ReGeo
ISSN: 2177-3246

DO SOLO À COMUNIDADE: ANÁLISE DA QUALIDADE DO SOLO NA COMUNIDADE QUILOMBOLA DE GITIRANA, BONITO, BAHIA

FROM SOIL TO COMMUNITY: SOIL QUALITY ANALYSIS IN THE QUILOMBOLA COMMUNITY OF GITIRANA, BONITO, BAHIA, BRAZIL

DEL SUELO A LA COMUNIDAD: ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL SUELO EN LA COMUNIDAD QUILOMBOLA DE GITIRANA, BONITO, BAHÍA, BRASIL

https://doi.org/10.56238/revgeov17n11-159

Data de submissão: 24/10/2026 **Data de publicação:** 24/11/2026

Daniela dos Reis Miranda
Graduanda em Ciências Biológicas
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: danimmiranda.bio@gmail.com

Deorgia Tayane Mendes de Souza
Doutora em Geociências Aplicadas e Geodinâmica
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: dtmsouza@uefs.br

Tiago Rodrigues Santos
Doutor em Ciências Sociais
Instituição: Universidade Federal do Recôncavo
E-mail: tiago.rodrigues@ufrb.edu.br

João Daniel Pinto de Cerqueira Filho
Graduado em Agronomia
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: joaopintoc@hotmail.com

Valdinéia Gusmão Silva
Mestre em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: neiagusmaogeo@gmail.com

Heder Bispo de Freitas
Graduado em Agronomia
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: freitasheder190@gmail.com

Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha
Doutor em Geologia
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: wrocha@uefs.br

ReGeo
ISSN: 2177-3246

Rodrigo Nogueira de Vasconcelos
Doutor em Ecologia
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: rnv@uefs.br

RESUMO
A qualidade do solo é influenciada por seus atributos químicos, físicos e mineralógicos, adicionalmente pelas práticas de uso e manejo. Em territórios quilombolas, nos quais a agricultura familiar se apoia em saberes tradicionais, ainda são escassos os diagnósticos que integrem indicadores edáficos e técnicas espectrais. Este estudo avaliou a qualidade química relativa do solo em duas áreas da Comunidade Quilombola de Gitirana, Bonito-BA, em sete pontos amostrais: quatro em propriedade vinculada à Associação Comunitária (cultivo de mandioca, cultivo de milho, área descoberta há dez anos e área preservada) e três em propriedade de um produtor rural (áreas sem uso há cinco e dez anos e pousio há sete anos após cultivo de maracujá). Foram determinados pH, acidez potencial, alumínio trocável, bases, fósforo, potássio, enxofre, ferro, nitrogênio total, carbono orgânico e matéria orgânica, integrados em um Índice de Qualidade do Solo (IQS) por média ponderada de escores normalizados, e obtidos espectros de reflectância (350–2500 nm) com o espectrorradiômetro FieldSpec 4, analisados com remoção do contínuo. Todos os solos são fortemente ácidos (pH 4,0–5,3) e distróficos (V = 15,9–41,2%), com saturação por alumínio entre 8,0% e 54,1%. O ponto P07, sem uso há dez anos, apresentou a melhor condição química (IQS = 0,897), seguido de P05 (0,563); P02, sob milho, e P06, em pousio, apresentaram as condições mais restritivas, em razão da elevada acidez e da maior saturação por alumínio, e P04, área preservada da Associação, obteve o menor IQS (0,129) pelos baixos teores de bases e de matéria orgânica. As análises espectrais revelaram composição mineralógica semelhante entre os pontos, com feições associadas à goethita, à água molecular e minerais de argila, especialmente à caulinita; as principais diferenças ocorreram na intensidade da reflectância, maior em P01 e P05 e menor em P07. Os históricos de uso e manejo alteraram principalmente a intensidade das respostas espectrais, e não a composição mineralógica predominante, embora a relação entre reflectância e matéria orgânica não tenha sido consistente em todos os pontos. Por ser relativo ao conjunto amostrado e não incluir repetições nem indicadores físicos e biológicos, o IQS constitui um diagnóstico exploratório; ainda assim, os resultados indicam a correção da acidez e o aporte de matéria orgânica como prioridades de manejo para as áreas cultivadas da comunidade.

Palavras-chave: Território Quilombola. Qualidade do Solo. Índice de Qualidade do Solo. Espectrorradiometria. Uso da Terra.

ABSTRACT
Soil quality is influenced by chemical, physical, and mineralogical attributes, as well as by land-use and management practices. In quilombola territories, where family farming relies on traditional knowledge, diagnoses integrating soil indicators and spectral techniques are still scarce. This study assessed the relative chemical soil quality in two areas of the Gitirana Quilombola Community, Bonito, Bahia, Brazil, at seven sampling points: four on a property linked to the Community Association (cassava, maize, an area bare for ten years and a preserved area) and three on a rural producer's property (areas unused for five and ten years and a seven-year fallow after passion fruit). Soil pH, potential acidity, exchangeable aluminum, bases, phosphorus, potassium, sulfur, iron, total nitrogen, organic carbon and organic matter were determined and integrated into a Soil Quality Index (SQI) as a weighted mean of normalized scores, and reflectance spectra (350–2500 nm) were acquired with a FieldSpec 4 spectroradiometer and analyzed with continuum removal. All soils are strongly acidic (pH 4.0–5.3) and dystrophic (V = 15.9–41.2%), with aluminum saturation between 8.0% and 54.1%. Point

P07, unused for ten years, showed the best chemical condition (SQI = 0.897), followed by P05 (0.563); P02, under maize, and P06, in fallow, showed the most restrictive conditions owing to high acidity and aluminum saturation, and P04, the preserved area of the Association, had the lowest SQI (0.129) because of low base and organic matter contents. Spectral analyses revealed similar mineralogical composition across points, with features associated with goethite, molecular water and clay minerals, especially kaolinite; the main differences lay in reflectance intensity, higher at P01 and P05 and lower at P07. Land-use and management histories altered mainly the intensity of the spectral responses rather than the predominant mineralogy, although the relationship between reflectance and organic matter was not consistent across all points. Because it is relative to the sampled set and lacks replication and physical and biological indicators, the SQI is an exploratory diagnosis; even so, the results indicate acidity correction and organic matter inputs as management priorities for the community's cultivated areas.

Keywords: Quilombola Territory. Soil Quality. Soil Quality Index. Spectroradiometry. Land Use.

RESUMEN

La calidad del suelo está influenciada por sus atributos químicos, físicos y mineralógicos, así como por las prácticas de uso y manejo. En los territorios quilombolas, donde la agricultura familiar se apoya en saberes tradicionales, aún son escasos los diagnósticos que integren indicadores edáficos y técnicas espectrales. Este estudio evaluó la calidad química relativa del suelo en dos áreas de la Comunidad Quilombola de Gitirana, Bonito, Bahía, Brasil, en siete puntos de muestreo: cuatro en una propiedad vinculada a la Asociación Comunitaria (yuca, maíz, área descubierta desde hace diez años y área preservada) y tres en la propiedad de un productor rural (áreas sin uso desde hace cinco y diez años y barbecho de siete años tras el cultivo de maracuyá). Se determinaron pH, acidez potencial, aluminio intercambiable, bases, fósforo, potasio, azufre, hierro, nitrógeno total, carbono orgánico y materia orgánica, integrados en un Índice de Calidad del Suelo (ICS) mediante media ponderada de puntuaciones normalizadas, y se obtuvieron espectros de reflectancia (350–2500 nm) con el espectrorradiómetro FieldSpec 4, analizados con remoción del continuo. Todos los suelos son fuertemente ácidos (pH 4,0–5,3) y distróficos (V = 15,9–41,2%), con saturación de aluminio entre 8,0% y 54,1%. El punto P07, sin uso desde hace diez años, presentó la mejor condición química (ICS = 0,897), seguido de P05 (0,563); P02, bajo maíz, y P06, en barbecho, presentaron las condiciones más restrictivas debido a la elevada acidez y a la mayor saturación de aluminio, y P04, área preservada de la Asociación, obtuvo el menor ICS (0,129) por los bajos contenidos de bases y de materia orgánica. Los análisis espectrales revelaron una composición mineralógica similar entre los puntos, con rasgos asociados a la goethita, al agua molecular y a los minerales de arcilla, especialmente a la caolinita; las principales diferencias ocurrieron en la intensidad de la reflectancia, mayor en P01 y P05 y menor en P07. Los historiales de uso y manejo alteraron principalmente la intensidad de las respuestas espectrales, y no la mineralogía predominante, aunque la relación entre reflectancia y materia orgánica no fue consistente en todos los puntos. Por ser relativo al conjunto muestreado y no incluir repeticiones ni indicadores físicos y biológicos, el ICS constituye un diagnóstico exploratorio; aun así, los resultados señalan la corrección de la acidez y el aporte de materia orgánica como prioridades de manejo para las áreas cultivadas de la comunidad.

