ReGeo ISSN: 2177-3246

ATRIBUTOS EDÁFICOS DO SOLOS EM ÁREAS SOB DIFERENTES USOS NA CAATINGA

EDAPHIC ATTRIBUTES OF SOILS IN AREAS UNDER DIFFERENT USES IN THE CAATINGA

ATRIBUTOS EDÁFICOS DE LOS SUELOS EN ÁREAS CON DIFERENTES USOS EN LA CAATINGA

https://doi.org/10.56238/revgeov17n7-150

Data de submissão: 12/06/2026 **Data de publicação:** 27/07/2026

Daniela dos Reis Miranda
Graduanda em Ciências Biológicas
Instituição: Universidade Estadual Feira de Santana
E-mail: danimmiranda.bio@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0009-0005-5764-5779

Deorgia Tayane Mendes de Souza
Doutora em Geociências Aplicadas e Geodinâmica
Instituição: Universidade Estadual Feira de Santana
E-mail: dtmsouza@uefs.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6791-3611

Higo Ferreira Batista
Mestre em Ciências Ambientais
Instituição: Universidade Estadual Feira de Santana
E-mail: higoferreira8@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-3897-616X

Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha
Doutor em Geologia
Instituição: Universidade Estadual Feira de Santana
E-mail: wrocga@uefs.br
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-2175-2792

Rodrigo Nogueira de Vasconcelos
Doutor em Ecologia
Instituição: Universidade Estadual Feira de Santana
E-mail: rnvuefsppgm@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-1368-6721

Luís Almeida Santos
Mestre em Extensão Rural
Instituição: Universidade Estadual Feira de Santana
E-mail: luispiritiba@gmail.com
Orcid: https://orcid.org/0000-0003-1556-4805

RESUMO
Este estudo analisa atributos edáficos em áreas com diferentes usos na Caatinga, em Juazeiro-BA, comparando área degradada, preservada, em recaatingamento e área de produção de palmas. Na abordagem metodológica foram avaliadas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, por meio de procedimentos laboratoriais, avaliações espectrorradiométricas, além de dados de uso e cobertura da terra do projeto Mapbiomas. A área preservada apresenta os melhores indicadores de fertilidade e maior estoque de carbono, enquanto a área degradada concentra os menores valores. A área em recaatingamento demonstrou recuperação parcial, e a área agrícola demonstra condições intermediárias. As análises laboratoriais espectrorradiométricas evidenciam diferenças entre os ambientes, confirmando seu potencial para monitoramento da qualidade do solo. Conclui-se que o manejo sustentável e a restauração da vegetação nativa são fundamentais para a conservação dos solos da Caatinga.

Palavras-chave: Caatinga. Qualidade do Solo. Espectrorradiometria. Uso da Terra.

ABSTRACT
This study analyzes edaphic attributes in areas with different land uses in the Caatinga biome, in Juazeiro-BA, comparing degraded, preserved, and reforestation areas, as well as an area used for palm production. The methodological approach evaluated chemical, physical, and biological soil properties through laboratory procedures, spectroradiometric assessments, and land use and land cover data from the Mapbiomas project. The preserved area presents the best fertility indicators and the highest carbon stock, while the degraded area shows the lowest values. The reforestation area demonstrated partial recovery, and the agricultural area shows intermediate conditions. Spectroradiometric laboratory analyses highlight differences between the environments, confirming their potential for monitoring soil quality. It is concluded that sustainable management and restoration of native vegetation are fundamental for the conservation of Caatinga soils.

Keywords: Caatinga. Soil Quality. Spectroradiometry. Land Use.

RESUMEN
Este estudio analiza los atributos edáficos en áreas con diferentes usos del suelo en el bioma Caatinga, en Juazeiro-BA, comparando áreas degradadas, preservadas y reforestadas, así como un área destinada a la producción de palma. El enfoque metodológico evaluó las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo mediante procedimientos de laboratorio, análisis espectroradiométricos y datos de uso y cobertura del suelo del proyecto Mapbiomas. El área preservada presenta los mejores indicadores de fertilidad y el mayor stock de carbono, mientras que el área degradada muestra los valores más bajos. El área reforestada demostró una recuperación parcial, y el área agrícola presenta condiciones intermedias. Los análisis espectroradiométricos de laboratorio resaltan las diferencias entre los ambientes, confirmando su potencial para el monitoreo de la calidad del suelo. Se concluye que el manejo sostenible y la restauración de la vegetación nativa son fundamentales para la conservación de los suelos de la Caatinga.

Palabras clave: Caatinga. Calidad del Suelo. Espectroradiometría. Uso del Suelo.

1 INTRODUÇÃO

Os atributos edáficos correspondem ao conjunto de propriedades físicas, químicas e biológicas do solo que determinam sua capacidade de sustentar vegetação, regular ciclos geoquímicos e suportar usos antrópicos. Entre os atributos físicos pode-se destacar textura, estrutura e capacidade de retenção de água. Entre os químicos os que têm notoriedade são: pH, capacidade de troca catiônica, teores de macro e micronutrientes. Enquanto que nos biológicos destacam-se: teor de matéria orgânica, atividade microbiana, biomassa e diversidade de comunidades edáficas. A compreensão integrada desses atributos é de grande importância para avaliar o funcionamento do solo, pois suas interações controlam processos como infiltração, aeração, disponibilidade de nutrientes e resistência à erosão (Doran; Parkin, 1994).

Partindo desses atributos, a fertilidade do solo (FS) é um conceito aplicado que sintetiza a disponibilidade de elementos essenciais à nutrição vegetal e a capacidade do solo de sustentar produtividades desejadas. A FS depende diretamente de atributos edáficos que modulam a retenção de água e a troca de cátions, o pH influencia a solubilidade e a disponibilidade dos nutrientes, enquanto que a atividade biológica participa da ciclagem e mineralização de elementos (Brady; Weil, 2008). Logo, avaliações de fertilidade exigem mensurações físicas, químicas e biológicas integradas.

No contexto do semiárido brasileiro, a Caatinga apresenta condições ecológicas e edáficas singulares que condicionam tanto a fertilidade quanto às estratégias de manejo do solo. Essa vegetação que perde as folhas durante o período seco desenvolveu-se sobre solos frequentemente rasos, e marcada pela variabilidade hídrica sazonal, fatores que limitam a disponibilidade de nutrientes e impõem restrições às práticas agrícolas convencionais (Mata *et al.*, 2024). Dessa forma, a interpretação da fertilidade em áreas de Caatinga requer atenção às limitações impostas por seus atributos edáficos e ao impacto das secas sazonais na dinâmica de nutrientes.

As pressões antrópicas sobre a Caatinga manifestam-se majoritariamente por alterações no uso e na cobertura do solo, incluindo expansão de pastagens, agricultura e recorrência de queimadas. Alterações na cobertura vegetal modificam o microclima local, reduzem a proteção contra impactos das gotas de chuva e da ação do vento, aceleram processos físicos e químicos no solo, de modo que mudanças de uso tornam-se fatores determinantes na transformação dos atributos edáficos e na capacidade de suporte do ecossistema (Oliveira *et al.*, 2018; Siqueira, 2017).

