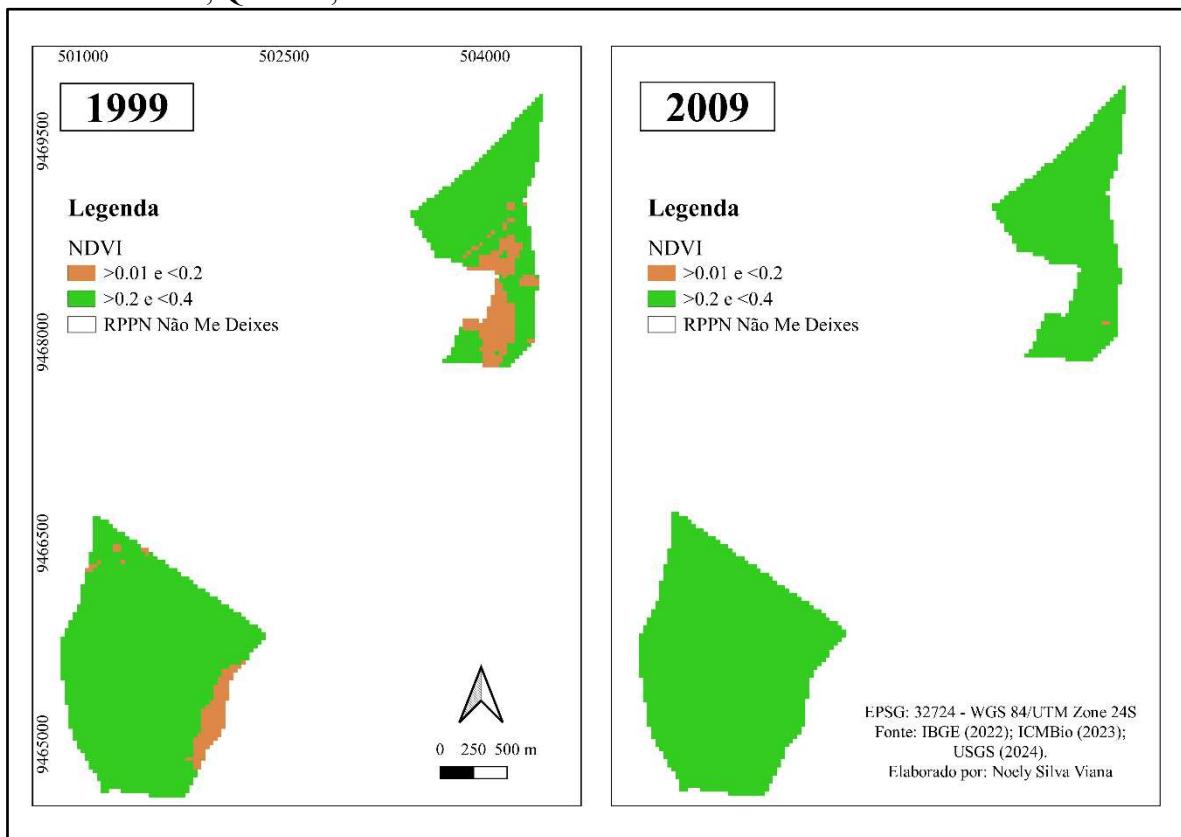
Fonte: Elaborado pela autora no software SAS (2024).

Pela Figura 9, nota-se que as médias dos grupos formados por AR e MN são significativamente diferentes da média do grupo AG, no entanto, AR e MN não apresentam diferenças significativas, resultado de acordo com o Teste F, apresentado no tópico anterior.

5.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

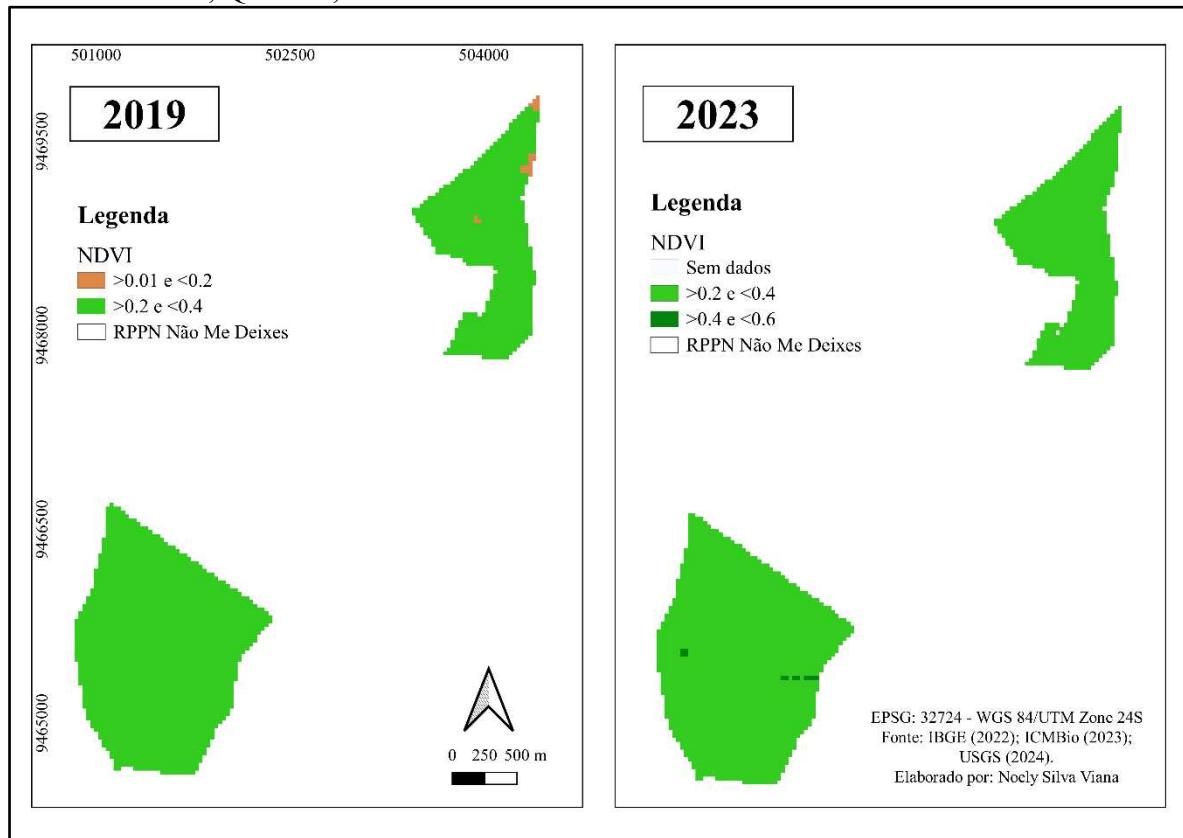
Executado o NDVI por meio da Equação 2 no software QGIS, foram obtidos os mapas (Figuras 10 e 11) dos resultados para os anos de 1999, 2009, 2019 e 2023. Para 1999, 2009 e 2019 as classes variaram de solo exposto a vegetação arbustiva aberta, enquanto para 2023 variaram de vegetação arbustiva aberta a vegetação arbustiva semiaberta, demonstrando evolução nas classes da área ao longo desse período.

Figura 10 – Mapa de NDVI obtido pela Equação 2 para os anos de 1999 e 2009 na RPPN Não Me Deixes, Quixadá, CE



Fonte: Autora (2024).

Figura 11 – Mapa de NDVI obtido pela Equação 2 para os anos de 2019 e 2023 na RPPN Não Me Deixes, Quixadá, CE



Fonte: Autora (2024).

As classes de NDVI construídas foram baseadas na classificação de Peruzzo *et al.* (2019), conforme Tabela 15.

Tabela 15 – Classificação do NDVI

NDVI	Classes
$\leq 0,0$	Água e nuvem
$\geq 0,01$ e $\leq 0,2$	Solo exposto
$\geq 0,201$ e $\leq 0,4$	vegetação arbustiva aberta
$\geq 0,401$ e $\leq 0,6$	vegetação arbustiva semiaberta
$\geq 0,601$ e $\leq 0,8$	vegetação arbustiva arbórea

Fonte: Adaptada de Peruzzo *et al.* (2019).

Por meio do QGIS, mais especificamente do comando r.report, foi gerado um arquivo com as áreas de cada classe em hectares, conforme Tabela 16, possibilitando interpretar melhor os resultados.