Palabras clave: Territorio Quilombola. Calidad del Suelo. Índice de Calidad del Suelo. Espectrorradiometría. Uso de la Tierra.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade do solo é 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; Karlen et al., 1997). Essa condição resulta da integração entre atributos físicos, químicos e biológicos, os quais variam conforme o tipo de solo, o ambiente e as formas de uso e manejo. O conceito de saúde do solo ampliou essa perspectiva ao enfatizar o solo como sistema vivo, cujas funções sustentam a produção de alimentos, a regulação climática e hídrica e a biodiversidade (Lehmann et al., 2020), embora a maioria das avaliações empíricas continue apoiada em indicadores químicos de fertilidade, com poucos indicadores biológicos e limiares de interpretação raramente explicitados (Bünemann et al., 2018). Nesse contexto, a matéria orgânica exerce papel central, pois influencia a estrutura do solo, a retenção de água, a disponibilidade de nutrientes e a atividade dos organismos edáficos, sendo, nos solos tropicais intemperizados, o principal reservatório de nutrientes e de cargas negativas disponível às plantas (Tiessen; Cuevas; Chacon, 1994; Six et al., 2002).

Dessa forma, torna-se necessário recorrer a análises de atributos edáficos do solo que correspondem ao conjunto de propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Miranda et al., 2026) capazes de evidenciar as condições em que o solo se encontra. A avaliação desses atributos possibilita compreender de que forma diferentes usos e manejos interferem na qualidade e no funcionamento do solo (FAO, 2017; Bünemann et al., 2018). As diferentes formas de utilização do solo, como a agricultura, a pecuária, o extrativismo e a ocupação urbana, podem provocar alterações em suas características químicas, físicas e biológicas, interferindo em sua capacidade de fornecer bens e serviços ecossistêmicos, enquanto práticas inadequadas, como o desmatamento, as queimadas, o uso excessivo de insumos químicos, o sobrepastejo e o manejo intensivo, tendem a favorecer processos de degradação (Lal, 2015). No Nordeste do Brasil, a conversão da vegetação nativa em cultivos e pastagens tem sido associada a perdas de carbono orgânico, de nutrientes e de atividade microbiana, com intensidade dependente do tipo de uso, da classe de solo e do tempo de manejo (Sousa et al., 2012; Ferreira et al., 2016; Maia; Medeiros; Xavier, 2025; Medeiros et al., 2026). Por esse motivo, a comparação entre áreas submetidas a diferentes usos e históricos de manejo permite identificar variações importantes nas condições do solo e nos efeitos decorrentes dessas práticas.

Nesse sentido, o manejo do solo constitui elemento essencial para a interpretação de suas condições, sobretudo em territórios nos quais as práticas agrícolas estão associadas aos conhecimentos e modos de vida das comunidades. As comunidades quilombolas assumem relevância na conservação dos ecossistemas terrestres e das águas, uma vez que seus conhecimentos tradicionais são construídos

e transmitidos entre gerações, envolvendo práticas de manejo que respeitam a dinâmica da natureza. Além disso, as comunidades quilombolas constituem espaços de resistência cultural e territorial, nos quais os saberes tradicionais desempenham papel importante na construção de estratégias de preservação da natureza (Dealdina, 2020; Toledo; Barrera-Bassols, 2015). A agricultura tradicional quilombola mantém elevada diversidade de cultivos e práticas adaptadas às condições locais (Gonçalves et al., 2022), e os territórios quilombolas abrigam remanescentes de vegetação nativa relevantes para a conservação, embora a regularização fundiária, por si só, não garanta a manutenção da cobertura florestal (Benzeev et al., 2025). Assim, compreender as condições do solo nesses territórios exige considerar, além de seus atributos ambientais, as práticas e os significados atribuídos ao uso da terra ao longo do tempo.

Entre os métodos empregados para essa caracterização, destacam-se as análises químicas, físicas e biológicas do solo. A determinação de parâmetros como cálcio, magnésio, fósforo, potássio, carbono orgânico, matéria orgânica, nitrogênio, pH e capacidade de troca catiônica permite identificar diferenças relacionadas à fertilidade e às condições químicas dos solos. Entretanto, essa caracterização pode ser ampliada pela utilização de técnicas espectrais, capazes de fornecer informações complementares sobre os materiais presentes no solo. A espectrorradiometria de reflectância permite analisar a resposta espectral dos materiais em diferentes comprimentos de onda, possibilitando a identificação de características relacionadas à composição mineralógica e a determinados atributos pedológicos, e sua aplicação na Ciência do Solo consolidou-se na identificação de minerais e na estimativa de atributos como granulometria, carbono orgânico, cálcio e magnésio a partir de bibliotecas espectrais e modelos de calibração (Ben-Dor; Banin, 1995; Viscarra Rossel et al., 2006; Stenberg et al., 2010; Demattê et al., 2019; Meneses; Almeida; Baptista, 2019).

Apesar desse avanço, são raros os estudos que apliquem conjuntamente indicadores de qualidade do solo e espectrorradiometria em territórios quilombolas, os quais reúnem, em pequenas distâncias, cultivos tradicionais, áreas em pousio e remanescentes de vegetação nativa — configuração adequada para examinar como o histórico de uso se expressa nos atributos do solo. A Comunidade Quilombola de Gitirana, no município de Bonito, na Chapada Diamantina baiana, ilustra essa situação: a agricultura familiar permanece como atividade central e convive com áreas descobertas, pousios e áreas preservadas, em propriedade coletiva vinculada à Associação Comunitária e em propriedade individual de produtor rural.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade do solo em duas áreas da Comunidade Quilombola de Gitirana, no município de Bonito, Bahia, por meio da análise de atributos edáficos químicos, da matéria orgânica e da espectrorradiometria de reflectância, verificando

de que maneira os diferentes usos e manejos se refletem na qualidade do solo e em sua resposta espectral. De forma específica, buscou-se:

1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) caracterizar as mudanças de uso e cobertura da terra no município de Bonito entre 1985 e 2024 e situar as áreas de estudo nesse contexto;
b) determinar e comparar os atributos químicos e de matéria orgânica do solo em sete pontos com diferentes usos e históricos de manejo;
c) integrar esses atributos em um índice relativo de qualidade do solo (IQS) e ordenar os pontos quanto à sua condição química;
d) identificar, por espectrorradiometria de reflectância com remoção do contínuo, as feições de absorção e os constituintes mineralógicos predominantes, comparando a intensidade da resposta espectral entre os pontos;
e) relacionar os atributos químicos, o IQS e a resposta espectral aos usos e históricos de manejo, discutindo os mecanismos envolvidos e as implicações para o manejo do solo na comunidade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 QUALIDADE DO SOLO, INDICADORES E ÍNDICES

O conceito de qualidade do solo consolidou-se na década de 1990 como a capacidade de um solo específico funcionar, dentro dos limites de um ecossistema, para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde de plantas e animais (Doran; Parkin, 1994; Karlen et al., 1997). Sua avaliação exige a seleção de um conjunto mínimo de indicadores sensíveis ao manejo, a transformação dos valores medidos em escores comparáveis e a integração desses escores em um índice. Andrews, Karlen e Mitchell (2002) compararam métodos de seleção de indicadores (opinião de especialistas e análise de componentes principais) e de pontuação (linear e não linear), mostrando que índices construídos por diferentes procedimentos tendem a ordenar os sistemas de manejo de forma semelhante, embora os valores absolutos variem. Esse arcabouço deu origem ao Soil Management Assessment Framework (SMAF), que utiliza curvas de pontuação não lineares ajustadas ao tipo de solo, ao clima e à cultura (Andrews; Karlen; Cambardella, 2004), aplicado no Brasil, por exemplo, à expansão da cana-de-açúcar (Cherubin et al., 2016).