Essas alterações nos usos da terra, ao modificarem propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, afetam a qualidade do solo (QS), entendida como a capacidade do solo de desempenhar funções essenciais, como retenção e fornecimento de água, ciclagem de nutrientes, suporte físico às

plantas e filtração de contaminantes, de maneira que permita uso produtivo e conservação ambiental a longo prazo (Doran & Parkin, 1994).

Logo, a QS resulta da interação entre seus atributos naturais e as práticas de manejo adotadas, sendo um fator essencial para a manutenção da resiliência ecológica e da produtividade dos ecossistemas nos diferentes biomas. Alguns indicadores de QS como: teor de matéria orgânica, indicadores biológicos, entre outros, refletem a integridade funcional do solo. Em áreas da Caatinga, declínios nesses indicadores são frequentemente associados à remoção da cobertura vegetal, compactação e perda do horizonte superficial (Macedo *et al.*, 2023). Essas mudanças na QS estão diretamente ligadas aos processos de degradação, como erosão hídrica e eólica. (Almeida *et al.*, 2017; Marinho *et al.*, 2016).

Neste contexto, a degradação do solo na Caatinga envolve processos inter-relacionados que incluem remoção do horizonte superficial, perda de matéria orgânica, aumento da susceptibilidade à erosão e redução da diversidade edáfica microbiana. Estes processos reduzem a fertilidade do solo, aumentam a heterogeneidade espacial dos atributos edáficos e criam mosaicos de áreas com diferentes potenciais de recuperação, exigindo estratégias de manejo e restauração adaptadas às condições locais (Mata *et al.*, 2024 ; Lepsch *et al*, 2010). Ainda assim, a degradação é um processo dinâmico, passível de reversão parcial ou total mediante a adoção de práticas que favoreçam a recuperação dos atributos edáficos e da cobertura vegetal.

Para recuperação de áreas degradadas, estratégias como sistemas agroflorestais, cobertura vegetal, adubação verde e rotação de culturas favorecem o aumento da matéria orgânica, estabilidade estrutural, retenção de água e ciclagem de nutrientes (PUC Minas, 2023). No semiárido, destaca-se o recaatingamento, prática de regeneração da vegetação nativa por manejo sustentável, que favorece a recomposição da biodiversidade, melhoria dos atributos edáficos e aumento do estoque de carbono, valorizando espécies nativas e conhecimento local (IRPAA, 2019). Diversas técnicas vêm sendo empregadas para realização desses estudos, por exemplo a espectroscopia de reflectância, que permite quantificar de forma indireta alterações na cobertura vegetal, teor de matéria orgânica e umidade do solo a partir de assinaturas espectrais.

Para monitorar e quantificar espacialmente alterações de uso, qualidade e degradação do solo na Caatinga, a espectrorradiometria e demais técnicas de sensoriamento remoto fornecem ferramentas robustas e complementares às avaliações de campo. Assinaturas espectrais obtidas em bandas visível, infravermelho próximo e infravermelho termal permitem detectar variações na cobertura vegetal, teor de matéria orgânica e umidade superficial, sendo possível relacionar padrões espectrais a indicadores de qualidade do solo e a estágios de degradação (Cracknell, 1998; Hunt & Rock, 1989). A integração de

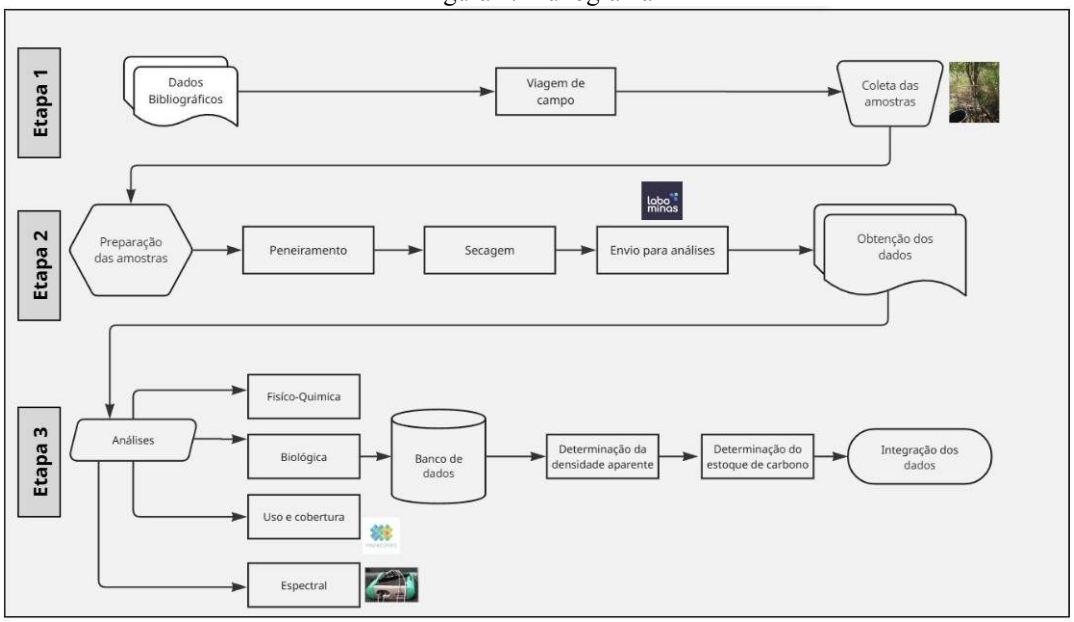
dados espectrais, inclusive de espectroscopia de reflectância de campo e sensores orbitais com análises pedológicas e métricas de uso do solo viabiliza mapeamentos contínuos e séries temporais que apoiam diagnósticos e planejamento de intervenções de conservação, recuperação e manejo sustentável da Caatinga.

Diante disso, este estudo tem como objetivo analisar os atributos físicos, químicos, biológicos e espectrorradiométricos do solo em áreas sob diferentes usos na Caatinga, no município de Juazeiro-BA, comparando uma área degradada, uma área preservada, uma área em processo de recaatingamento e uma área destinada à produção de palmas, a fim de avaliar os efeitos do uso e manejo da terra sobre a qualidade do solo

2 METODOLOGIA

As etapas de elaboração dessa pesquisa estão apresentadas na figura 1. A pesquisa foi divida nas seguintes etapas: (i) trabalho de campo, (ii) seleção das amostras, (iii) peneiramento, secagem e análises, (iv) análises edáfica, de uso e cobertura e espectrorradiométricas, (v) determinação de Densidade Aparente e Estoque de Carbono.

Figura 1. Fluxograma



Fonte: Elaboração: Autores, 2026

A figura 1 apresenta, de forma resumida, as etapas metodológicas adotadas na pesquisa, evidenciando a sequência de procedimentos realizados para a coleta, preparação e análise das amostras de solo.

2.1 ÁREA DE ESTUDO E TRABALHO DE CAMPO

A área de estudo, Centro de Formação Dom José Rodrigues, também conhecida como roça do Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada (IRPAA) , está localizado no município de Juazeiro-BA conforme a figura 2, onde atua na promoção da convivência com o Semiárido, desenvolvendo práticas e tecnologias sociais voltadas para o uso sustentável dos recursos naturais e o fortalecimento da agricultura familiar. A área de estudo abrange temas como manejo da Caatinga, implantação de sistemas agroflorestais, uso eficiente da água através de cisternas e reúso, além de processos educativos que valorizam o conhecimento popular e o protagonismo das comunidades rurais.