Tabela 16 – Classificação obtida com NDVI para os anos de 1999, 2009, 2019 e 2023 da área da RPPN

Classes NDVI	Área (ha)				Área (%)			
	1999	2009	2019	2023	1999	2009	2019	2023
< 0	0	0	3,04	0	0	0	1,01	0

Classes NDVI	Área (ha)				Área (%)			
	1999	2009	2019	2023	1999	2009	2019	2023
0,0 – 0,2	32,85	0,18	101,70	10,29	10,98	0,06	33,91	3,43
0,2 – 0,4	266,40	299,30	175,70	143	89,02	99,94	58,57	47,66
0,4 – 0,6	0	0	15,48	145,9	0	0	5,16	48,64
> 0,6	0	0	0	0	0	0	0	0
Pixels sem dados	0	0	4,05	0,81	0	0	1,35	0,27
Total	299	299	300	300	100	100	100	100

Os menores valores encontrados para os anos de 1999, 2009, 2019 e 2023 foram 0,13, 0,20, 0,15 e 0,25, respectivamente, enquanto os maiores foram, 0,32, 0,36, 0,37 e 0,42, respectivamente. Conforme a classificação utilizada, os valores entre 0,01 – 0,2 referem-se a solo exposto, representando em 1999 cerca de 32,85 ha e não sendo identificado em 2023. A classe de vegetação arbustiva aberta apresentou evolução ao longo do tempo, passando de 266,58 ha em 1999 para 298,26 ha em 2023, bem como houve o surgimento de vegetação arbustiva semiaberta em 2023, em torno de 1,08 ha.

Aquino *et al.* (2018) afirmam que a classe entre 0,01 – 0,2 pode representar alvos urbanos e áreas desmatadas, assim como Brito *et al.* (2017) e Lima, Oliveira e Moura-Fé (2021) também associam esse intervalo a solo exposto. Albuquerque, Ribeiro e Sales (2019) enfatizam que maiores valores de NDVI estão associados a áreas que há vegetação com mais vigor, enquanto os menores valores podem ser áreas de vegetação estressada ou despídas dela. Por meio dos dados obtidos de NDVI da RPPN, observou-se que no ano de 1999 as áreas expostas constituíam um valor representativo, mas à medida que o solo exposto diminuiu, a vegetação arbustiva aberta aumentou.

Araújo (2011), ao estudar a região semiárida brasileira, pontuou que a vegetação esparsa expõe o solo e favorece a ocorrência de processos erosivos. No entanto, a condição da cobertura vegetal nem sempre foi esta, mas que ações como uso intensivo de lenha, desmatamentos e queimadas culminaram no desaparecimento de espécies nativas e raleamento da vegetação. Coelho *et al.* (2014) também reforçam que o homem vem contribuindo com o aumento de áreas degradadas, estando esse processo muitas vezes associado à exploração de áreas para a agricultura e pecuária.

A respeito da vegetação, sabe-se que esta pode apresentar maiores valores de NDVI em imagens do período chuvoso em comparação ao período seco, pois a precipitação possui forte influência sobre as características da vegetação (Lourenço *et al.*, 2015), contudo, a presença de nuvens no primeiro semestre do ano dificulta a utilização das imagens de satélite. Assim, mesmo com o uso de imagens do segundo semestre do ano, a área apresentou evoluções

positivas com o passar do tempo, tanto a diminuição de áreas expostas, como o surgimento de uma nova classe, a vegetação arbustiva semiaberta, com 1,08 ha em 2023.

No trabalho de Lima, Oliveira e Moura-Fé (2021), a vegetação mais vigorosa e adensada está situada no intervalo de 0,34 – 1, solo exposto de 0 – 0,2 e os primeiros níveis de vegetação 0,21 – 0,36, onde esta última caracteriza grande parte do território cearense, uma vegetação rala e esparsa. Buscando compreender melhor a área em questão nessa pesquisa, com o auxílio do estudo de Gomes *et al.* (2022), o qual produziu um mapa com as unidades fitogeológicas do estado do Ceará, foi possível concluir que a RPPN é classificada como caatinga do cristalino.

Moro *et al.* (2015) afirmam que a caatinga do cristalino é o tipo vegetacional mais presente ao longo do Ceará, sendo caracterizado com vegetação decídua e espinhosa, na qual a maioria das árvores e arbustos perdem as folhas durante o período seco para de evitar o estresse hídrico. Destaca-se também que este tipo, por sua vez, ocorre em solos rasos e pedregosos, os quais possuem boa fertilidade, mas não conseguem “segurar” a água em virtude da baixa profundidade.

No que concerne a estrutura da vegetação, pode apresentar porte arbóreo, arbustivo denso ou arbustivo aberto, com espécies características como a *Anadenanthera colubrina* (Angico), *Mimosa tenuiflora* (Jurema), *Croton blanchetianus* (Marmeiro), todavia, atividades como pastoreio excessivo, produção de carvão e desmatamento tem colocado em risco a caatinga do cristalino (Moro *et al.*, 2015). O plano de manejo da RPPN, realizado no ano de 2012, confirma a ocorrência das espécies nativas que citadas anteriormente, como também de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. (Pereiro), *Mimosa caesalpiniifolia* Benth. (Sabiá), *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Jurema preta), dentre outras, mas no geral, foram registradas herbácea, arbórea e arbustiva (Asa Branca, 2012).

Ainda abordando a questão do número expressivo de áreas expostas logo quando a RPPN foi implementada, Fernandes e Queiroz (2018) explicam que a caatinga do cristalino representa a típica paisagem do sertanejo, a qual possuí solos propícios para agricultura e com grandes extensões destinadas a essa atividade e criação de animais.

A respeito do aumento de áreas vegetadas, vai de encontro ao trabalho de Kalisch *et al.* (2020), em que foi aplicado o NDVI para verificar as condições da vegetação em uma RPPN e os resultados mostraram a evolução da vegetação rasteira para arbórea-arbustiva ao longo dos anos, assim como a diminuição de áreas de solo exposto. Macedo *et al.* (2020) também obtiveram resultados que indicaram que a implementação de um parque de proteção

integral permitiu a regeneração da área, levando em consideração que em uma UC de nível integral os usos são restritos.

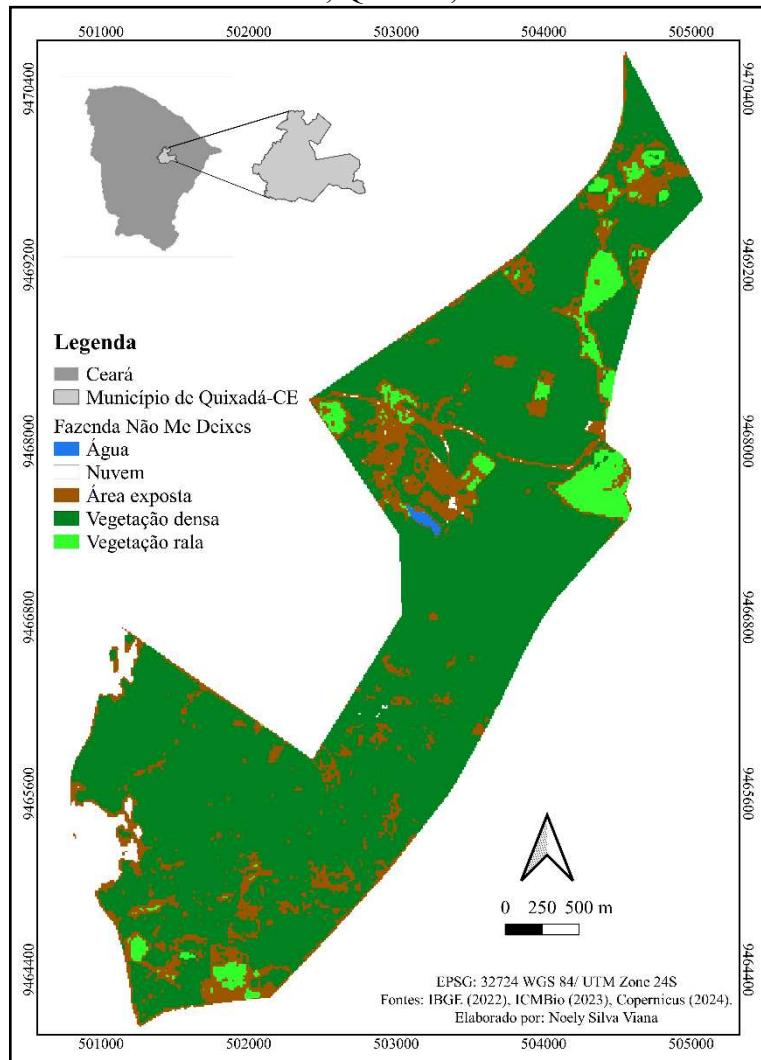
Garcia *et al.* (2020) puderam visualizar que, apesar do aumento de áreas vegetadas em um Parque Nacional localizado no semiárido brasileiro, foram constatadas áreas antropizadas em trechos de acessos, como residências, criação de gados, agricultura e desmatamento. Dessa forma, ressalta-se que além da importância para saber os níveis de vegetação, esse tipo de estudo auxilia no gerenciamento constante das áreas, identificando a ocorrência de impactos. Teixeira *et al.* (2022) também reforça que o monitoramento da cobertura vegetal com o uso do NDVI tem se mostrado uma ferramenta importante para avaliar a pressão antrópica em UC's.