Revisões recentes apontam que a maior parte dos esquemas de avaliação permanece centrada em indicadores químicos de fertilidade e em carbono orgânico, com pouca representação de atributos físicos e biológicos e sem limiares de interpretação explícitos, o que limita a comparação entre estudos

e a tradução dos índices em recomendações de manejo (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020). Em regiões tropicais, a degradação da qualidade do solo pela conversão de vegetação nativa e pelo manejo inadequado é um dos principais vetores de perda de serviços ecossistêmicos, e sua restauração depende do manejo da matéria orgânica, da cobertura permanente e da correção das limitações químicas (Lal, 2015). No Nordeste do Brasil, índices de qualidade do solo foram usados para comparar sistemas orgânicos e convencionais no semiárido cearense (Lima et al., 2007), diferentes usos no Agreste paraibano (Silva et al., 2015), coberturas vegetais e sistemas de manejo (Costa et al., 2019) e a conversão de cinco solos do semiárido para a agricultura convencional, na qual as frações lábeis do carbono foram os indicadores mais sensíveis (Maia; Medeiros; Xavier, 2025).

2.2 ACIDEZ, ALUMÍNIO, BASES E MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS TROPICAIS SOB DIFERENTES USOS

Os solos de regiões tropicais úmidas e subúmidas são, em grande parte, altamente intemperizados, com predomínio de caulinita e óxidos de ferro e alumínio na fração argila, baixa capacidade de troca catiônica (CTC), reação ácida e presença de alumínio trocável (Al^{3+}), cuja toxicidade inibe o alongamento radicular e, por consequência, a absorção de água e nutrientes (Kochian et al., 2015). A saturação por alumínio (m) e a saturação por bases (V) são os atributos mais usados para expressar essa limitação, e sua avaliação nos solos brasileiros depende do método de extração e da relação entre acidez ativa, acidez trocável e bases (Abreu Jr.; Muraoka; Lavorante, 2003a, 2003b). A calagem corrige a acidez, precipita o Al^{3+} e fornece cálcio e magnésio, sendo a prática de maior impacto sobre a produtividade em solos ácidos tropicais (Fageria; Baligar, 2008; Agegnehu et al., 2021). A acidez também controla a disponibilidade de fósforo, que, em pH baixo, é adsorvido com elevada energia por óxidos de ferro e alumínio, de modo que a disponibilidade do nutriente é maximizada em faixa intermediária de pH (Penn; Camberato, 2019).

A matéria orgânica do solo (MOS) sustenta a fertilidade desses solos ao fornecer cargas negativas, reter nutrientes, melhorar a agregação e a retenção de água e alimentar a atividade biológica; sua redução após o desmatamento e o cultivo contínuo compromete rapidamente a produtividade em solos de baixa fertilidade natural (Tiessen; Cuevas; Chacon, 1994). A proteção da MOS contra a decomposição depende da oclusão em agregados e da formação de complexos organominerais com a fração argila, o que explica a relação positiva entre teor de argila e estoque de carbono nos trópicos (Feller; Beare, 1997; Six et al., 2002; Silva; Mendonça, 2007). A razão C/N expressa o grau de humificação e o potencial de mineralização do nitrogênio: solos minerais apresentam, em escala global, razões C/N tipicamente entre 10 e 14; valores mais baixos indicam material rico em nitrogênio

e prontamente mineralizável, e valores elevados, resíduos pouco decompostos e imobilização de nitrogênio (Stevenson, 1994; Batjes, 1996; Cleveland; Liptzin, 2007).

O uso da terra modula todos esses atributos. Em solos do Nordeste brasileiro, a conversão da vegetação nativa para cultivos anuais reduz o carbono orgânico, a CTC e a biomassa microbiana, ao passo que sistemas agroflorestais e pousios prolongados tendem a recuperar parcialmente o carbono e a ciclagem de nutrientes (Maia et al., 2007; Sousa et al., 2012; Ferreira et al., 2016; Alencar et al., 2024; Medeiros et al., 2026). O pousio recupera a fertilidade sobretudo pelo acúmulo de biomassa e pela reciclagem de bases pela vegetação em regeneração, mas sua eficiência depende do tempo de repouso, da reserva de nutrientes do sistema e do grau de degradação prévia, e a acidez e o alumínio não são corrigidos apenas pelo abandono do cultivo (Szott; Palm; Buresh, 1999). Culturas como a mandioca toleram solos ácidos e de baixa fertilidade, mas exportam quantidades consideráveis de potássio e podem reduzir a fertilidade ao longo de cultivos sucessivos sem reposição (Howeler, 1991), enquanto o milho é sensível ao alumínio e à deficiência de bases (Kochian et al., 2015).

2.3 ESPECTRORRADIOMETRIA DE REFLECTÂNCIA APLICADA AOS SOLOS

A reflectância dos solos entre 350 e 2500 nm resulta da combinação de processos eletrônicos e vibracionais dos seus constituintes. Os óxidos e hidróxidos de ferro produzem absorções por transições eletrônicas do Fe^{3+} no visível e infravermelho próximo, com feições diagnósticas da goethita próximas a 480, 650 e 920 nm e da hematita próximas a 530 e 860 nm (Hunt; Salisbury, 1970; Scheinost et al., 1998). As feições próximas a 1400 e 1900 nm correspondem a sobretons e combinações das vibrações da hidroxila e da molécula de água, e a feição próxima a 2200 nm à combinação Al–OH característica de minerais de argila, como a caulinita, que apresenta um dupleto em 2165 e 2205 nm; vibrações Mg–OH e de carbonatos ocorrem na faixa de 2300–2350 nm (Clark et al., 1990; Clark, 1999). A matéria orgânica não produz feições estreitas nessa faixa, mas reduz a reflectância em todo o espectro, sobretudo no visível, escurecendo o solo (Ben-Dor; Banin, 1995; Bartholomeus et al., 2008; Stenberg et al., 2010). A intensidade geral da curva (albedo) também depende da granulometria, da rugosidade, da umidade e da geometria de aquisição, de modo que diferenças de intensidade entre amostras não implicam, necessariamente, diferenças de composição mineralógica (Clark, 1999; Stenberg et al., 2010).

A técnica do contínuo removido normaliza a curva em relação a uma envoltória convexa, isolando a posição, a profundidade e a forma das feições de absorção e permitindo compará-las entre amostras de albedo distinto (Clark; Roush, 1984). Com bibliotecas espectrais de referência, como a do United States Geological Survey (Kokaly et al., 2017) e a ECOSTRESS/ASTER (Meerdink et al.,

2019), é possível identificar os minerais responsáveis pelas feições observadas. Modelos de calibração multivariada permitem ainda estimar carbono orgânico, argila, CTC e outros atributos a partir dos espectros, com desempenho dependente da representatividade das amostras de calibração, que podem ser locais e relativamente pequenas quando a variabilidade do solo é restrita (Viscarra Rossel et al., 2006; Wetterlind; Stenberg, 2010; Pinheiro et al., 2017). A Biblioteca Espectral de Solos do Brasil consolidou dezenas de milhares de espectros e demonstrou a capacidade da técnica de discriminar classes e atributos de solos tropicais (Demattê et al., 2019). No contexto regional, Silva (2020) modelou o carbono orgânico de solos de Morro do Chapéu-BA, na Chapada Diamantina, observando que a matéria orgânica rebaixa a intensidade da reflectância e pode mascarar parcialmente as feições dos óxidos de ferro.