Dentre as diversas ações promovidas pelo IRPAA, a recuperar áreas degradadas por meio do manejo do recaatingamento é uma das mais desenvolvidas, a fim de garantir segurança alimentar, enfrentar os efeitos da seca e fortalecer a autonomia das famílias agricultoras, contribuindo para um desenvolvimento rural sustentável e adaptado às condições climáticas do semiárido nordestino (IRPAA, 2024).Nesse contexto, visando compreender os diferentes níveis de conservação, degradação e recuperação ambiental promovidos pelas práticas desenvolvidas no local, foram definidos pontos amostrais representativos dentro da área de estudo para a realização das coletas e análises de campo.

Figura 2. Localização do município de Juazeiro -BA e Pontos de coletas



Fonte: Elaboração: Autores, 2026; Fonte: Google Maps.

A representação visual das áreas amostradas evidencia os diferentes estágios de degradação, conservação, recuperação e uso agrícola considerados neste estudo. O trabalho de campo envolveu a coleta em 4 pontos distintos no ano de 2025: a primeira área (IRP01) é uma área antrópica degradada; a segunda (IRP02) área que apresenta mais de 30 anos de conservação, servindo como referência; a terceira área possui 4 anos de recuperação (IRP03) e a quarta área é destinada à produção de palmas

(IRP04), caracterizando um sistema de uso agrícola, em cada raio de coleta amostral foram coletados 5 pontos para formar uma amostra composta na profundidade 0-30 cm, a fim de garantir uma boa representatividade do local. Esses pontos permitiram a análise comparativa entre diferentes estágios de uso, degradação e recuperação da vegetação e do solo na região da Caatinga.

2.2 SECAGEM E PENEIRAMENTO

As amostras de solo foram inicialmente secas ao ar e, em seguida, passadas por uma peneira de 2 mm, antes de serem secas em estufa a 45 °C por 24 horas. Cada ponto amostral teve duplicatas coletadas, sendo que uma parte foi destinada às análises físicas, químicas e biológicas, encaminhadas ao Labominas e a outra às análises espectrais no LABESPECTRO.

Foram avaliados atributos edáficos sendo os químicos: pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), sódio (Na), fósforo (P), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%). Os atributos físicos compreenderam a granulometria (areia, silte e argila) e a densidade aparente do solo (Ds). Os atributos biológicos foram estimados por meio dos teores de matéria orgânica do solo (MOS), carbono orgânico (C) e estoque de carbono.

2.3 USO E COBERTURA DA TERRA

Para a análise do uso e cobertura da terra no município de Juazeiro-BA, utilizou-se a plataforma MapBiomas, que disponibiliza dados anuais de mapeamento do território brasileiro com base em imagens de satélite e classificação supervisionada. Foram selecionados os anos de 1986 e 2023, para comparação temporal das transformações na paisagem.

O Mapbiomas (Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil) é uma rede global e multi-institucional, formada por universidades, ONGs e empresas de tecnologia, que monitora as transformações na cobertura e no uso da terra nos territórios e seus impactos (MAPBIOMAS, 2025). Nascido no Brasil em 2015, o projeto completou dez anos em 2025, fornecendo a mais atualizada e detalhada base de dados espaciais de uso da terra em um país disponível no mundo. O projeto opera seguindo os princípios da ciência aberta e colaborativa, utilizando processamento distribuído e automatizado de dados em parceria com o Google Earth Engine, gerando mapas anuais desde 1985 com resolução espacial de 30 metros, permitindo acompanhar décadas de transformação territorial com precisão (MAPBIOMAS, 2025).

2.4 ESPECTRORRADIOMETRIA

Neste estudo, as análises foram obtidas com o Espectrorradiômetro FieldSpec® 4 Hi-Res (Figura 3) de faixa espectral: 350 a 2500 nm; resolução espectral de 8nm produzido pela ASD (Analytical Spectral Devices, inc.). Após as leituras foram feitos os tratamentos e correções dos dados via *ViewSpec Pro* dos espectros gerados. O software ENVI 5.3 64-bit foi utilizado como instrumento de interpretação e avaliação dos dados, permitindo a visualização e comparação das curvas espectrais, bem como a aplicação da técnica do contínuo removido que consiste em normalizar espectros de reflectância, o que torna possível comparar feições de absorção individuais a partir de um valor de base comum , utilizando como referência para interpretação e validação das curvas a biblioteca espectral da USGS e Aster.

2.5 DETERMINAÇÃO DOS ESTOQUES DE CARBONO NO SOLO

Quantificar os estoques de Carbono no solo é de fundamental importância para monitorar o estoque de carbono que permite avaliar a eficiência de práticas de manejo e recuperação ambiental, indicando progresso em processos de restauração e conservação do ambiente. (Barreto *et al.*, 2006).

As análises foram conduzidas conforme os procedimentos descritos por Teixeira *et al.* (2017), abrangendo:

– Determinação de Carbono Orgânico no Solo (COS): Quantificação do teor de carbono orgânico, importante indicador da qualidade do solo.

– Estoque de Carbono: Estimativa da quantidade total de carbono armazenado no solo, relevante para estudos de sequestro de carbono.

– Densidade Aparente do Solo (Ds): Medição da massa de solo por unidade de volume, essencial para cálculos de estoque e avaliação da estrutura física do solo.

– Matéria Orgânica do Solo (MOS): Determinação da fração orgânica, composta por resíduos vegetais e organismos em diferentes estágios de decomposição.

A densidade aparente foi estimada utilizando modelos de pedotransferência. O modelo empregado foi o desenvolvido por Tomasella e Hodnett (2004), reconhecido por sua elevada precisão em condições ambientais.

Equação 1 - Determinação Densidade Aparente (Ds)

$$Ds = 1{,}614 - 0{,}0698 \cdot MOS - 0{,}0047 \cdot Argila \quad (1)$$

Onde:

Ds = densidade aparente do solo;

MOS = teor de matéria orgânica (%);

Argila = teor de argila (%).

Para determinação do estoque de Carbono no solo, foi adotado a equação:

Equação 2 - Estoque de Carbono no Solo

$$Est\ C = \frac{CO \cdot D_s \cdot e}{10} \quad (2)$$

Onde:

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (Mg.ha-1) CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg-1) Ds = densidade do solo da profundidade (kg.dm-3) e = espessura da camada considerada (cm)

A conversão de MOS em COS foi realizada com fator 0,50, por ser mais compatível com as condições da Caatinga, onde os solos apresentam forte suscetibilidade à degradação e elevada variabilidade no conteúdo de matéria orgânica. Dessa forma, minimiza-se a superestimação dos estoques de carbono em um ambiente semiárido sujeito à perda acelerada de MOS (Embrapa, 2020; Pribyl, 2010). Assim, a estimativa do COS foi realizada utilizando a equação:

$$COS = MOS \times 0{,}50 \quad (3)$$

Onde: COS = carbono orgânico do solo;

MOS = matéria orgânica do solo.