Todavia, para além da implementação de uma UC, apenas instituí-la não é garantia de regeneração e preservação, é preciso que ações de recuperação sejam implementadas em áreas anteriormente degradadas, abolir práticas que causem impactos, como invasão de animais, além do monitoramento constante, principalmente em áreas extensas. No caso da RPPN Não Me Deixes, gados que eram criados na Fazenda e por vezes invadiam a área protegida foram retirados, não havendo criação atualmente mesmo que na fazenda, além de ações de reflorestamento que foram executadas.

5.4 Classificação Supervisionada

Conforme ressaltado, foram obtidos 35 pontos coletados com GPS para direcionar as amostras de treinamento, gerando 15 polígonos para a classe nuvem, 7 polígonos para água, 40 para área exposta, 26 para vegetação densa e 30 para vegetação rala, totalizando 118 amostras de treinamento. A classificação supervisionada, executada por meio do algoritmo da distância mínima, utilizando o software QGIS versão 3.16.16, resultou no mapa da Figura 11.

Figura 12 – Mapa de Classificação supervisionada da Fazenda Não Me Deixes, Quixadá, CE



Fonte: Autora (2024).

Após a classificação, o plugin AcATAma foi utilizado para avaliação da precisão, no qual o algoritmo propôs, por meio do método estratificado, o uso de 396 pontos para classificar a área, distribuídos da seguinte maneira: 1 para água, 14 para nuvem, 45 para área exposta, 318 para vegetação densa e 18 para vegetação rala, conforme matriz de confusão observada na Tabela 17.

Tabela 17 – Classificação gerada pelo plugin AcATAma

Classes	Água	Nuvem	Área exposta	Veg. densa	Veg. Rala	Total
Água	1	0	0	0	0	1
Nuvem	0	10	0	0	0	10
Área exposta	0	3	35	20	0	58
Veg. Densa	0	1	8	298	2	309

Classes	Água	Nuvem	Área exposta	Veg. densa	Veg. Rala	Total
Veg. Rala	0	0	2	0	16	18
Total	1	14	45	318	18	396

Acurácia Global (%): 91

Fonte: Autora (2024). Veg: vegetação.

A Tabela 15 permite observar que os valores dispostos na diagonal, são aqueles classificados de forma correta tanto durante a classificação, como durante a validação. Assim, a Acurácia Global encontrada foi de 91%, em que, dos 396 pontos distribuídos, cerca de 360 estavam coerentes com a classificação. De acordo com Congalton e Green (1999), o valor da acurácia se encaixa no intervalo de 81-100%, definido como excelência.

Analizando as taxas de erro na Tabela 15, observa-se que a classe água não apresentou nenhuma, tendo sido corretamente classificada. A respeito da classe nuvem, mesmo executando as amostras de treinamento com o máximo de cuidado, constatou-se que os pixels das bordas se confundiram com solo exposto, neste caso, dos 14 pontos treinados, 10 foram corretamente classificados, enquanto 3 foram classificados como solo exposto e 1 como vegetação densa.

Para a área exposta, dos 45 pontos classificados, 35 foram considerados de fato como área exposta, mas 8 foram classificados como vegetação densa e 2 como vegetação rala. No caso da vegetação densa, dos 318 pontos, 298 foram classificados de forma correta e 20 pontos classificados como área exposta. Por fim, a vegetação rala, com 18 pontos no total, teve 16 classificados devidamente e 2 pontos classificados em vegetação densa.

A respeito da acurácia para cada classe, água apresentou 100%, nuvem 71,56%, área exposta 77,54%, vegetação densa 93,76% e vegetação rala 82,85%. Dessa forma, água foi a classe melhor classificada, seguida de vegetação densa e vegetação rala.

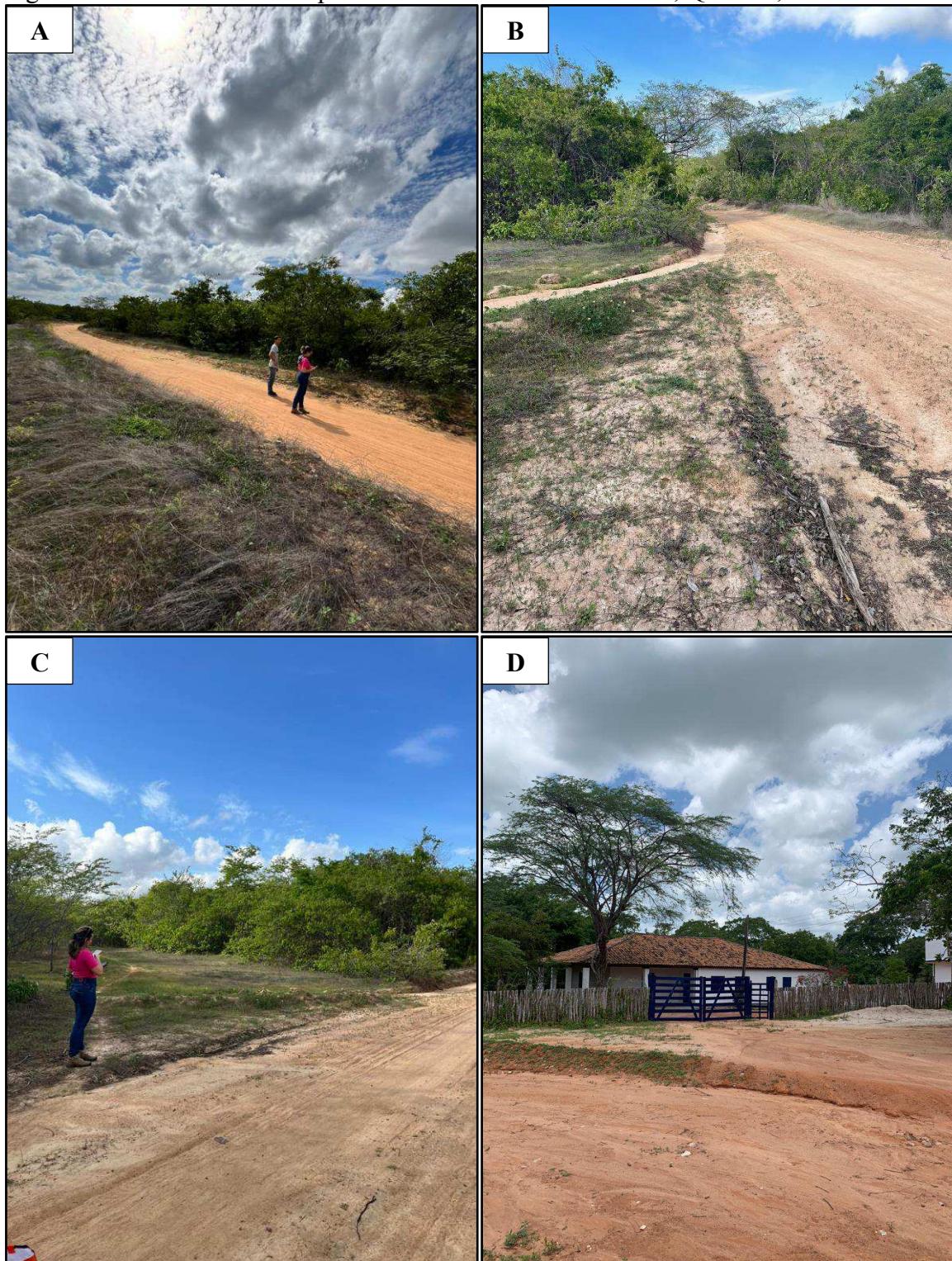
Observou-se que há predominância de vegetação densa e áreas espalhadas de solo exposto ao longo da Fazenda e RPPN Não Me Deixes (Figura 12). Estas áreas expostas englobam estradas, áreas habitadas e o entorno delas, além disso, alguns dos fragmentos examinados entre áreas de vegetação densa são “caminhos”, ou melhor, trilhas que foram se formando, configuradas como expostas (Figura 13).

Figura 13 – Área com vegetação densa na RPPN Não Me Deixes, Quixadá, CE



Fonte: Autora (2024).