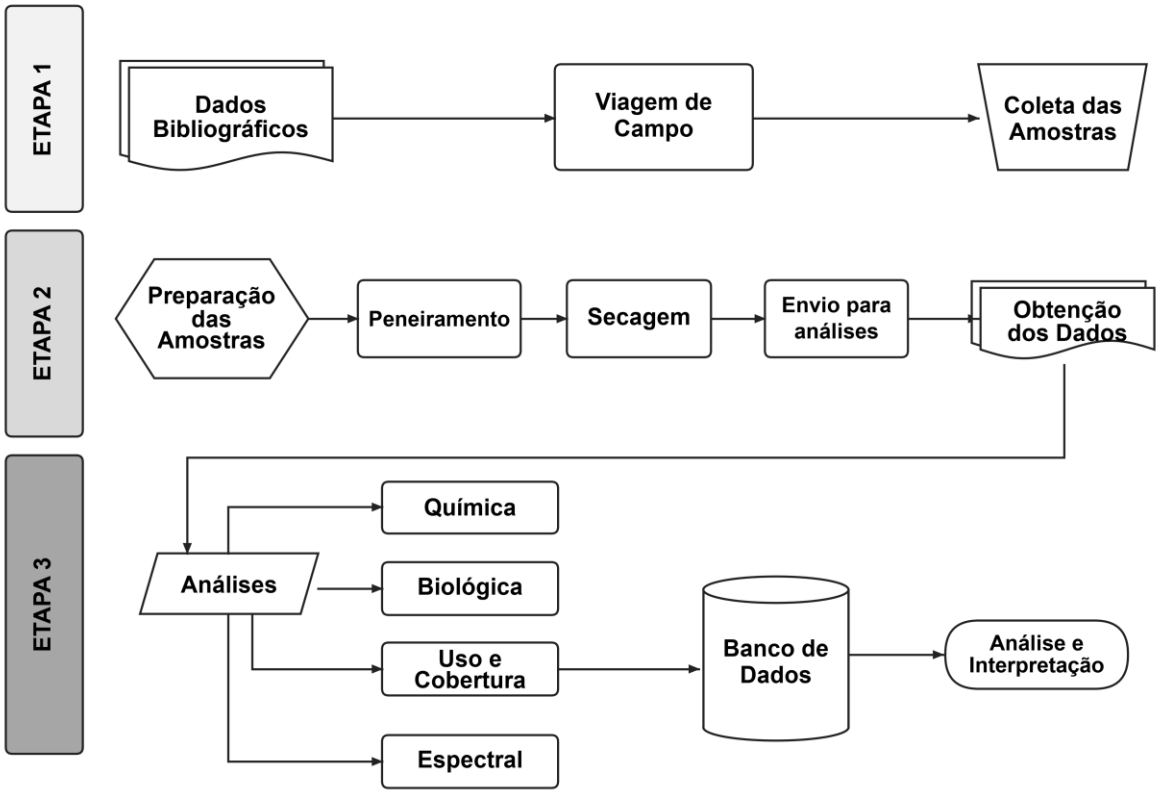
2.4 TERRITÓRIOS QUILOMBOLAS, AGRICULTURA TRADICIONAL E CONSERVAÇÃO DO SOLO

As comunidades quilombolas são grupos étnico-raciais com trajetória histórica própria e relações territoriais específicas, certificadas pela Fundação Cultural Palmares, cujos sistemas agrícolas combinam roças diversificadas, pousios, extrativismo e criação de pequenos animais, sustentados por conhecimentos transmitidos entre gerações e por formas coletivas de organização do trabalho e da terra (Toledo; Barrera-Bassols, 2015; Dealdina, 2020; Gonçalves et al., 2022). A agroecologia reconhece nesses sistemas princípios de manejo — diversificação, cobertura do solo, reciclagem de resíduos e uso de recursos locais — que a pesquisa científica pode fortalecer por meio do diálogo entre o conhecimento tradicional e o técnico (Altieri, 2004). Em escala nacional, os territórios quilombolas abrigam remanescentes de vegetação nativa relevantes para a conservação, mas sofrem pressões de desmatamento e insegurança fundiária (Benzeev et al., 2025). Diagnósticos da qualidade do solo nesses territórios podem, portanto, subsidiar tanto o planejamento do uso da terra pela comunidade quanto políticas de assistência técnica adequadas às suas práticas.

3 METODOLOGIA

As etapas de elaboração dessa pesquisa estão apresentadas na Figura 1. A pesquisa foi dividida nas seguintes etapas: (i) trabalho de campo, (ii) seleção das amostras, (iii) peneiramento, secagem e análises, (iv) análises edáficas, de uso e cobertura e espectrorradiométricas. A análise "biológica" indicada no fluxograma corresponde, neste estudo, à determinação do nitrogênio total, uma vez que não foram medidos indicadores biológicos propriamente ditos.

Figura 1 – Fluxograma metodológico da pesquisa, em três etapas: (1) levantamento bibliográfico, viagem de campo e coleta das amostras; (2) preparação, peneiramento, secagem e envio das amostras para análise; (3) análises química, de nitrogênio total ("biológica"), de uso e cobertura da terra e espectral, organização do banco de dados e interpretação.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

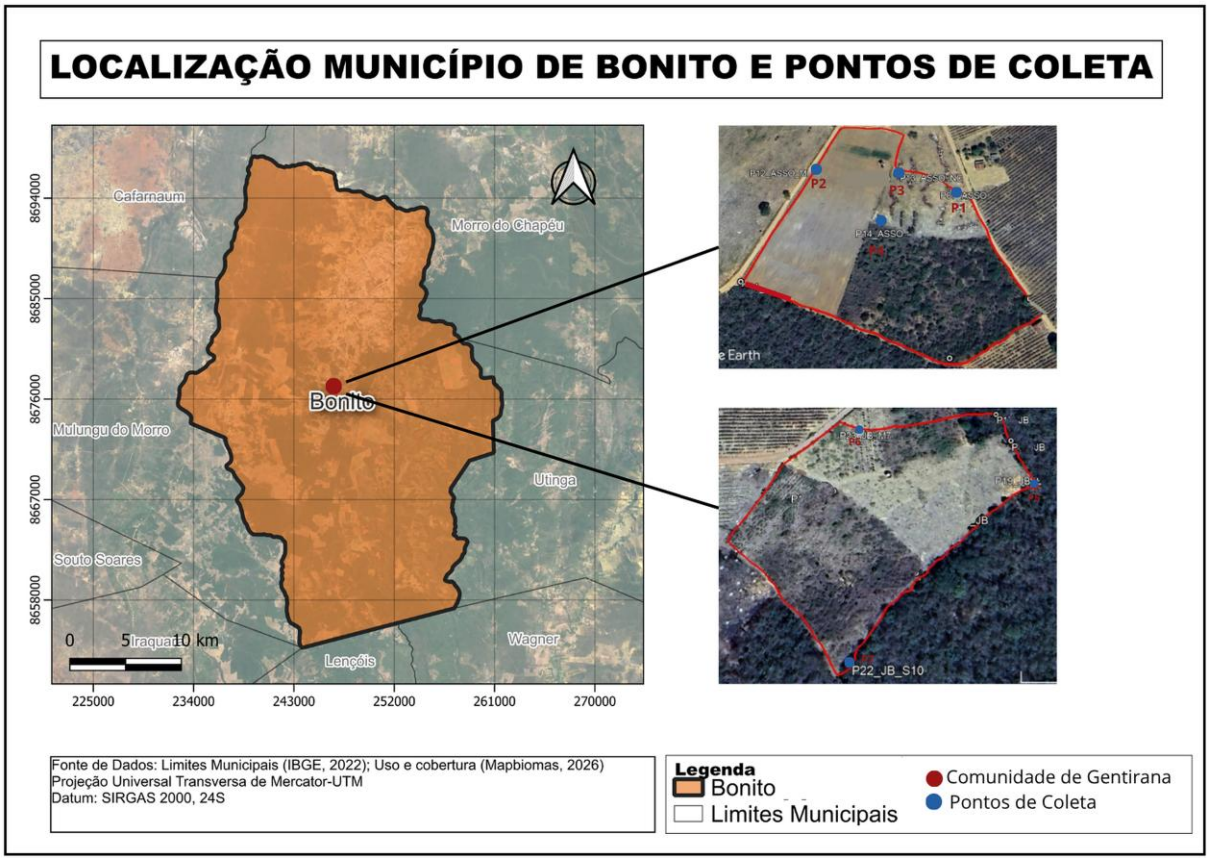
3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está na Comunidade Quilombola de Gitirana, localizada no município de Bonito, estado da Bahia, na região da Chapada Diamantina (Figura 2). A comunidade encontra-se aproximadamente a 7 km da sede municipal, com acesso à cidade por uma estrada principal. Segundo informações disponibilizadas pela Rede Griô Quilombola, Gitirana é reconhecida pela Fundação Cultural Palmares desde 18 de novembro de 2011 e possui aproximadamente 150 famílias, sendo acompanhada pela Associação Comunitária de Gitirana.