3 RESULTADOS

Nesta seção, apresentam-se os dados e análises descritivas das áreas IRP01 (Área antrópica degradada), IRP02 (Preservada 30 anos), IRP03 (Recaatingamento 4 anos) e IRP04 (Produção de Palmas), obtidos das análises temporal, químicas, físicas, biológicas e espectrais.

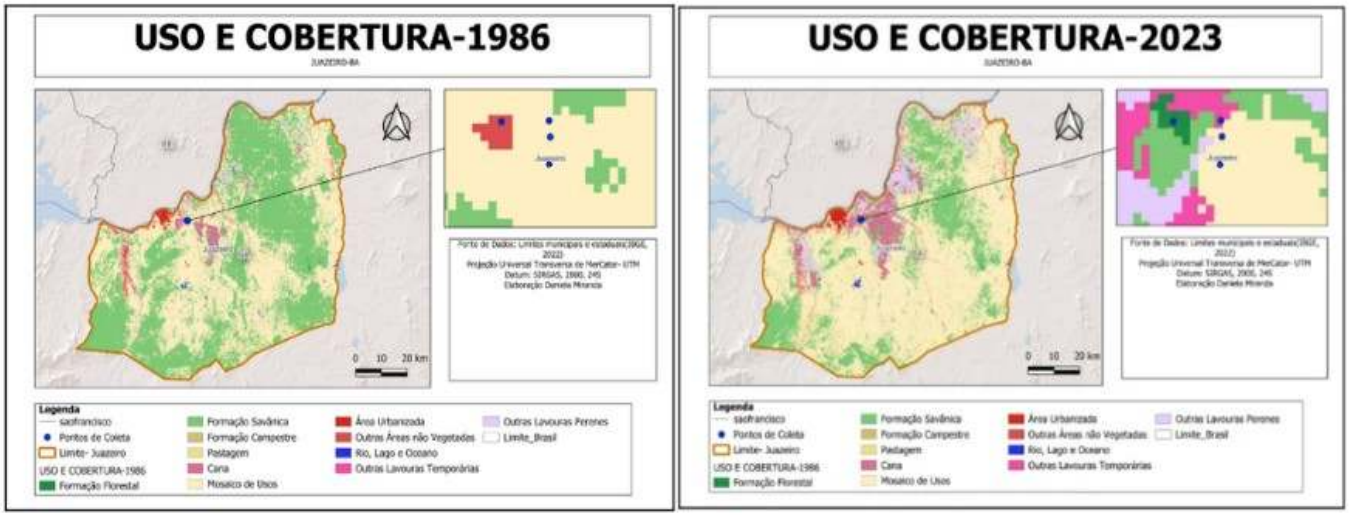
3.1 USO E COBERTURA

A análise temporal do uso e cobertura da terra no município de Juazeiro-BA, com base nos dados do MapBiomas, revelou mudanças significativas entre 1986 e 2023. Em 1986, predominam

formações savânicas e florestais, com áreas urbanas restritas e pastagens/lavouras limitadas (Figura 4). Em 2023, observou-se expansão de pastagens, lavouras temporárias e perenes (Figura 5).

Figura 4- Mapa de uso e cobertura no município de Juazeiro (1986)

Figura 5- Mapa de uso e cobertura no município de Juazeiro (2023)



Fonte: Elaborada pelos autores

No contexto analisado, os mapas demonstram transformações na ocupação e cobertura da terra entre 1986 e 2023, com modificações na distribuição espacial das diferentes classes de uso da terra. Essas informações fornecem um panorama de mudança da paisagem no município de Juazeiro-BA durante o período estudado.

3.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS

Os atributos químicos das áreas IRP01 (degradada), IRP02 (caatinga preservada 30 anos), IRP03 (recaantigamento) e IRP04 (produção de palma) apresentados na Tabela 1, demonstram que a área IRP02 exibiu os maiores valores de cálcio (14,6 cmolc dm^{-3}), soma de bases (18,46 cmolc dm^{-3}) e saturação por bases (95,72%). A IRP01 apresentou os menores teores de cálcio (0,3 cmolc dm^{-3}) e soma de bases (5,87 cmolc dm^{-3}). A IRP04 registrou fósforo elevado (45,8 mg dm^{-3}). Alumínio trocável foi baixo ou ausente em todas as áreas.

Tabela 1. Parâmetros químicos do solo

Pontos	Ca	Mg	Al	H+Al	K	Na	SB	CTC	V	P
				(cmolc/dm³)					(%)	(mg/dm³)
IRP1 – Área Antrópica Degradada	0,3	5,15	0	1,65	0,4	0,2	5,87	7,52	78,06	4,54
IRP2 – Caatinga Preservada (30 anos)	14,6	2,85	0	0,83	0,67	0,34	18,46	19,28	95,72	18,58
IRP3 – Recaatingamento (4 anos)	7,1	2,75	0	2,15	0,3	0,05	10,2	12,34	82,62	17,66
IRP4 – Produção de Palmas	7,8	2,75	0	1,98	0,46	0,78	11,79	13,77	85,62	45,8

Fonte: Elaboração: Autores, 2026

3.3 ATRIBUTOS FÍSICOS E BIOLÓGICOS

A análise granulométrica revelou variações significativas entre as áreas estudadas (Tabela 2). A área preservada apresentou 51,9% de areia, 19,6% de silte e 28,5% de argila, indicando textura franco-arenosa a franco-argilo-arenosa. A área degradada foi predominantemente arenosa, com 74,9% de areia, 12,3% de silte e apenas 12,8% de argila, caracterizando textura mais leve e menos equilibrada. As áreas de recaatingamento e produção de palma apresentaram composições intermediárias, com textura franco-arenosa, evidenciando condição transicional entre os ambientes preservado e degradado.

A densidade aparente (Ds) atingiu 1,49 g cm^{-3} na área degradada. A área preservada registrou Ds mínima (1,22 g cm^{-3}), enquanto a de recaatingamento e produção de palmas apresentaram 1,35 e 1,28 g cm^{-3}, em ordem correspondente.

O pH variou de 6,3 da área degradada a 7,3 na área conservada, com valores intermediários de 6,8 e 6,9 nas áreas de recaatingamento e produção de palmas, na ordem apresentada.

A matéria orgânica do solo (MOS) foi máxima na área conservada (2,533%), seguida por (1,78%) na zona de produção de palmas, (1,42%) na de recaatingamento e mínima na área degrada (0,85%). Os teores de carbono orgânico seguiram a ordem de : 12,67 g kg^{-1}, 8,90 g kg^{-1}, 7,10 g kg^{-1} e 4,25 g kg^{-1}, nas zonas conservadas, produção de palmas, recaatingamento e degradadas, respectivamente.

Os estoques de carbono na camada foram 52,81 t ha^{-1} em IRP02, 37,4 t ha^{-1} em IRP04, 29,6 t ha^{-1} em IRP03 e 17,2 t ha^{-1} em IRP01.