Figura 14 – Área com solo exposto na Fazenda Não Me Deixes, Quixadá, CE

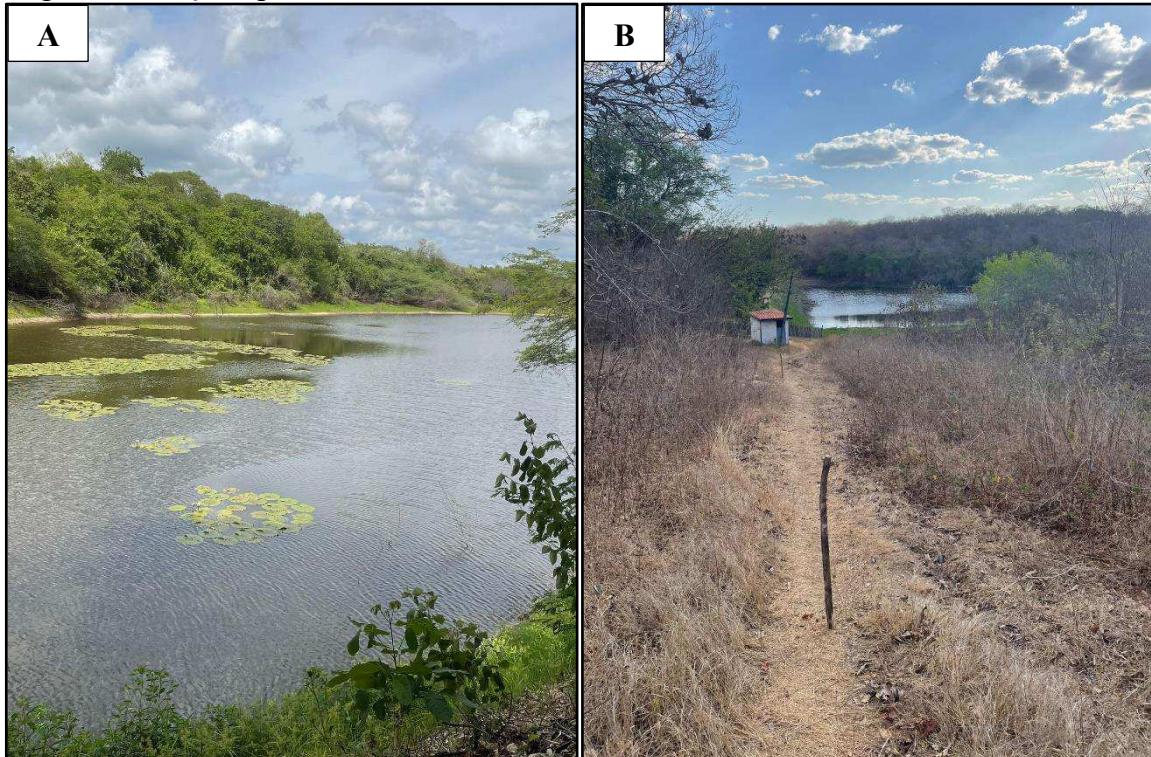


Fonte: Autora (2024).

No que se refere a classe de água, a classificação conseguiu identificar bem o açude pertencente a Fazenda Não Me Deixes, visualizado na Figura 14. A respeito da classe de vegetação rala (Figura 15a), é composta por regiões em que havia o cultivo agrícola, mas no momento encontram-se “abandonadas”, bem como áreas em que estão passando por algum

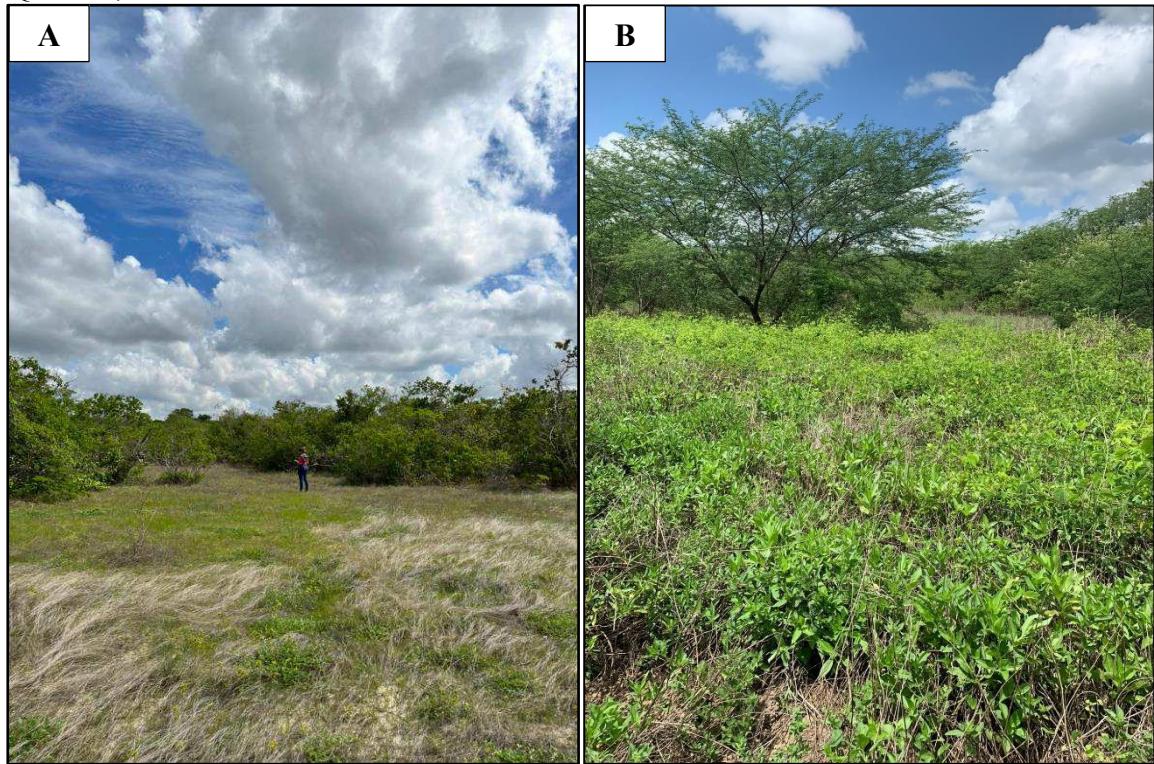
processo de regeneração (Figura 15b) e áreas que quando há chuvas intensas alagam e formam lagoas, mas como ainda não choveu o suficiente, apresentam apenas essa vegetação mais rala (Figura 16).

Figura 15 – Açude pertencente a Fazenda Não Me Deixes, Quixadá, CE



Fonte: Autora (2024).

Figura 16 – Área com vegetação rala na Fazenda (a) e área em regeneração na RPPN (b), Quixadá, CE



Fonte: Autora (2024).

Figura 17 – Área com vegetação rala na RPPN, Quixadá, CE

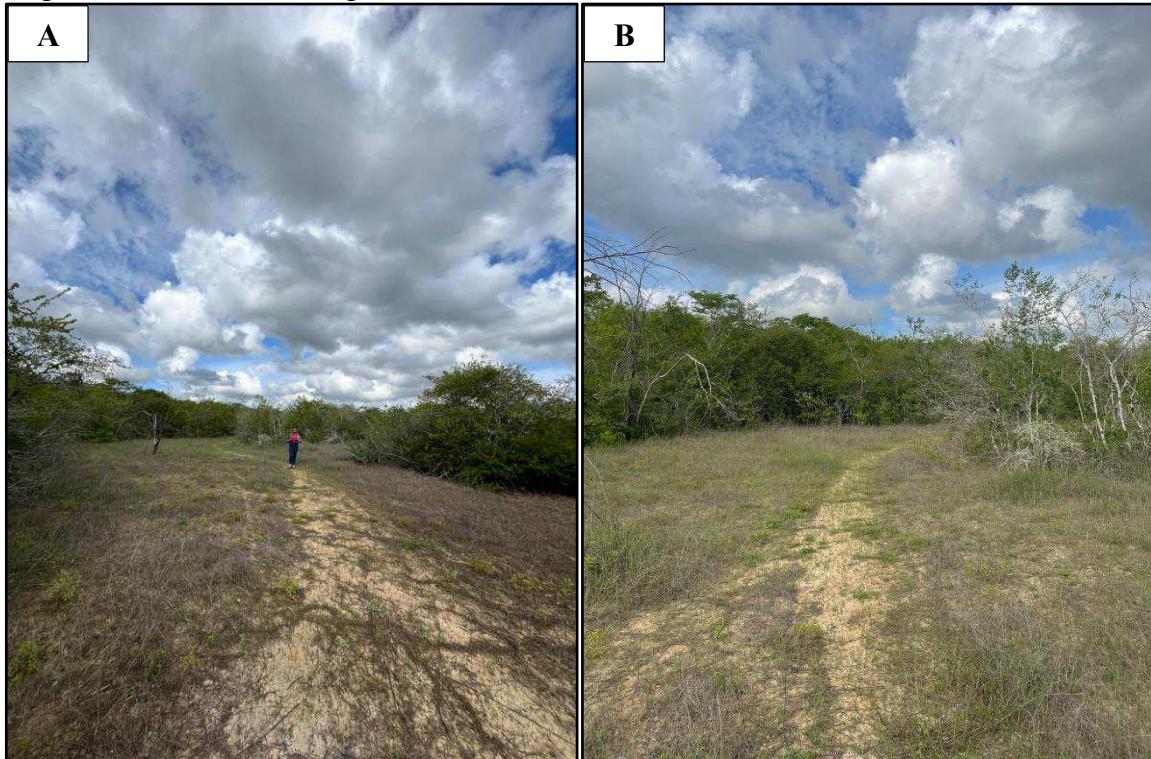


Fonte: Autora (2024).