A formação da comunidade está relacionada à chegada e permanência de diferentes famílias, com seu crescimento associado às relações de parentesco e à constituição de núcleos familiares. Historicamente, a agricultura esteve entre as principais atividades desenvolvidas no território, destacando-se cultivos como café, mandioca e cana-de-açúcar, além da existência de estruturas destinadas ao beneficiamento agrícola. Atualmente, a agricultura familiar permanece relevante para a comunidade, sendo apontadas demandas relacionadas à produção agrícola, irrigação e melhoria das estruturas de beneficiamento. Segundo o mapeamento pedológico do IBGE, predominam na região Argissolos desenvolvidos sob intenso intemperismo químico (IBGE, 2025); não foram realizadas

descrições de perfil nos pontos amostrados, e dados climáticos e geológicos locais não foram levantados neste estudo.

Figura 2 – Localização do município de Bonito, Bahia, da Comunidade Quilombola de Gitirana e dos pontos de coleta: (esquerda) limite municipal sobre imagem de satélite, projeção UTM, fuso 24S, datum SIRGAS 2000; (direita) imagens de alta resolução das duas propriedades amostradas, com os pontos P01 a P04 (propriedade da Associação Comunitária, acima) e P05 a P07 (propriedade do produtor rural, abaixo).



Fonte: Elaborada pelos autores (2026), com base em IBGE (2022) e MapBiomas (2025).

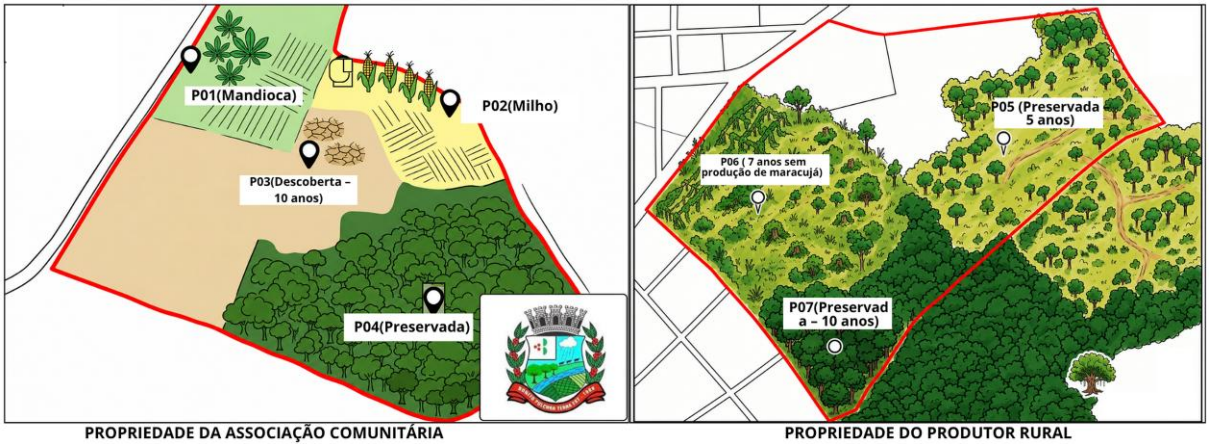
3.2 DELINEAMENTO AMOSTRAL E TRABALHO DE CAMPO

A seleção dos pontos amostrais foi realizada de forma intencional, com base na existência de diferentes usos, coberturas vegetais e históricos de manejo do solo. Foram definidos sete pontos de coleta, distribuídos em duas propriedades com características distintas: quatro pontos na área vinculada à Associação Comunitária de Gitirana e três pontos na propriedade de um produtor rural. Na primeira área, foram contemplados cultivo de mandioca, cultivo de milho, área descoberta há dez anos e área preservada. Na segunda, foram avaliadas áreas preservadas há cinco e dez anos e uma área em pousio há sete anos após o cultivo de maracujá. Esse procedimento possibilitou comparar as condições do solo sob diferentes formas de uso e períodos de recuperação ou preservação.

Na propriedade vinculada à associação comunitária (Figura 3), foram estabelecidos quatro pontos de amostragem: P01 (Mandioca), correspondente à área destinada ao cultivo de mandioca; P02

(Milho), localizada em área de cultivo de milho; P03 (Descoberta – 10 anos), caracterizada por uma área descoberta, com aproximadamente dez anos de histórico; e P04 (Preservada), correspondente a uma área considerada preservada, com vegetação nativa. Na propriedade pertencente ao produtor rural (Figura 3), foram definidos três pontos: P05 (Preservada – 5 anos), P06 (7 anos sem produção de maracujá) e P07 (Preservada – 10 anos). Os termos "preservada – 5 anos" e "preservada – 10 anos" designam áreas sem uso agrícola e com vegetação em regeneração pelos períodos indicados, conforme relato dos responsáveis pelas propriedades.

Figura 3 – Croqui das propriedades amostradas e localização dos pontos de coleta: (esquerda) propriedade da Associação Comunitária, com P01 (mandioca), P02 (milho), P03 (descoberta há 10 anos) e P04 (preservada); (direita) propriedade do produtor rural, com P05 (preservada há 5 anos), P06 (7 anos sem produção de maracujá) e P07 (preservada há 10 anos).



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Em cada ponto foi coletada uma amostra de solo em duplicata, sendo uma parte destinada às análises espectrais e a outra à análise química. A profundidade de coleta, o número de subamostras por ponto e a data da coleta não foram registrados nos documentos disponíveis. Como cada ponto corresponde a uma única amostra, sem repetições, as comparações entre pontos são descritivas e não foram submetidas a testes estatísticos.

3.3 PREPARO DAS AMOSTRAS E ANÁLISES LABORATORIAIS

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 espectrais no LABESPECTRO e a outra foi encaminhada ao Labominas para análise Química. Foram determinados o pH, a acidez potencial (H+Al), o alumínio trocável (Al^{3+}), o cálcio (Ca^{2+}), o magnésio (Mg^{2+}), o fósforo (P), o potássio (K), o enxofre (S), o ferro (Fe), o nitrogênio total (N), o carbono orgânico (CO) e a matéria orgânica (MO), e calculados a soma de bases (SB), a CTC potencial (CTC a pH 7,0), a CTC efetiva (t), a saturação por

bases (V), a saturação por alumínio (m) e a relação C/N. Os métodos analíticos e os extratores empregados pelo laboratório não foram informados no laudo, limitação discutida na seção 4.6. Análises granulométricas, físicas e biológicas não foram realizadas.