Tabela 2. Parâmetros físicos e biológicos do solo

Pontos	Areia	Silte	Argila	pH	Ds	M.O	C orgânico	Estoque de C (t/ha)
		(%)		H_2O	(g/cm³)	(%)	(g/kg)	(t/ha)
IRP1 – Área Antrópica Degradada	74,9	11,6	13,5	6,3	1,49	0,862	4,31	19,27
IRP2 – Caatinga Preservada (30 anos)	51,9	19,6	28,5	7,3	1,39	2,533	12,67	52,81
IRP3 – Recaatingamento (4 anos)	66,8	12,2	21	6,3	1,42	1,347	6,73	28,69
IRP4 – Produção de Palmas	67,7	13,8	18,5	6,4	1,43	1,455	7,31	31,21

Fonte: Elaboração: Autores, 2026

3.4 ESPECTRORRADIOMETRIA

Os espectros de reflectância (figura 6) mostram o comportamento geral das amostras ao longo do intervalo analisado, enquanto com a aplicação do *continuum removido* evidencia maior nitidez as feições de absorção e facilita a comparação entre os materiais. No espectro sem *continuum removido* observa-se o padrão global de reflectância e as principais depressões espectrais, permitindo uma avaliação inicial do material como um todo. Já no espectro com o *continuum removido*, as bandas diagnósticas ficam mais destacadas, o que melhora a identificação das feições associadas a grupos hidroxila, água estrutural, etc.

Os espectros das áreas avaliadas apresentam feições de absorção distintas quanto à intensidade e à definição das bandas espectrais. Em todas as áreas são identificadas absorções próximas de 1400 nm e 1900 nm, associadas à presença de água e grupos hidroxila, além de picos de absorção em torno de 2205 nm, compatível com a ocorrência de argilominerais do grupo das esmectitas sendo destaque neste gráfico a montmorilonita. Na região do visível ao infravermelho próximo, também são observadas feições relacionadas aos óxidos de ferro, com pico de absorção em torno de 480-550 nm, indicando a presença da goethita. É possível observar a influência da matéria orgânica em cada ponto estudado. Entretanto, a profundidade dessas bandas e os níveis de reflectância variaram entre os ambientes analisados.

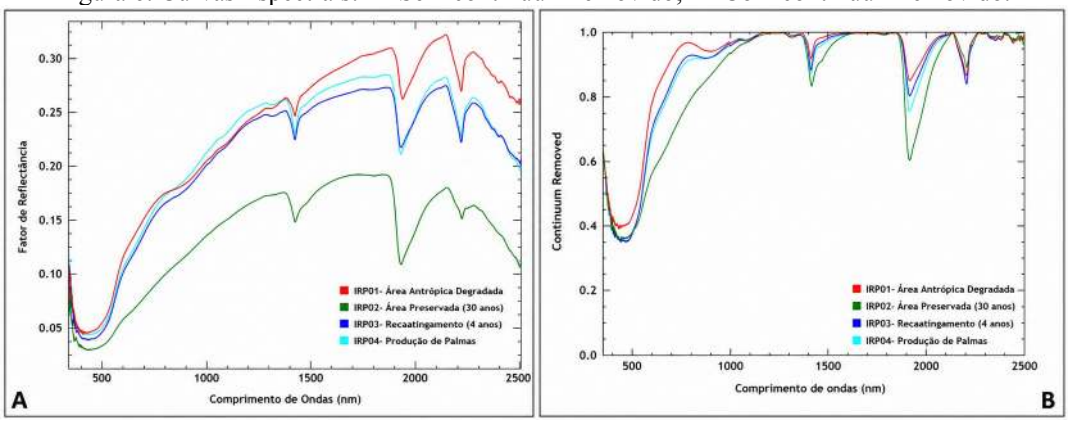
A área degradada (IRP01) apresenta os maiores valores de reflectância ao longo de todo o espectro, principalmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo. As feições associadas aos óxidos de ferro indicam maior expressão espectral dos constituintes minerais do solo, indicando menor cobertura superficial por matéria orgânica.

A área conservada (IRP02) apresenta os menores valores de reflectância dentre os ambientes avaliados. Esse comportamento está relacionado ao maior teor de matéria orgânica, que reduz a reflectância e intensifica a absorção da energia incidente. As feições de absorção relacionadas aos argilominerais e aos óxidos de ferro permaneceram presentes, porém com menor intensidade e definição quando comparadas às demais áreas.

A área em processo de recaatingamento (IRP03) apresenta valores intermediários de reflectância e feições espectrais moderadamente definidas. As bandas próximas de 1400 nm, 1900 nm e 2205 nm foram identificadas ao longo do espectro, com intensidade superior à observada na área conservada e inferior à da área degradada. Esse ponto demonstrou transição entre maior exposição mineral e incremento de cobertura orgânica.

A área destinada à produção de palma (IRP04) também apresenta comportamento intermediário, com níveis de reflectância próximos aos observados em IRP03. As feições associadas, aos argilominerais e aos óxidos de ferro foram identificadas, destacando-se a banda em torno de 2205 nm. A presença da matéria orgânica nessa área contribui para reduzir parcialmente a reflectância, embora em menor intensidade do que a conservada.

Figura 6. Curvas Espectrais: A- Sem continuum removido; B- Com continuum removido.



Fonte: Elaborada pelos autores

Conforme observado na Figura 6, as áreas avaliadas apresentaram comportamentos espectrais diferentes, refletidos nas variações de reflectância e na expressão das feições de absorção ao longo do espectro eletromagnético. Essas diferenças permitiram caracterizar os ambientes estudados e identificar a ocorrência dos principais constituintes espectralmente ativos presentes nos solos analisados.

4 DISCUSSÕES

4.1 ATRIBUTOS QUÍMICOS

A transição de formações savânicas e florestais para pastagens e lavouras entre 1986 e 2023, evidenciada nas figuras 4 e 5, caracteriza a antropização do Vale do São Francisco (Rodrigues e Domingues, 2017) e está associada à redução de 35% da Caatinga nativa (Letras Ambientais, 2021). Esse processo intensifica a desertificação em 65% do semiárido (Barbosa Neto *et al.*, 2021), comprometendo estoques edáficos de carbono e nutrientes (Silva *et al.*, 2019). Nesse contexto, as análises comparativas entre as parcelas estudadas revelaram fortes diferenças na fertilidade química relacionadas ao estado de conservação e ao manejo.

A área de Caatinga conservada (IRP02) destaca-se pela fertilidade química superior às demais, com cálcio elevado (14,6 cmolc dm^{-3}), magnésio (3,8 cmolc dm^{-3}) e soma de bases máxima (18,46 cmolc dm^{-3}), alcançando saturação por bases de 95,72%. Esses atributos refletem o papel regulador da vegetação nativa, conforme Gatto *et al.* (2014), que registraram incrementos de 42% nos cátions devido à serapilheira rica em bases (15-22% cinzas básicas) de espécies típicas como *Mimosa tenuiflora,* popularmente conhecida como jurema-preta.