Apesar da excelente resolução do satélite em uso, houve certa dificuldade para selecionar os polígonos, pois muitas vezes áreas expostas (caminhos/trilhas), por exemplo,

estavam próximas a áreas de vegetação (Figura 17), o que pode ter causado certa confusão no resultado, em que áreas de vegetação densa foram classificadas como expostas ou vice-versa, conforme apresentado na Tabela 15.

Figura 18 – Trilhas ao longo da RPPN, Quixadá, CE



Fonte: Autora (2024).

6 CONCLUSÃO

Em síntese, este trabalho ressaltou a importância de estudos voltados para a manutenção de vegetação nativa e recuperação de áreas degradadas por meio da implementação e correta gestão de uma UC. O objetivo principal foi realizar a caracterização físico-química em três áreas distintas dentro de uma fazenda e RPPN, contando também com o auxílio das geotecnologias, NDVI e classificação supervisionada.

Notou-se que o COT apresentou melhores resultados para MN e AR, respectivamente, confirmando a hipótese de que maiores teores promovem melhoria nos atributos físico-químicos. A estatística, por meio da ACP, apontou que AG é caracterizada por altos valores de Ca, N, P, Mg e Ds e baixo teor de COT. Enquanto isso, MN apresentou altos valores de Acidez potencial e CE e baixo de pH. AR, por sua vez, com baixos valores de Ca, N, P, Mg e Ds. A ADC também confirmou que as três áreas se diferenciaram, separando em três grupos distintos, MN, AR e AG.

O NDVI e a classificação supervisionada complementaram o estudo. O NDVI apontou que com a criação da RPPN, eliminação de atividades que geram impactos e ações de recuperação de áreas degradadas, como o reflorestamento realizado na AR, houve melhoria significativa ao longo dos anos. Logo no ano da implementação, visualizou-se áreas expressivas de solo exposto, além disso, até o ano de 2019, a vegetação identificada foi a arbustiva aberta, mas em 2023 também foi identificada a classe de vegetação arbustiva semiaberta.

A classificação supervisionada permitiu visualizar o uso e ocupação do solo tanto ao longo da RPPN como da Fazenda. Por ter sido utilizado um satélite com melhor resolução espacial, percebeu-se a existência de áreas de solo exposto espalhadas tanto ao longo da UC como da propriedade, áreas formadas em decorrência de estradas, trilhas e casas, por exemplo. Sobretudo, predominou a vegetação densa.

REFERÊNCIAS

AB' SÁBER, A. N. Caatingas: O domínio dos sertões secos. In: AB' SÁBER, A. N (org.). **Os domínios de natureza no Brasil:** potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2007. p 83-100.

AB' SÁBER, A. N. **O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras.** São Paulo: Instituto de Geografia, 1974.

ALBUQUERQUE, A. M.; RIBEIRO, J. R. C.; SALES, M. C. L. A aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da área de influência direta do açude Castanhão. **Revista da Casa de Geografia de Sobral**, Sobral, v. 21, n. 2, p. 674-685, 2019.

ALMEIDA, C. L.; ARAÚJO, J. C.; COSTA, M. C. G.; ALMEIDA, A. M. M.; ANDRADE, E. M. Fallow Reduces Soil Losses and Increases Carbon Stock in Caatinga. **Floresta e Ambiente**, [s. l.], v. 24, p. 1-10, 2017.

AMARAL FILHO, J.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. **Física do solo: conceitos e aplicações.** Fortaleza: Imprensa Universitária, 2008.

ANDRADE, E. M.; VALBRUN, W.; ALMEIDA, A. M. M.; ROSA, G.; SILVA, A. G. R. Land-Use Effect on Soil Carbon and Nitrogen Stock in a Seasonally Dry Tropical Forest. **Agronomy**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 1-14, 2020.

ANDRADE, L. K. F.; D'ANDREA, A. F.; ROLIM, H. O.; LEITE, E. P. F.; D'ANDREA, R. M. S.; RODRIGUES, G. C. Atributos de fertilidade relacionados à qualidade do solo em mata nativa e área desmatada na bacia do rio Cuiá, em João Pessoa, PB. In: CONNEPI – CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 7., 2012, João Pessoa. **Anais** [...]. João Pessoa: CONNEPI, 2012. p. 1-6.

ANTONGIOVANNI, M.; VENTICINQUE, E. M.; MATSUMOTO, M.; FONSECA, C. R. Chronic anthropogenic disturbance on Caatinga dry forest fragments. **Journal of Applied Ecology**, [s. l.], v. 57, p. 2064-2074, 2020.

AQUINO, A. B.; AQUINO, B. F.; HERNANDEZ, F. F. F.; HOLANDA, F. J. M.; FREIRE, J. M.; CRISÓSTOMO, L. A.; COSTA, R. I.; UCHÔA, S. C. P.; FERNANDES, V. L. B. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado do Ceará.** Fortaleza: UFC, 1993.

AQUINO, D. N.; ROCHA NETO, O. C.; MOREIRA, M. A.; TEIXEIRA, A. S.; ANDRADE, E. M. Use of remote sensing to identify areas to risk of degradation in the semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 49, n. 3, p. 420-429, 2018.

ARAÚJO, A. S. F.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO FILHO, J. A. Caracterização física do semiárido nordestino. In: ARAÚJO FILHO, J. A. (org.). **Manejo pastoril sustentável da caatinga.** Recife, PE: Projeto Dom Helder Câmara, 2013. p. 49-59.

ARAÚJO, S. M. S. A região semiárida do nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica – Revista Científica da FASETE**, [s. l.], v. 5, 10 p., 2011.

ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Propriedades físicas de um latossolo vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 28, p. 337-345, 2004.

ARUNKUMAR, V.; PANDIYAN, M.; YUVARAJ, M. A Review on Remote Sensing and GIS Applications in Soil Resource Management. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, [s. l.], v. 9, n. 5, p. 1063-1075, 2020.

ASA BRANCA. **Plano de Manejo Reserva Particular do Patrimônio Natural – RPPN Não Me Deixes**. Quixadá: Asa Branca, 2012.

AYANGBENRO, A. S.; BABALOLA, O. O. Reclamation of arid and semi-arid soils: The role of plant growth-promoting archaea and bacteria. **Current Plant Biology**, [s. l.], v. 25, 12 p., 2021.

BARBOSA, T. C. S.; OLIVEIRA, V. P. V. Indicadores químicos e biológicos de qualidade do solo utilizados no monitoramento da degradação em ambientes semiáridos: análise do estado da arte. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 17403-17423, 2022.

BARBOSA, T. C. S.; COSTA, N. M. G. B.; SANTOS, D. B.; MACHADO, M. S.; MARQUES FILHO, F.; Qualidade física do solo em áreas sob manejo agroecológico e convencional. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 48899-48909, 2020.

BENITES, V. M.; CARVALHO, M. C. S.; RESENDE, A. V.; POLIDORO, J. C.; BERNARDI, A. C. C.; OLIVEIRA, F. A. Potássio, Cálcio e Magnésio. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (org.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Piracicaba: INPI, 2010, v. 2, p. 133-204.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRASIL. **Decreto N° 2.741, de 20 de agosto de 1998**. Promulga a Convenção Internacional de Combate à Desertificação nos Países afetados por Seca Grave e/ou Desertificação, Particularmente na África. Brasília, DF: Casa Civil, 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2741.htm#:~:text=DECRETO%20N%C2%A0%20.741%20DE%202020,ou%20Desertifica%C3%A7%C3%A3o%20Particularmente%20na%C3%81frica. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASIL. **Decreto N° 5.746, de 5 de abril de 2006**. Regulamenta o art. 21 da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Brasília, DF: Casa Civil, 2006. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/decreto/d5746.htm. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília, DF: Casa Civil, 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 08 mar. 2024.

BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF: Casa Civil, 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.htm. Acesso em: 24 jan. 2024.

BRASIL. Lei nº 14.119, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais; e altera as Leis nºs 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política. Brasília, DF: Casa Civil, 2021. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/l14119.htm. Acesso em: 23 jul. 2024.