3.4 ESPECTRORRADIOMETRIA DE REFLECTÂNCIA

Neste estudo, as análises foram obtidas com o espectrorradiômetro FieldSpec® 4 Hi-Res, de faixa espectral de 350 a 2500 nm e resolução espectral de 8 nm, produzido pela ASD (Analytical Spectral Devices, Inc.). Após as leituras foram feitos os tratamentos e correções dos dados via *ViewSpec Pro* dos espectros gerados. A geometria de aquisição (fonte de iluminação, ângulo de visada, referência branca e número de leituras por amostra) não foi registrada. 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 os espectros de reflectância em relação a uma envoltória convexa, o que torna possível comparar feições de absorção individuais a partir de um valor de base comum (Clark; Roush, 1984). Para a interpretação e validação das feições foram utilizadas como referência as bibliotecas espectrais do USGS (Kokaly et al., 2017) e ASTER/ECOSTRESS (Meerdink et al., 2019). As feições foram comparadas entre os pontos quanto à posição, à forma e à profundidade relativa, e as curvas originais, quanto à intensidade da reflectância.

3.5 ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO

O cálculo do Índice de Qualidade do Solo (IQS) foi baseado na metodologia proposta por Andrews, Karlen e Mitchell (2002), que recomenda a seleção de um conjunto mínimo de indicadores, sua transformação em escores adimensionais e sua posterior integração em um índice final. Devido à ausência de indicadores biológicos, como respiração basal, carbono da biomassa microbiana e atividade enzimática, o índice foi construído a partir de atributos químicos e de matéria orgânica. Assim, o IQS deve ser interpretado como um índice relativo de qualidade do solo baseado em características químicas, e não como uma avaliação completa da saúde do solo (Bünemann et al., 2018; Lehmann et al., 2020).

Foram selecionados os indicadores pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), saturação por bases (V), alumínio trocável (Al), saturação por alumínio (m), fósforo (P), potássio (K), capacidade de troca catiônica (CTC), carbono orgânico (CO), matéria orgânica (MO) e relação C/N. Esses atributos foram escolhidos por representarem aspectos relacionados à acidez, disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca catiônica e matéria orgânica do solo (Karlen et al., 1997; Andrews;

Karlen; Mitchell, 2002). Os valores de cada indicador foram normalizados em escala de 0 a 1, conforme sua direção de melhoria. Para Ca, Mg, SB, V, P, K, CTC, CO e MO, adotou-se a função "mais é melhor", na qual o menor valor observado recebeu escore 0 e o maior valor recebeu escore 1. Para Al e m, adotou-se a função "menos é melhor", atribuindo escore 1 ao menor valor e 0 ao maior valor. Para o pH, utilizou-se 6,0 como valor de referência, atribuindo escores maiores aos pontos com pH mais próximo desse valor. Para a relação C/N, adotou-se 12 como valor de referência, uma vez que todos os pontos apresentaram valores inferiores a esse limite (Andrews; Karlen; Mitchell, 2002; Karlen et al., 1997). Os indicadores, a direção de pontuação e os pesos adotados estão na Tabela 1.

Tabela 1 – Indicadores utilizados no cálculo do Índice de Qualidade do Solo (IQS), direção de pontuação e pesos atribuídos.

Grupo	Indicador	Direção da pontuação	Peso
Acidez e alumínio	pH	Ótimo próximo a 6,0	0,10
	Al^{3+}	Menos é melhor	0,10
	Saturação por alumínio (m)	Menos é melhor	0,10
Fertilidade e bases	Cálcio (Ca)	Mais é melhor	0,058
	Magnésio (Mg)	Mais é melhor	0,058
	Soma de bases (SB)	Mais é melhor	0,058
	Saturação por bases (V)	Mais é melhor	0,058
	Fósforo (P)	Mais é melhor	0,058
	Potássio (K)	Mais é melhor	0,058
Capacidade de troca	CTC	Mais é melhor	0,10
Matéria orgânica	Carbono orgânico (CO)	Mais é melhor	0,083
	Matéria orgânica (MO)	Mais é melhor	0,083
	Relação C/N	Mais próximo de 12	0,083
Total			1,00

Fonte: Elaborada pelos autores (2026), com base em Andrews, Karlen e Mitchell (2002). Nota: pesos arredondados; a soma por grupo é 0,30 (acidez e alumínio), 0,35 (fertilidade e bases), 0,10 (CTC) e 0,25 (matéria orgânica).

Em seguida, os escores foram integrados por média ponderada, conforme a Equação 1:

$$IQS = \Sigma W_i S_i \quad (1)$$

em que S_i corresponde ao escore normalizado (adimensional, de 0 a 1) do indicador *i*, W_i ao peso atribuído ao indicador e o somatório é calculado de $i = 1$ até n, o número total de indicadores ($n = 13$). A soma dos pesos foi igual a 1. Foram atribuídos pesos maiores aos indicadores relacionados à acidez e ao alumínio (0,30), fertilidade e bases (0,35), capacidade de troca catiônica (0,10) e matéria orgânica (0,25). O IQS variou de 0 a 1, sendo valores mais próximos de 1 indicativos de melhor condição relativa do solo. Como os escores foram normalizados pelos valores mínimo e máximo observados no próprio conjunto de sete pontos, o IQS expressa a posição relativa de cada ponto em relação aos demais, e não a distância em relação a valores críticos de referência.

3.6 USO E COBERTURA DA TERRA

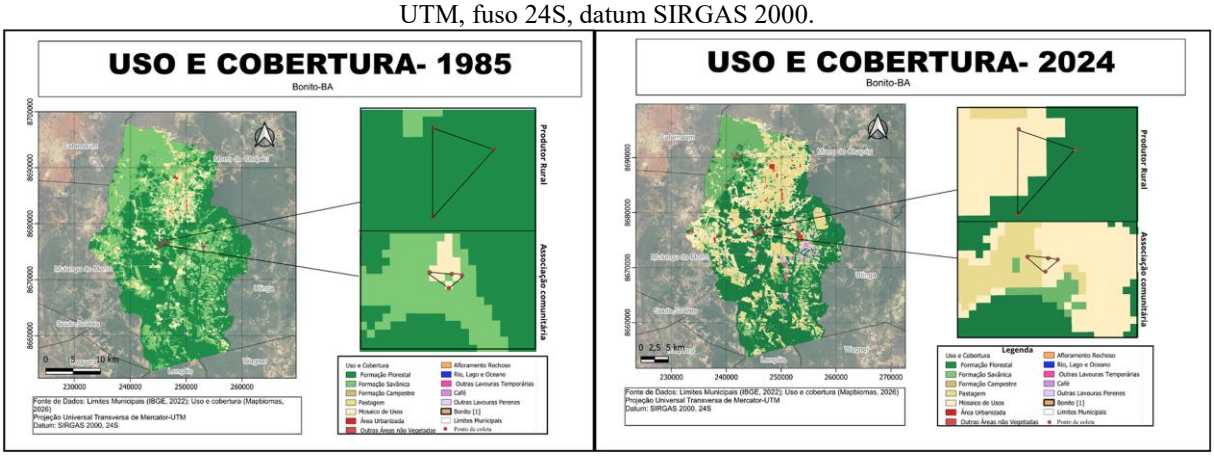
Para a análise do uso e cobertura da terra no município de Bonito-BA, utilizou-se a plataforma MapBiomas, que disponibiliza dados anuais de mapeamento do território brasileiro com base em imagens de satélite e classificação supervisionada. Foram selecionados os anos de 1985 e 2024, para comparação temporal das transformações na paisagem. O MapBiomas é uma rede multi-institucional que monitora as transformações na cobertura e no uso da terra segundo os princípios da ciência aberta, com processamento automatizado no Google Earth Engine e mapas anuais desde 1985 com resolução espacial de 30 metros a partir do acervo Landsat (Souza et al., 2020; MapBiomas, 2025). Os mapas foram elaborados em ambiente SIG, com os limites municipais do IBGE (2022), e a comparação entre os anos foi qualitativa, por inspeção visual das classes nas áreas de estudo e no município; a coleção do MapBiomas utilizada não foi registrada, e as áreas por classe não foram quantificadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 USO E COBERTURA DA TERRA NO MUNICÍPIO DE BONITO (1985–2024)

A análise das classes de uso e cobertura da terra no município de Bonito-BA evidenciou mudanças na paisagem entre 1985 e 2024 (Figura 4). Em 1985 (Figura 4a), predominava a formação florestal, distribuída de maneira contínua pela maior parte da área municipal, enquanto as áreas destinadas à formação savânica, pastagem, mosaico de usos e áreas agrícolas apresentavam menor expressão espacial. Em 2024 (Figura 4b), observa-se redução e fragmentação das áreas de formação florestal, acompanhadas pela expansão das áreas de formação savânica, pastagem e mosaico de usos. Também foi identificado aumento das áreas agrícolas e das áreas urbanizadas, embora estas permanecessem espacialmente menos representativas em relação às classes de cobertura vegetal.