Em contrapartida, a área degradada IRP01 apresentou cálcio extremamente baixo (0,3 cmolc dm^{-3}), soma de bases mínima (5,87 cmolc dm^{-3}) e saturação por bases aparentemente adequada

(78,06%), valor aparentemente elevado em decorrência da dominância de magnésio (5,15 cmolc dm^{-3}). Novais *et al.* (2007) explica que em solos com CTC efetiva inferior a 8 cmolc dm^{-3}, a saturação relativa torna-se artificialmente elevada, não refletindo a real disponibilidade de nutrientes. Meurer (2017) complementa que proporções de Mg superiores a 60% da soma de bases criam antagonismo iônico, inibindo a absorção de Ca^{2+} e P, o que compromete severamente a nodulação de leguminosas nativas como *Mimosa tenuiflora*. Dracma (2011) quantifica perdas de 70% dos cátions em 10 anos de degradação, impulsionadas por erosão hídrica concentrada (500-800 mm/ano, 85% em eventos de 3 horas), removendo aproximadamente 25 kg Ca ha^{-1} por chuva intensa, enquanto o potássio restritivo (0,45 cmolc dm^{-3}; demanda ótima 0,8-1,2 cmolc dm^{-3} para gramíneas nativas) agrava a baixa fertilidade.

O recaatingamento na área IRP03 demonstrou recuperação notável da fertilidade química, alcançando grande potencial de cálcio, magnésio da referência conservada (IRP02) em apenas 4 anos de manejo sustentável. Esse resultado reflete a potente fixação biológica de nutrientes conduzida por espécies nativas, alinhando-se perfeitamente aos estudos de Almeida *et al.* (2014), que registraram incrementos de +3,2 cmolc dm^{-3} em bases trocáveis após 5 anos de regeneração espontânea controlada na Caatinga.

Na área IRP04 (produção de palma), o fósforo ganha notoriedade (45,8 mg dm^{-3}) que pode ser considerado resultante da irrigação por gotejamento da água cinza (70-75% dos efluentes domésticos: cozinha, lavanderia, banho), prática comum no semiárido pelo IRPAA. De acordo com estudos há duas fontes de P que contribuem para o acúmulo: fertilizante mineral (65% fixado em argilas 2:1) e água cinza (detergentes fosfatados + restos orgânicos liberam 5-12 mg L^{-1} P total), somando 12-18 kg P ha^{-1} ano^{-1} lixiviados para o Aquífero São Francisco (Silva, 2018; Melo *et al.*, 2014). A salinização leve é decorrente de sais residuais da água cinza. Todas as áreas apresentaram Al trocável ausente (0 cmolc dm^{-3}), evitando toxicidade radicular limite 0,5 cmolc dm^{-3}(Miguel *et al.*, 2010).

4.2 ATRIBUTOS FÍSICOS E BIOLÓGICOS

A área conservada apresentou a melhor estrutura física, com densidade aparente baixa (1,22 g cm^{-3}), argila (28,5%) e silte (19,6%), resultando em porosidade 55% que garante aeração ótima e infiltração. Hillel (2004) estabelece Ds menor que 1,3 g cm^{-3} como essencial para o semiárido, enquanto Resende *et al.* (2014) confirmam que agregados estáveis (menor que 2 mm) sob vegetação nativa reduzem erosão em 78% .

Em contraste, a área degradada evidenciou Ds crítica (1,49 g cm^{-3} > limite 1,4 g cm^{-3} para Caatinga (EMBRAPA, 2011), areia dominante (74,9%), porosidade <45%. SILVA *et al* (2004)

documentam que Neossolos degradados apresentam essa compactação, reduzindo infiltração 65%, enquanto Brady & Weil (2013) explicam que areia e baixa MOS causam dispersão de argila e colapso estrutural .

As áreas em recuperação apresentou Ds de 1,35 g cm^{-3} e agrícola 1,28 g cm^{-3} mostrando reestruturação gradual por serapilheira, conforme Costa *et al.* (2019) que validam redução de 0,14 g cm^{-3} em 5 anos de recaatingamento. A textura franco-argilosa de IRP02/04 retém 38% mais água disponível (0,22 cm^3/cm^3) que IRP01 (0,12 cm^3/cm^3), crucial para o regime pluviométrico irregular (500-800 mm/ano), e pH 7,3 (IRP02) otimiza enzimas microbianas versus pH 6,3 (IRP01) (Sparks, 2003**).**

Em relação aos atributos biológicos a área conservada IRP02 apresentou os melhores valores de matéria orgânica do solo (MOS 2,533%), carbono orgânico (12,67 g kg^{-1}) e estoque de carbono (52,81 t ha^{-1} na camada 0-30 cm), superando em mais de 100% a área degradada IRP01 (MOS 0,85%, C orgânico 4,25 g kg^{-1}, 17,2 t ha^{-1}). Esses resultados posicionam IRP02 como referência para Caatinga preservada, alinhando-se aos estoques de 45-55 t C ha^{-1} descrito por Batista *et al.* (2018) em condições climáticas similares.

A alta MOS da da área conservada pode ser resultado da combinação de rizodeposição radicular 30% da biomassa (Guo & Gifford, 2002), deposição de serapilheira (4,2 t ha^{-1} ano^{-1}) (Leite *et al.*, 2016) e fator de conversão 0,50 MOS→C específico para solos da caatinga (Pribyl, 2010).

A área agrícola surpreendeu com MOS intermediária (1,78%), C orgânico (8,90 g kg^{-1}) e estoque de 37,4 t ha^{-1}, beneficiada pela irrigação com água cinza (525 m^3 ha^{-1} ano^{-1}). Melo *et al.* (2014) documentaram incrementos similares de 15% na MOS com reúso de efluentes domésticos no semiárido, enquanto Paustian *et al.* (1997) verificaram ganhos de 12 t C ha^{-1} em sistemas agroecológicos manejados.

O recaatingamento alcançou MOS de 1,42%, C orgânico 7,10 g kg^{-1} e 29,6 t ha^{-1} em apenas 4 anos, equivalente a uma taxa de acúmulo de 3,5 t C ha^{-1} ano^{-1}. Almeida *et al.* (2014) projetam recuperação de mais de 60% do potencial conservado após 7 anos, demonstrando viabilidade técnica e econômica superior à adubação mineral convencional.

Ao observar o gradiente progressivo IRP02 (52,81 t ha^{-1}) > IRP04 (37,4 t ha^{-1}) > IRP03 (29,6 t ha^{-1}) > IRP01 (17,2 t ha^{-1}) evidencia um continuum ecológico funcional, onde a conservação plena, o manejo agroecológico e a restauração sequencial superam consistentemente a degradação. (Dracma, 2011) estima que restaurar 1 milhão de hectares na Caatinga sequestraria 25 milhões de toneladas de CO_2.

4.3 ESPECTRORRADIOMETRIA

Os resultados espectrorradiométricos evidenciam que a resposta espectral dos solos estudados está diretamente associada ao estado de conservação, ao manejo e à composição superficial dos materiais. A área preservada apresentou menor reflectância ao longo do espectro, enquanto a área degradada exibiu os maiores valores de reflectância, o que indica menor cobertura por matéria orgânica e maior exposição dos constituintes minerais. Esse comportamento confirma que a matéria orgânica exerce papel central na modulação da assinatura espectral do solo, funcionando como um elemento de escurecimento da superfície e, simultaneamente, como indicador da maior estabilidade e funcionalidade do ambiente edáfico (Meneses *et al.*, 2019; Hunt e Rock, 1989; Doran e Parkin, 1994).