BRITO, P. V. S.; MORAIS, Y. C. B.; FERREIRA, H. S.; SILVA, J. F.; GALVÍNCIO, J. D. Análise comparativa da umidade da vegetação de áreas de caatinga preservada, agricultura irrigada e sequeiro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 493-498, 2017.

BRONTË, E. **O morro dos ventos uivantes**. 2 ed. Jandira, SP: Ciranda Cultural, 2019.

CADASTRO NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO. Painel Unidades de Conservação Brasileiras. Brasil: CNUC, 2024. Disponível em: <https://cnucc.mma.gov.br/powerbi>. Acesso em: 21 fev. 2024.

CALONEGO, J. C.; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S.; CUNHA JÚNIOR, J. R. Estoques de carbono e propriedades físicas de solos submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 2, p. 128-135, 2012.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, SP: INPE, 2001. p. 1-5.

CARNEIRO, K. A. A.; MORO, L.; MACEDO, R. S.; ARAÚJO NETO, R. N.; SOUSA, C. S.; BAKKER, A. P. Fósforo disponível extraído por Mehlich 1 e Olsen em Luvissolo sob agroecossistemas do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [s. l.], v. 11, n. 1, p. 165-173, 2021.

CAVALCANTE, D. M.; SILVA, A. P. F.; ALMEIDA, B. G.; FREIRE, F. J.; SILVA, T. H. S.; CAVALCANTE, F. M. S. Physical soil quality indicators for environmental assessment and agricultural potential of Oxisols under different land uses in the Araripe Plateau, Brazil. **Soil & Tillage Research**, [s. l.], v. 209, 11 p., 2021.

CENTENO, L. N.; GUEVARA, M. D. F.; CECCONELLO, S. T.; SOUSA, R. O. D.; TIMM, L.C. Textura do solo: conceitos e aplicações em solos arenosos. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, Pelotas, v. 4, n. 1, p. 31-37, 2017.

CEREZINI, M. T.; CASTRO, C. N. O sistema nacional de unidades de conservação da natureza (SNUC) e a preservação da caatinga. In: OLIVEIRA, C. W. A.; GALINDO, E. P. (org.). **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**. Rio de Janeiro: IPEA, 2022. p. 51-64.

CLAESSEN, M. E. C. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/330804>. Acesso em: 29 jan. 2024.

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. N.; LIMA, E. R. V. L.; RIBEIRO NETO, A.; MOURA, G. S. S. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices**. Nova York, Boca Raton: Lewis Publishers, 137 p., 1999.

CONGEDO, L. **Repositório de plug-ins QGIS Python – Semi-Automatic Classification Plugin**. [s. l.]: QGIS, 2023. Disponível em: <https://plugins.qgis.org/plugins/SemiAutomaticClassificationPlugin/#plugin-versions>. Acesso em: 23 jul. 2024.

COPERNICUS. **Data Space**. Europa: COPERNICUS, 2024. Disponível em: <https://dataspace.copernicus.eu/>. Acesso em: 15 ago. 2024.

COPERNICUS. **S2 Mission**. Europa: COPERNICUS, 2024. Disponível em: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission>. Acesso em: 21 fev. 2024.

CORRÊA, R. M.; FREIRE, M. B. G. S.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; PESSOA, L. G. M.; MIRANDA, M. A.; MELO, D. V. M. Atributos físicos de solos sob diferentes usos com irrigação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 358-365, 2010.

COSTA, T. G. A.; IWATA, B. F.; COELHO, J. V.; ROCHA, I. L.; SANTOS, J. G. P.; LEOPOLDO, N. C. M.; ALVES, M. F.; MACIEL, A. C. R.; CLEMENTINO, G. E. S. Atributos de qualidade do solo sob fitofisionomias de cerrado sensu stricto e cerradão no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [s. l.], v. 5, n. 10, p. 625-642, 2018.

DENG, J.; HUANG, Y.; CHEN, B.; TONG, C.; LIU, P.; WANG, H.; HONG, Y. A Methodology to Monitor Urban Expansion and Green Space Change Using a Time Series of Multi-Sensor SPOT and Sentinel-2A Images. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 11, 19 p., 2019.

DIAS, N. O.; FIGUEIRÔA, C. F. B. Potencialidades do uso de geotecnologias para a gestão e planejamento de unidades de conservação. **Revista de Geografia**, Juiz de Fora, v. 10, n. 2, p. 283-302, 2020.

EARTH EXPLORER. EUA: USGS, 2024. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 15 ago. 2024.

FALCÃO, K. S.; MONTEIRO, F. N.; OZÓRIO, J. M. B.; SOUSA, C. B. S.; FARIAS, P. G. S.; MENEZES, R. S.; PANACHUKI, E.; ROSSET, J. S. Estoques de carbono e agregação do solo sob diferentes sistemas de uso no cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, [s. l.], v. 55, n. 2, p. 242-255, 2020.

FERNANDES, M. F.; QUEIROZ, L. P. Vegetação e flora da caatinga. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 70, n. 4, 6 p., 2018.

FERREIRA, D. M. **Mudanças de uso e cobertura da terra na bacia do rio Lajeado, estado do Maranhão**. 2020. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Meio Ambiente) – Centro de Estudos Superiores de Balsas, Universidade Estadual do Maranhão, 2020.

FERREIRA, M. P. S. **Alterações de atributos de solos submetidos ao pousio em núcleo de desertificação**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, 2015.

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Unimar Ciências**, Marília, v. 6, n. 1-2, p. 8-25, 2017.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. **Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos**. Ceará: FUNCEME, 2018. Disponível em: http://www.funceme.br/wp-content/uploads/2019/02/16-Mapa_CE_Solos_A2.pdf. Acesso em: 15 ago. 2024.

GALINDO, I. C. L. **Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no Estado de Pernambuco**. 2007. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2007.

GARCIA, A. C. S. M.; ANDRADE, L. C.; CRUZ, A. F. S.; MOURA, A. E. S. S.; SANTOS, P. R. S. Vulnerabilidade ambiental em áreas de caatingas na unidade de conservação Parna do Catimbau, Pernambuco, Semiárido Brasileiro. **Holos Environment**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 625-540, 2020.

GODOY, F. O.; BERNARDI, A. C. C.; ROSSI, F.; BUENO, J. O. A. Mapeamento da condutividade elétrica aparente do solo e sua relação com matéria orgânica e granulometria. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 48., 2019, Campinas. **Anais** [...]. Campinas: CONBEA, 2019. p. 1-4.

GOMES, F. V. S.; SANTOS, A. M. F.; GUERRA, R. G. P.; QUEIROZ, L. R.; MENEZES, M. O. T.; MORO, M. F. Ecological representativeness and total area protected by natural reserves in Ceará State, Brazil. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 34, 15 p., 2022.

HASSLER, M. L. A importância das unidades de conservação no Brasil. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 17, n. 33, p. 79-89, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados**. Brasil: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce.html>. Acesso em: 24 jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha municipal. Brasil: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 14 maio 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Semiárido Brasileiro. Brasil: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15974-semiarido-brasileiro.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 24 jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sensoriamento Remoto. Brasil: IBGE, 2023. Disponível em: <https://atlassescolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-cartografia/sensoriamento-remoto.html#:~:text=O%20sensoriamento%20remoto%20%C3%A9%20a,contato%20f%C3%ADo%C2%80com%20o%20mesmo>. Acesso em: 30 dez. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA, 1990.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. Parque Nacional do Itatiaia. Itatiaia, RJ: ICMBio, 2023. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/parnaitatiaia/qm-somos.html>. Acesso em: 24 jan. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. Perfil municipal 2017 Quixadá. Ceará: IPECE, 2017. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Quixada_2017.pdf. Acesso em: 30 jan. 2024.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO. O Semiárido Brasileiro. Brasil: INSA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiariodo-brasileiro#:~:text=Segundo%20dados%20do%20INSA%2C%2085,protege%20o%20solo%20da%20eros%C3%A3o>. Acesso em: 14 fev. 2024.

IWATA, B. F.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; NUNES, L. A. P. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em ARissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012.

JARBAS, T.; SÁ, I. B.; PETRERE, V. G.; TAURA, T. A. Luvissolos. Brasília: EMBRAPA, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/luvissolos>. Acesso em: 14 maio 2024.

KALISCH, L. E. A.; DALMAS, F. B.; PARANHOS FILHO, A. C.; ENCINA, C. C. Análise da cobertura vegetal da RPPN Estadual Fazenda Uhumirim através de Sensoriamento Remoto. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, 17 p., 2020.

KORKANÇ, S. Y. Effects of afforestation on soil organic carbon and other soil properties. **Catena**, [s. l.], v. 123, p. 62-69, 2014.