Figura 4 – Uso e cobertura da terra no município de Bonito, Bahia, segundo o MapBiomas, em (a) 1985 e (b) 2024, com detalhes das propriedades do produtor rural (acima) e da Associação Comunitária (abaixo) e os pontos de coleta. Projeção UTM, fuso 24S, datum SIRGAS 2000.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026), com base em MapBiomas (2025) e IBGE (2022).

Nos detalhes das propriedades (Figura 4), a área da Associação Comunitária, classificada predominantemente como formação florestal e savânica em 1985, aparece em 2024 ocupada sobretudo por mosaico de usos e pastagem, com remanescente florestal restrito à porção onde se localiza o ponto P04, enquanto a propriedade do produtor rural mantém predomínio de formação florestal e savânica no entorno dos pontos P05, P06 e P07. Esse contraste é coerente com os históricos de uso relatados em campo e fornece o contexto para a interpretação dos atributos do solo: os pontos da Associação situam-se em paisagem mais convertida e fragmentada, e os do produtor rural, em paisagem com maior continuidade de cobertura vegetal. A resolução de 30 m não permite distinguir as parcelas internas de cada propriedade, e a trajetória municipal — perda e fragmentação da formação florestal e expansão de pastagem e mosaicos de uso — reproduz o padrão regional de conversão da vegetação nativa descrito para os biomas brasileiros (Souza et al., 2020) e as pressões observadas sobre territórios quilombolas em escala nacional (Benzeev et al., 2025).

4.2 ATRIBUTOS QUÍMICOS E MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A análise dos atributos químicos do solo possibilitou caracterizar e comparar as condições edáficas dos diferentes pontos avaliados, permitindo identificar variações relacionadas às formas de uso e aos históricos de manejo das áreas estudadas. Foram determinados os teores de nutrientes, alumínio, matéria e carbono orgânicos, além de atributos relacionados ao complexo de troca, como soma de bases, capacidade de troca catiônica, saturação por bases e por alumínio e a relação entre o carbono e o nitrogênio (Tabelas 2 e 3). Esses indicadores são importantes para avaliar a disponibilidade de nutrientes e as possíveis limitações químicas ao desenvolvimento das plantas (Fageria; Baligar, 2008).

Tabela 2 – Acidez e complexo sortivo do solo nos sete pontos amostrados na Comunidade Quilombola de Gitirana, Bonito-BA.

Ponto	Uso / histórico	pH	Al^{3+}	H+Al	Ca^{2+}	Mg^{2+}	SB	CTC	t	V (%)	m (%)
P01	Mandioca (Assoc.)	4,3	1,3	6,4	1,1	0,8	2,0	8,4	3,3	23,9	39,3
P02	Milho (Assoc.)	4,0	1,7	7,6	0,8	0,5	1,4	9,0	3,1	15,9	54,1
P03	Descoberta – 10 anos (Assoc.)	4,0	1,6	7,2	1,0	0,7	1,9	9,1	3,5	20,6	46,1
P04	Preservada (Assoc.)	4,3	1,4	7,2	0,7	0,6	1,4	8,6	2,8	16,4	49,8
P05	Preservada – 5 anos (JB)	4,5	1,1	7,0	2,5	0,5	3,1	10,1	4,2	31,0	25,9
P06	Pousio – 7 anos após maracujá (JB)	4,4	2,1	8,2	1,4	0,3	1,9	10,1	4,0	18,4	53,2
P07	Preservada – 10 anos (JB)	5,3	0,4	6,6	3,2	1,2	4,6	11,2	5,0	41,2	8,0

Fonte: Dados da pesquisa (2026). Al^{3+}, H+Al, Ca^{2+}, Mg^{2+}, SB, CTC e t em $cmol_c\ dm^{-3}$. Assoc. = propriedade da Associação Comunitária; JB = propriedade do produtor rural; SB = soma de bases; CTC = capacidade de troca catiônica a pH 7,0; t = CTC efetiva; V = saturação por bases; m = saturação por alumínio. Métodos analíticos não informados pelo laboratório.

Tabela 3 – Nutrientes, nitrogênio total, carbono orgânico, matéria orgânica e relação C/N do solo nos sete pontos amostrados.

Ponto	P	K	S	Fe	N total	CO	MO	C/N
P01	4,6	42	29,4	106,8	2.380	1,9	3,2	7,8
P02	2,9	56	31,6	106,6	3.010	2,0	3,5	6,7
P03	4,3	68	29,6	100,3	2.940	2,2	3,7	7,3
P04	2,9	42	25,9	128,4	3.500	1,8	3,1	5,1
P05	7,2	55	33,4	81,1	3.850	2,3	3,9	5,9
P06	3,4	54	34,5	108,9	3.430	2,3	4,0	6,8
P07	7,2	84	24,9	83,4	3.710	2,4	4,1	6,4

Fonte: Dados da pesquisa (2026). P, K, S, Fe e N total em mg dm^{-3}; CO e MO em dag dm^{-3}, conforme o laudo laboratorial. Métodos analíticos não informados pelo laboratório.

Entre os atributos relacionados à acidez, o pH variou de 4,0, nos pontos P02 e P03, a 5,3, no P07. A acidez potencial variou de 6,4 $cmol_c$ dm^{-3}, no P01, a 8,2 $cmol_c$ dm^{-3}, no P06. O teor de alumínio trocável foi menor no P07, com 0,4 $cmol_c$ dm^{-3}, e maior no P06, com 2,1 $cmol_c$ dm^{-3}. Esse padrão também foi observado na saturação por alumínio: o menor valor ocorreu no P07, com 8,0%, enquanto o maior foi registrado no P02, com 54,1%, seguido pelo P06, com 53,2%. Esses resultados indicam maior restrição associada à acidez e à possível toxicidade por alumínio nesses dois pontos.

Os cátions básicos apresentaram comportamento semelhante. Os teores de cálcio e magnésio foram mais elevados no P07, com 3,2 e 1,2 $cmol_c$ dm^{-3}, respectivamente, e menores no P04, para o cálcio, com 0,7 $cmol_c$ dm^{-3}, e no P06, para o magnésio, com 0,3 $cmol_c$ dm^{-3}. A soma de bases variou de 1,4 $cmol_c$ dm^{-3}, nos pontos P02 e P04, a 4,6 $cmol_c$ dm^{-3}, no P07. A saturação por bases acompanhou essa tendência, variando de 15,9% no P02 a 41,2% no P07. Apesar de o P07 apresentar o maior valor, todos os pontos permaneceram abaixo de 50%, indicando baixa saturação por bases no conjunto avaliado. A capacidade de troca catiônica variou de 8,4 $cmol_c$ dm^{-3}, no P01, a 11,2 $cmol_c$ dm^{-3}, no P07. A CTC efetiva apresentou valores entre 2,8 $cmol_c$ dm^{-3}, no P04, e 5,0 $cmol_c$ dm^{-3}, no P07. Esses resultados indicam maior capacidade de retenção de cátions no P07, em comparação aos demais pontos.