A interpretação dessas curvas deve considerar que a espectrorradiometria não responde a um único atributo, mas à interação entre matéria orgânica, argilominerais, óxidos de ferro, umidade e textura. Meneses *et al.* (2019) destacam que a reflectância dos materiais terrestres é consequência da composição e da organização superficial do solo, o que permite identificar diferenças sutis entre materiais com distintas condições pedogenéticas e de uso. No presente estudo, essa integração é clara: a área preservada, com maiores teores de MOS, carbono orgânico e estoque de carbono, apresenta menor reflectância, a área degradada com menores valores desses atributos, mostra maior resposta espectral, e as áreas intermediárias, em recaatingamento e produção de palma, apresentam comportamento transicional (Meneses *et al.*, 2019; Brady e Weil, 2008; Silva *et al.*, 2019).

A matéria orgânica influencia o espectro de forma ampla e não se limita ao efeito sobre o estoque de carbono. Ela interfere na agregação do solo, na retenção de água, na atividade biológica e na proteção física dos minerais finos, alterando a maneira como a radiação é absorvida e refletida. Assim, solos com maior teor de matéria orgânica tendem a apresentar menor reflectância no visível e no infravermelho próximo, enquanto solos pobres exibem curvas mais claras e mais próximas da assinatura dos minerais expostos. Isso explica por que a área preservada, além de apresentar maior estoque de carbono, também mostrou uma resposta espectral mais escura e menos contrastada (Brady e Weil, 2008; Doran e Parkin, 1994; Meneses *et al.*, 2019).

As feições espectrais em torno de 1400 nm e 1900 nm são particularmente relevantes porque estão associadas à absorção da água e de grupos hidroxila. Essas bandas indicam a presença de umidade adsorvida e de minerais hidratados, sendo úteis para avaliar tanto a condição hídrica quanto a composição mineral do solo. Hunt e Rock (1989) já demonstraram que essas regiões espectrais são sensíveis a mudanças no conteúdo de água e à variabilidade de materiais terrestres. No contexto deste estudo, a permanência dessas feições em todas as áreas sugere que os solos mantêm constituintes

espectralmente ativos típicos de ambientes semiáridos, embora com intensidades distintas conforme o grau de cobertura orgânica e de exposição superficial (Hunt e Rock, 1989; Meneses *et al.*, 2019).

A banda em torno de 2205 nm é uma das feições mais importantes da interpretação espectral do solo, pois está associada a argilominerais com grupos OH estruturais, especialmente filossilicatos. Sua presença indica participação relevante da fração mineral fina na composição do solo e permite inferir aspectos da mineralogia sem necessidade de análise direta complementar. Do ponto de vista pedológico, esse resultado é significativo porque os argilominerais controlam propriedades como retenção de água, capacidade de troca de cátions e estabilidade estrutural. Dessa forma, a espectrorradiometria revela não apenas a mineralogia, mas também parte das bases funcionais que explicam a fertilidade observada nas análises químicas (Meneses *et al.*, 2019; Novais *et al.*, 2007; Meurer, 2017).

As feições na região do visível, especialmente entre 480 e 550 nm, sugerem a influência dos óxidos de ferro, como a goethita. Esses minerais contribuem para a coloração do solo e para a modulação da reflectância, especialmente em solos tropicais intemperizados. A persistência dessas bandas em todas as áreas confirma que a matriz mineral permanece presente, mas a sua expressão espectral varia conforme a cobertura orgânica e o grau de exposição da superfície. Em áreas degradadas, a menor proteção por matéria orgânica tende a acentuar a assinatura mineral; em áreas preservadas, a matéria orgânica reduz parcialmente essa expressão, atenuando a reflectância e tornando o espectro mais escuro (Meneses *et al.*, 2019; Hunt e Rock, 1989; Doran e Parkin, 1994).

A relação entre espectrorradiometria e estoque de carbono é especialmente relevante porque os maiores estoques observados na área preservada refletem maior aporte de resíduos vegetais, menor perturbação do solo e maior proteção da fração orgânica contra decomposição acelerada. Essa condição se expressa diretamente na curva espectral, já que o aumento do carbono orgânico reduz a reflectância e altera a forma geral da assinatura espectral. Em contrapartida, a área degradada, com menor estoque de carbono, apresenta comportamento oposto: curva mais clara, maior exposição mineral e menor amortecimento espectral. Portanto, o estoque de carbono deve ser entendido não apenas como indicador biogeoquímico, mas também como variável com forte expressão óptica (Lal, 2004; Pribyl, 2010; Leite *et al.*, 2016).

Além do carbono, a matéria orgânica interfere na física e na química do solo, influenciando a agregação, a porosidade e a retenção de água. Isso ajuda a explicar por que a área preservada, além de mais rica em matéria orgânica, também apresentou melhor estrutura e menor densidade aparente, o que favorece uma superfície menos exposta e mais heterogênea do ponto de vista espectral. Já a área degradada, com textura mais arenosa e maior densidade aparente, tende a expor mais a fração mineral,

elevando a reflectância e reforçando as feições dos constituintes inorgânicos. Assim, a resposta espectral observada é produto da interação entre composição mineral, estrutura física e conteúdo orgânico (Hillel, 2004; Brady e Weil, 2013; Costa *et al.*, 2019).

A área em recaatingamento apresentou comportamento intermediário, indicando recuperação parcial da cobertura orgânica e reorganização progressiva da superfície do solo. Esse padrão confirma que a restauração ecológica se manifesta como um processo contínuo, no qual a assinatura espectral vai se aproximando gradualmente daquela observada em ambientes mais conservados. De forma semelhante, a área de produção de palma também mostrou resposta intermediária, sugerindo que o manejo agrícola mantém parte da funcionalidade do solo, mas ainda com exposição mineral significativa e menor estabilidade que a área preservada. Isso demonstra que a espectrorradiometria é sensível tanto à degradação quanto à recuperação, sendo útil para monitorar mudanças em diferentes estágios de uso da terra (IRPAA, 2019; Almeida *et al.*, 2014; Santos *et al.*, 2019).

Em síntese, os resultados confirmam que a espectrorradiometria foi capaz de distiguir os ambientes estudados com base em variáveis que vão muito além do estoque de carbono. A técnica revelou diferenças ligadas à matéria orgânica, à mineralogia, à presença de argilominerais, aos óxidos de ferro e à umidade superficial, mostrando-se coerente com os atributos químicos e físicos observados. Assim, sua aplicação em estudos de solos da Caatinga é particularmente promissora, pois permite integrar conservação ambiental, qualidade do solo e dinâmica dos constituintes espectralmente ativos em uma única leitura interpretativa (Meneses *et al.*, 2019; Cracknell, 1998; Hunt e Rock, 1989).