LABORATÓRIO DE ANÁLISE E PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SATÉLITE.

Shapefile. Alagoas: LAPIS, 2024. Disponível em: <https://mapadamina.org.br/shapefile>. Acesso em: 14 maio 2024.

LANTZANAKIS, G.; MITRAKA, Z.; CHRYSOULAKIS, N. Comparison of physically & image based atmospheric correction methods for Sentinel-2 satellite imagery. In: KARACOSTAS, T.; BAIS, A.; NASTOS, P. (org.) **Perspectives on Atmospheric Sciences**. Suíça: SPRINGER, 2016, p. 255-261. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-35095-0_36. Acesso em: 21 fev. 2024.

LIMA, A. A.; BARROS, A. C.; TAGLIARINI, F. S. N.; BARROS, Z. X. Correção atmosférica de imagens do Landsat 8 para análise comparativa de influência no cálculo de NDVI e SAVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. **Anais** [...]. Santos: SBSR, 2017, p. 2762-2769.

LIMA, B. R.; NEVES, B. R.; OLIVEIRA, E. P.; BEBÉ, F. V.; LIMA, P. A.; DONATO JÚNIOR, E. P.; FERNANDES, E. C.; PEREIRA, E. G. Caracterização física de solos sob diferentes usos e manejos em propriedades de agricultura familiar em Candiba-Bahia. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 1220-1233, 2021.

LIMA, D. R. M.; DLUGOSZ, F. L.; IURK, M. C.; PESCK, V. A. Uso de NDVI e SAVI para caracterização da cobertura da terra e análise temporal em imagens RapidEye. **Revista Espacios**, [s. l.], v. 38, n. 36, 7 p., 2017.

LIMA, J. R.; SILVA, R. G.; TOMÉ, M. P.; SOUSA NETO, E. P.; QUEIROZ, R. T.; BRANCO, M. S. D.; MORO, M. F. Fitossociologia dos componentes lenhoso e herbáceo em uma área de caatinga no Cariri Paraibano, PB, Brasil. **Hoehnea**, [s. l.], v.46, n. 3, [26] p., 2019.

LIMA, M. T. V.; OLIVEIRA, C. W.; MOURA-FÉ, M. M. Análise multicritério em geoprocessamento como contribuição ao estudo da vulnerabilidade à erosão no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 14, n. 5, p. 3156-3172, 2021.

LIRA, R. B.; DIAS, N. S.; ALVES, S. M. C.; BRITO, R. F.; SOUSA NETO, O. N. Efeitos dos sistemas de cultivo e manejo da caatinga através da análise dos indicadores químicos de qualidade do solo na produção agrícola em Apodi, RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 3, p. 18-24, 2012.

LLANO, X. C. **Repositório de plug-ins QGIS Python - AcATaMa**. [s. l.]: QGIS, 2018. Disponível em: <https://plugins.qgis.org/plugins/AcATaMa/#plugin-versions>. Acesso em: 29 fev. 2024.

LOURENÇO, V. R.; LOPES, J. W. B.; RAMOS, N. N. L. A.; TILLESSE, F. E. A.; COSTA, C. A. G.; ARAÚJO, J. C. Análise temporal do NDVI sob condições de caatinga preservada. In: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 3., 2015, Fortaleza. **Anais** [...]. Fortaleza: INOVAGRI, 2015. p. 807-814.

LUCENA, R. L.; FERRER, E.; GUILHERMINO, M. M. Mitigando os riscos da seca através de ações de recuperação e preservação do bioma caatinga no semiárido brasileiro. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.7, n.4, p. 36546-36557, 2021.

LUNA, I. R. G. **Concentrações e estoques de fósforo em diferentes classes, usos e coberturas de solos no Agreste pernambucano.** 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2021.

LUZ, G. G.; GALVINCIO, J. D. Balanço de radiação com imagens captadas com drones. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 1169-1179, 2022.

MACEDO, C. E. S.; ALENCAR, C. M. S.; STEFANUTTI, R.; OLIVEIRA, U. C. Detecção da Variação de Cobertura Vegetal a Partir da Estimativa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Unidade de Conservação do Parque Estadual das Carnaúbas - CE com Utilização de Técnicas do Sensoriamento Remoto. **Anuário do Instituto de Geociências**, [s. l.], v. 43, n. 2, p. 477-485, 2020.

MANLY, B. F. J.; ALBERTO, J. A. N. **Métodos estatísticos multivariados: uma introdução.** 4^a ed. Porto Alegre: Bookman, 2019.

MASTELLA, A. F. M.; VIEIRA, C. A. O. Acurácia temática para classificação de imagens utilizando abordagens por pixel e por objetos. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s. l.], v. 70, n. 5, p. 1618-1643, 2018.

MEDEIROS, A. S.; MAIA, S. M. F.; SANTOS, T. C.; GOMES, T. C. A. Soil carbon losses in conventional farming systems due to land-use change in the Brazilian semi-arid region. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 287, 9 p., 2020.

MEDEIROS, A. S.; GONZAGA, G. B. M.; SILVA, T. S.; BARRETO, B. S.; SANTOS, T. C.; MELO, P. L. A.; GOMES, T. C. A.; MAIA, S. M. F. Changes in soil organic carbon and soil aggregation due to deforestation for smallholder management in the Brazilian semi-arid region. **Geoderma Regional**, [s. l.], v. 33, 12 p., 2023.

MEIRA, S. A.; NASCIMENTO, M. A. L.; SILVA, E. V. Unidades de conservação e geodiversidade: uma breve discussão. **Terr@Plural**, Ponta Grossa, v. 12, n. 2, p. 166-187, 2018.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise de degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **RA’E GA**, Curitiba, v. 23, p. 520-533, 2011.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: métodos de análises.** Viçosa, MG: 2005.

MENESES, P. R. Princípios de Sensoriamento Remoto. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília, DF: UNB, 2012. p. 1-33.

MENESES, P. R.; SANO, E. E. Classificação pixel a pixel de imagens. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília, DF: UNB, 2012. p. 191-208.

MIRANDA, J.; COSTA, L. M.; RUIZ, H. A.; EINLOFT, R. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 30, n. 4, 633-647, 2006.

MORO, M. F.; MACEDO, M. B.; MOURA-FÉ, M. M.; CASTRO, A. S. F.; COSTA, R. C. Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, [s. l.], v. 66, n. 3, p. 717-743, 2015.

MUSIS, I. D.; HONGYU, K.; SILVA, F. L. Explorando padrões de expressão proteica em camundongos com síndrome de Down por meio de Análise Discriminante. **ES Engineering and Science**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 1-11, 2023.

NASCIMENTO, C. D. V. **Contribuições dos componentes vegetais na qualidade do solo em sistema agrossilvipastoril no semiárido**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, 2016.

NOVO, E. L. M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, A. L. T. **Avaliação de práticas de manejo nos atributos químicos e na perda de solo em região semiárida**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, 2015.

OLIVEIRA, C. D. L.; SILVA, A. P. A.; MOURA, P. A. G. Distribuição e importância das unidades de conservação no domínio caatinga. **Anuário do Instituto de Geociências**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 425-429, 2019.

OLIVEIRA, F. R. A.; DIAS, C. T. S.; SOUZA, H. A.; LIMA, B. L. C.; COSTA, M. C. G. Tree legumes with fertilizer potential: a multivariate approach. **Revista de Ciências Agrárias**, Fortaleza, v. 52, n. 1, 10 p., 2021.

OLOFSSON, P.; FOODY, G. M.; HEROLD, M.; STEHMAN, S. V.; WOODCOCK, C. E.; WULDER, M. A. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 148, p. 42-57, 2014.

PAIVA, C. D. G.; MORO, M. F.; SOUSA, L. O. F.; BALDAUF, C. Fitossociologia da caatinga na Floresta Nacional de Açu, Estado do Rio Grande do Norte, Brasil, e entorno: diversidade e biogeografia do componente lenhoso. **Hoehnea**, [s. l.], v. 48, 11 p., 2021.

PAVINATO, P. S.; MERLIN, A.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de cátions no solo alterada pelo sistema de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s. l.], v. 33, n. 4, p. 1031-1040, 2009.

PEREIRA, A. P. A.; MENDES, L. W.; OLIVEIRA, F. A. S.; ANTUNES, J. E. L.; MELO, V. M. M.; ARAÚJO, A. S. F. Land degradation affects the microbial communities in the Brazilian Caatinga biome. **Catena**, [s. l.], v. 211, 9 p., 2022.

PERUZZO, J. S.; PEREIRA, M. C. S.; SILVA, L. D. R.; OLIVEIRA, B. S. O.; SILVINO, G. S. Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento ambiental da bacia do Alto Piranhas, Semiárido Nordestino (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 28-37, 2019.