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que o objetivo proposto foi alcançado, uma vez que a análise dos atributos físicos, químicos, biológicos e espectrorradiométricos do solo permitiu identificar diferenças significativas entre as áreas sob distintos usos na Caatinga. Os resultados demonstraram que a área preservada apresentou as melhores condições de fertilidade e maior estoque de carbono, enquanto a área degradada concentrou os menores valores, evidenciando os efeitos negativos da antropização sobre a qualidade do solo. A área em processo de recaatingamento apresentou sinais de recuperação dos atributos edáficos, ao passo que a área destinada à produção de palmas mostrou condições intermediárias, indicando que práticas de manejo podem amenizar os impactos da degradação. Dessa forma, os dados obtidos reforçam a importância da preservação da vegetação nativa e da adoção de estratégias sustentáveis de uso da terra para a recuperação dos solos da Caatinga.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA *et al.* Fallow management reduced runoff, soil loss and organic carbon loss in the Caatinga biome. Floresta e Ambiente, 2017.

ALMEIDA, R. G. *et al.* Recuperação de solos degradados por meio da regeneração natural na Caatinga. Rev. Bras. Ci. Solo, v. 38, n. 5, p. 1465-1477, 2014.

BARBOSA NETO, F. *et al.* Desertificação no Semiárido brasileiro. Ed. Embrapa, 2021.

BATISTA, E. M. *et al.* Estoques de carbono em diferentes estádios sucessionais da Caatinga. Fl. Amb., v. 25, n. 2, p. 189-201, 2018.

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

CARVALHO, L. M. *et al.* Densidade crítica e produtividade forrageira Caatinga. Rev. Caatinga, v. 29, n. 2, p. 412-420, 2016.

COSTA, S. V. *et al.* Atributos físicos em processos de degradação e recuperação do solo no semiárido. Rev. Caatinga, v. 32, n. 4, p. 972-982, 2019.

CRACKNELL, A. P. Synergy in remote sensing: what's in a pixel? International Journal of Remote Sensing, v. 19, n. 11, p. 2025-2047, 1998.

DEMATTÊ *et al.* Avaliação espectral de solos desenvolvidos em uma topossequência de diabásio e folhelho da região de Piracicaba, SP. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 35, p. 2447-2460, 2000.

DRACMA. Atlas da Caatinga. Brasília: MMA, 2011.

EMBRAPA. Manejo de solos semiáridos: limites físicos. Embrapa Semiárido, 2011.

EMBRAPA. Solos da Caatinga: caracterização e manejo. Campina Grande, 2006.

EMBRAPA. Solos do semiárido brasileiro. Embrapa, 2020.

GATTO, A. *et al.* Importância da vegetação nativa na manutenção da fertilidade do solo. Rev. Árvore, v. 38, n. 2, p. 235-245, 2014.

GUO, L. B.; GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta-analysis. Global Change Biology, v. 8, n. 4, p. 345-360, 2002.

HILLEL, D. Introdução à física do solo. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

HUNT JR., E. R.; ROCK, B. N. Detection of changes in leaf water content using near- and middle-infrared reflectances. Remote Sensing of Environment, v. 30, n. 1, p. 43-54, 1989.

IRPAA. Experiências de Recaatingamento no Semiárido Brasileiro. 2019. Disponível em: <https://irpaa.org/publicacoes/32/cartilhas/experiencias-de-recaatingamento-no-semiarido-brasileiro>. Acesso em 30/03/2026.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science, v. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004.

LEITE, M. L. *et al.* Estoques de carbono em solos de Caatinga sob diferentes usos. Rev. Bras. Ci. Solo, v. 40, e0150236, 2016.

LEPSCH, I. F. Formação e Conservação dos Solos. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2010.

LETRAS AMBIENTAIS. Perda da vegetação nativa na Caatinga: mais de 10% em 35 anos. Projeto Monitoramento da Vegetação Nativa. Instituto do Meio Ambiente, 2021. Disponível em: <https://letrasambientais.com.br/caatinga-perda-vegetacao>. Acesso em 25/02/2026.

MACEDO *et al.* Effects of degradation on soil attributes under caatinga in the Brazilian semi-arid region. 2023.

MARINHO *et al.* Efeitos do uso da terra no passado e no presente sobre a cobertura vegetal e a regeneração em uma floresta tropical seca. 2016.

MATA, Djair Alves *et al.* Fertilidade do solo no semiárido: características e desafios. Revista de Gestão e Secretariado, v.15, n.9, 2024.

MELO, R. F. *et al.* Efeito da irrigação suplementar com águas cinzas nas características químicas de solos. Congresso Brasileiro de Agroecologia, 11., 2014.

MENESES, P. R. *et al.* Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação. Oficina de Textos, 2019.

MEURER, E. J. Fundamentos de química do solo. 6. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2017.

MIGUEL, F. *et al.* Concentração de alumínio no solo e desenvolvimento de plantas. Rev. Bras. Agrociência, v. 16, n. 2, p. 159-167, 2010.

NOVAIS, R. *et al.* Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007.

OLIVEIRA, F. M. P. de. Perturbações antrópicas e mudanças climáticas na Caatinga: efeitos sobre os serviços providos por formigas às plantas. 2018. Tese (Doutorado), Recife, 2018

PAUSTIAN, K. *et al.* Management controls on soil carbon. Soil Till. Res., v. 43, n. 1-2, p. 119-130, 1997.

PEDROSA, Sonaly da Silva. SOUZA Deorgia Tayane Mendes. Avaliação do Comportamento Espectral em Solos Submetidos a Saturação de Macronutrientes – Ca- Mg. Disponível: <https://anais.uefs.br/index.php/semic/article/download/748/753/567>. Acesso em: 30/04/2026.

PRIBYL, D. W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. Geoderma, Vol. 156, nº 3-4, 2010.

PUC MINAS. Estratégias de recuperação de solos degradados. 2023.

RODRIGUES, E. M.; DOMINGUES, G. P. Transformações territoriais no município de Juazeiro-BA. Rev. Geografia, v. 30, n. 1, p. 88-111, 2017.

SANTOS, D. M. *et al.* Matéria orgânica e carbono orgânico em solos de Caatinga. Ci. Florest., v. 29, n. 3, p. 1456-1467, 2019.

SANTOS, D. R.; SANTOS, M. L. Degradação do solo no Brasil. Rev. Bras. Geogr. Fís., v. 12, n. 3, p. 655-664, 2023.

SILVA, D. M. *et al.* Solos da Caatinga: caracterização física. Rev. Bras. Ci. Solo, v. 28, n. 3, p. 512-523, 2004.

SILVA, F. C. *et al.* Compactação do solo em sistemas agrícolas da Caatinga. Rev. Bras. Ci. Solo, v. 33, p. 257-268, 2009.

SILVA, J. *et al.* Atributos edáficos em Caatinga preservada versus áreas antropizadas. Rev. Bras. Ci. Solo, 2019.

SILVA, J. R. Manejo do fósforo em solos tropicais. Rev. Agric., v. 93, n. 2, p. 154-161, 2018.

SIQUEIRA, M. da S. de *et al.* Impactos das alterações de uso e ocupação do solo considerando a variabilidade climática e hidrológica na região do semiárido. Revista Brasileira de Gestão Ambiental, v. 11, n. 1, p. 139–149, 2017.

SOUZA, D. T. M.; LIMA, R. Qualidade do solo na Caatinga. 2020.

SPARKS, D. L. Environmental Soil Chemistry. San Diego: Academic Press, 2003.