PREZOTTI, L. C.; MARTINS, A. G.; **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória: INCAPER, 2013. E-book. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/40/1/Guia-interpretacao-analise-solo.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2024.

QUEIROZ, G. C. M.; SILVA, F. W. A.; PORTELA, J. C.; OLIVEIRA, V. N. S. O.; SANTOS, M. V. Densidade e resistência do solo à penetração de raízes em agroecossistemas no semiárido brasileiro. **Revista Verde**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 497-505, 2019.

RAMOS, R. S.; PEREIA JÚNIOR, E. B.; MOREIRA, J. N.; NOGUEIRA, F. R. B.; SILVA, J. J.; SA FILHO, F. S.; RODRIGUES, M. H. B. S.; CASSIMIRO, C. A. L. Avaliação dos atributos do solo submetidos a diferentes usos e manejos do solo no semiárido paraibano. **Recima 21**, [s. l.], v. 4, n. 2, 15 p., 2023.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BRAIDA, J. A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, [s. l.], v. 27, p. 30-48, 2003.

REX, F. E.; KÄFER, P. S.; BREUNIG, F. M.; SPOHR, R. B.; SANTOS, R. S. Classificação supervisionada de copas de árvores em imagem de alta resolução espacial. **Biofix Scientific Journal**, [s. l.], v. 3, n. 2, p. 216-223, 2018.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, [s. l.], v. 16, p. 81-90, 2005.

ROSÁRIO, M. F.; SAVINO, V. J. M.; COELHO, A.; DIAS, C. T. S. Canonical discriminant analysis applied to broiler chicken performance. **Animal**, [s. l.], v. 2, n. 3, p. 419-424, 2008.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings**. Washington: NASA, 1973. v.1, p. 309-317.

SAMPAIO, E. V. S. B. Características e potencialidades. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. (org.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2010, p. 29-48.

SANTANA, M. S.; ANDRADE, E. M.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FERREIRA, T. O.; SALVIANO, A. M.; SILVA, D. J.; CUNHA, T. J. F.; GONGO, V. Do agrosystems change soil carbon and nutrient stocks in a semiarid environment?. **Journal of Arid Environments**, v. 201, 7 p., 2022.

SANTOS, A. S. R. M.; MAURO, T. L.; SOUZA, L. A.; SENIGALIA, R. L. C.; CASTRO, D. A.; SANTOS, E. S. Métodos de classificação supervisionada aplicados no uso e ocupação do

solo no município de Presidente Médice – RO. **Biodiversidade**, [s. l.], v. 18, n. 1, p. 150-159, 2019.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília: EMBRAPA, 2018. Disponível em: <https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 14 maio 2024.

SANTOS, H. G.; ZARONI, M. J. **Neossolos**. Brasília: EMBRAPA, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/neossolos>. Acesso em: 14 maio 2024.

SANTOS, U. J.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ANDRADE, E. M.; PINTO, A. S.; DIAS, B. O.; JESUS, K. N.; SANTANA, M. S.; ALTHOFF, T. D.; FERNANDES, M. M. MENEZES, R. S. C. Nitrogen Stocks in Soil Classes Under Different Land Uses in the Brazilian Semi-arid Region. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [s. l.], v. 21, p. 1621-1630, 2021.

SAS. **SAS® OnDemand for Academics**. Estados Unidos: SAS, 2024. Disponível em: <https://welcome.oda.sas.com/>. Acesso em: 07 maio 2024.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA. **Cadastro Estadual de Unidades de Conservação – CEUC**. Ceará: SEMA, 2024. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZDY0MGQyZDEtYjI4NS00MTE3LThkOTgtNGVjMTA4ZTZjNTExiwidCI6ImY2MjAxZmQxLWFIMzctNGZlMS1hZDJjLTUwNTc3ZTJmYTEzNiJ9>. Acesso em: 14 maio 2024.

SENTINEL HUB. **Sentinel-2 L2A**. Europa: SENTINEL HUB, 2023. Disponível em: <https://docs.sentinel-hub.com/api/latest/data/sentinel-2-l2a/>. Acesso em: 14 maio 2024.

SILVA, D. R.; OLIVEIRA, F. P.; SILVA, P. L. F. MARTINS, A. F. Qualidade do solo sob diferentes condições de uso no semiárido paraibano. **Revista Valore**, Volta Redonda, n. 8, p. 25-36, 2023.

SILVA, J. L. B.; OLIVEIRA FILHO, R. A.; SILVA, M. V.; BATISTA, P. H. D.; LOPES, P. M. O.; MOURA, G. B. A. Monitoramento espaço-temporal das condições biofísicas à superfície utilizando dados geoespaciais em região do Semiárido Brasileiro. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 29, 10 p., 2021.

SILVA, M. O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D. F.; COSTA, K. D. S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020.

SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; SÁ, I. B.; CORREIA, R. C.; TEIXEIRA, A. H. C.; CUNHA, T. J. F. GUIMARÃES FILHO, C. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. (org.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido, 2010. p. 18-48.

SOUSA, F. P.; FERREIRA, T. O.; MENDONÇA, E. S.; ROMERO, R. E.; OLIVEIRA, J. G. B. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, [s. l.], v. 148, p. 11-21, 2012.

STEHMAN, S. V.; CZAPLEWSKI, R. L. Design and Analysis for Thematic Map Accuracy Assessment: Fundamental Principles. **Remote Sensing of Environment**, Nova York, v. 64, p. 331-344, 1998.

TAVARES FILHO, G. S.; OLIVEIRA, F. F.; MASCARENHAS, N. M. H.; ARAÚJO, C. A. S.; MATIAS, S. S. R.; GREGÓRIO, M. G.; OLIVEIRA, A. G. Qualidade do solo em áreas nativas e cultivadas na Chapada do Araripe no semiárido do nordeste brasileiro. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 10, 19 p., 2020.

TEIXEIRA, D. L. S.; ODA, P. S. S.; MARCIANO, A. G.; DI LORENZO, S.; RIONDET-COSTA, D. R. T.; PONS, N. A. D.; AZEVEDO, S. C. Bioma Mata Atlântica: análise temporal da pressão antrópica em unidade de conservação de proteção integral e seu entorno. **Entre-Lugar**, [s. l.], v. 13, n. 26, p. 61-90, 2022.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso em: 29 jan. 2024.

THAKUR, N.; SHARMA, R. Soil Quality. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, [s. l.], v. 8, n. 7, p. 2920-2930, 2019.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat 5**. Estados Unidos: USGS, 2023. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-5>. Acesso em: 21 fev. 2024.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat 8**. Estados Unidos: USGS, 2023. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>. Acesso em: 09 ago. 2024.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat 9**. Estados Unidos: USGS, 2023. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9>. Acesso em: 09 ago. 2024.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **NDVI, the Foundation for Remote Sensing Phenology**. Estados Unidos: USGS, 2018. Disponível em: <https://www.usgs.gov/special-topics/remote-sensing-phenology/science/ndvi-foundation-remote-sensing-phenology>. Acesso em: 29 jan. 2024.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **Using the USGS Landsat Level-1 Data Product**. Estados Unidos: USGS, 2023. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/using-usgs-landsat-level-1-data-product>. Acesso em: 21 fev. 2024.

VALBRUN, W.; ANDRADE, E. M.; ALMEIDA, A. M. M.; ALMEIDA, E. L. Carbon and Nitrogen Stock Under Different Types of Land Use in a Seasonally Dry Tropical Forest. **Journal of Agricultural Science**, [s. l.], v. 10, n. 12, p. 479-492, 2018.

VALBRUN, W.; ANDRADE, E. M.; ALMEIDA, A. M. M.; ALMEIDA, E. L.; OLIVEIRA, L. S. Carbono orgânico total em neossolo litólico da caatinga sob diferentes coberturas do

solo. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS NATURAIS DO SEMIÁRIDO, 3., 2017, Fortaleza. Anais [...].* João Pessoa: SBRNS, 2017, p. 1-6.

VASCONCELOS, W. A. S. Atributos do solo sob diferentes sistemas de manejo na região Jaguaribana do Ceará. 2022. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, 2022.

VIANA, A. I. G.; NUNES, H. K. B.; SILVA, J. F. A.; CABRAL, L. J. R. S.; AQUINO, C. M. S. Análise geoambiental em atividade de campo no Nordeste Setentrional brasileiro: estudo de caso nos estados do Piauí e Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 597-609, 2017.

YONG, C. E. F.; MEDEIROS, R. Quanto vale o verde: a importância econômica das unidades de conservação brasileiras. Rio de Janeiro: Conservação Internacional, 2018. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/13399>. Acesso em: 29 jan. 2024.