Entre os nutrientes analisados, os teores de fósforo variaram de 2,9 mg dm^{-3}, nos pontos P02 e P04, a 7,2 mg dm^{-3}, nos pontos P05 e P07. O potássio apresentou variação de 42 mg dm^{-3}, nos pontos P01 e P04, a 68 mg dm^{-3}, no P03, e no P07 apresentou o maior valor, de 84 mg dm^{-3}. O enxofre variou de 24,9 mg dm^{-3}, no P07, a 34,5 mg dm^{-3}, no P06. Para o ferro, os valores variaram de 81,1 mg dm^{-3}, no P05, a 128,4 mg dm^{-3}, no P04. O carbono orgânico variou de 1,8 dag dm^{-3} (P04) a 2,4 dag dm^{-3} (P07), e a matéria orgânica, de 3,1 a 4,1 dag dm^{-3}, com os três pontos da propriedade do produtor rural (3,9–4,1 dag dm^{-3}) acima dos pontos da Associação (3,1–3,7 dag dm^{-3}). O nitrogênio total variou de 2.380 mg dm^{-3} (P01) a 3.850 mg dm^{-3} (P05), e a relação C/N, de 5,1 (P04) a 7,8 (P01).

Os resultados evidenciam variações expressivas entre os pontos avaliados, refletindo os diferentes usos e históricos de manejo adotados na comunidade quilombola e na propriedade rural

analisada. De modo geral, os dados confirmam que o manejo da terra influencia diretamente os atributos químicos do solo, especialmente em ambientes sujeitos a elevada intemperização, onde a acidez, a baixa saturação por bases e a presença de alumínio podem limitar o desenvolvimento das culturas (Fageria; Baligar, 2008; Agegnehu et al., 2021). Três conjuntos de mecanismos ajudam a interpretar esses padrões.

O primeiro refere-se à acidez e ao alumínio. Todos os pontos são distróficos (V < 50%) e fortemente ácidos, e a saturação por alumínio ultrapassa 50% em P02 e P06 — faixa que, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, integra, com o teor de Al^{3+}, os critérios de caráter alumínico e é considerada limitante para culturas sensíveis (Santos et al., 2018). Em solos ácidos, o alumínio trocável é um dos principais agentes de limitação ao crescimento vegetal, pois afeta o desenvolvimento radicular, a absorção de nutrientes e a eficiência do uso da água (Kochian et al., 2015; Agegnehu et al., 2021). Esse padrão é particularmente preocupante em áreas de cultivo de milho, cultura que responde de forma sensível à correção da acidez e à disponibilidade de bases trocáveis. A condição mais restritiva de P02 (pH 4,0; V = 15,9%; m = 54,1%) é compatível com a exportação de bases pelas colheitas sem reposição por calagem ou adubação, mecanismo clássico de empobrecimento de solos cultivados continuamente com baixo uso de insumos (Fageria; Baligar, 2008). O ponto P01, sob mandioca, apresentou pH ácido (4,3), baixos teores de Ca e Mg e saturação por bases de 23,9%, mas foi, entre os pontos da Associação, o de menor acidez potencial, menor saturação por alumínio e maior teor de Mg. A mandioca é frequentemente cultivada em ambientes mais ácidos, justamente por sua maior rusticidade e tolerância a condições químicas restritivas, o que explica sua adaptação em áreas com menor correção da acidez (Howeler, 1991). Entretanto, mesmo em culturas tolerantes, a permanência de valores elevados de alumínio e baixa disponibilidade de bases pode reduzir o potencial produtivo e comprometer a sustentabilidade do sistema ao longo do tempo (Abreu Jr.; Muraoka; Lavorante, 2003a; Agegnehu et al., 2021), e o baixo teor de K em P01 (42 mg dm^{-3}) é coerente com a elevada exportação desse nutriente pela cultura (Howeler, 1991).

O segundo mecanismo diz respeito à cobertura do solo e ao aporte de resíduos. Em P03, área descoberta há dez anos, a manutenção de pH baixo, baixos teores de Ca e Mg e elevada presença de alumínio indica que a ausência de cobertura vegetal não favoreceu a recuperação química do solo. Pelo contrário, a falta de vegetação tende a intensificar perdas por erosão, reduzir o aporte de resíduos orgânicos e comprometer a ciclagem de nutrientes, agravando a degradação nestes ambientes (Lal, 2015). O teor intermediário de MO em P03 (3,7 dag dm^{-3}), superior ao das roças, e o maior teor de K entre os pontos da Associação (68 mg dm^{-3}) sugerem algum aporte de biomassa herbácea espontânea e ausência de exportação por colheitas, insuficientes para reverter a acidez. Já em P06, pousio há sete

anos após o cultivo de maracujá, o solo apresentou forte acidez, o maior teor de alumínio e a maior acidez potencial do conjunto, indicando que o período sem cultivo, por si só, não foi suficiente para reverter a limitação química do solo, ainda que a MO (4,0 dag dm^{-3}) e a CTC (10,1 $cmol_c$ dm^{-3}) estejam entre as mais altas. Esse resultado é coerente com a função do pousio nos trópicos: a vegetação em regeneração recupera primeiro a biomassa e o carbono do solo, enquanto a reposição de bases e a neutralização da acidez dependem da reserva de nutrientes do sistema e do tempo de repouso, podendo exigir intervenções como calagem e adubação verde (Szott; Palm; Buresh, 1999; Agegnehu et al., 2021).

O terceiro mecanismo envolve o tempo de exclusão do uso agrícola e a ciclagem de nutrientes pela vegetação. O ponto P07 apresentou os melhores resultados químicos entre todos os avaliados, com maior pH, maiores teores de Ca e Mg, maior soma de bases, maior CTC, maior carbono orgânico e matéria orgânica, além da menor saturação por alumínio. Esse comportamento é consistente com a literatura que mostra que solos sob maior tempo sem perturbação tendem a acumular carbono e apresentar melhores condições químicas, especialmente em relação à retenção de cátions e à redução da toxicidade por alumínio (Maia et al., 2007; Costa et al., 2019; Lehmann et al., 2020), e com o papel da vegetação em regeneração na reciclagem de bases a partir de camadas mais profundas e da serapilheira (Tiessen; Cuevas; Chacon, 1994; Szott; Palm; Buresh, 1999). O ponto P05, sem uso há cinco anos, apresentou melhoria química em relação aos pontos da Associação, com pH ligeiramente mais elevado, aumento de Ca, maior soma de bases, menor alumínio trocável e maior teor de carbono orgânico e matéria orgânica, além dos maiores teores de N total e de P, o que o situa como condição de transição entre o solo cultivado e o solo sob regeneração mais avançada (P07).

O ponto P04, classificado como área preservada, apresentou pH ácido, baixos teores de bases trocáveis e baixa saturação por bases, padrão químico consistente com a gênese de Argissolos desenvolvidos sob condições de intenso intemperismo químico, típicas da região de Bonito (BA), conforme mapeamento pedológico do IBGE (2025). Entretanto, esse ponto também registrou os menores teores de carbono orgânico (1,8 dag dm^{-3}) e matéria orgânica (3,1 dag dm^{-3}) do conjunto. Em solos com horizonte B textural, como os Argissolos, a fração argila desempenha papel determinante na proteção física e química do carbono orgânico, uma vez que a formação de complexos organominerais e a oclusão de matéria orgânica no interior de agregados reduzem sua susceptibilidade à decomposição microbiana (Feller; Beare, 1997; Six et al., 2002). A menor concentração de CO e MO em P04 poderia decorrer de diferenças de classe textural entre os pontos, hipótese que não pôde ser testada porque a granulometria não foi determinada; variações locais no grau de intemperismo, na profundidade do solo e na dinâmica de eluviação-iluviação de argila também podem influenciar a

fertilidade e os estoques de carbono, mesmo sob vegetação nativa. Portanto, a condição de preservação não implica, necessariamente, maior fertilidade química ou maiores estoques de carbono orgânico. Em vez disso, reflete a manutenção de uma dinâmica pedogenética menos impactada por usos antrópicos intensivos, na qual a fertilidade permanece naturalmente baixa devido ao avançado intemperismo, o que reforça a necessidade de considerar atributos físicos e texturais na interpretação de indicadores de qualidade do solo (Bünemann et al., 2018).

Quanto à relação C/N, todos os pontos apresentaram valores baixos (5,1–7,8), inferiores à faixa de 10 a 14 típica de solos minerais (Batjes, 1996; Cleveland; Liptzin, 2007). Valores de relação C/N entre 10 e 15 são considerados ideais para a formação de matéria orgânica estável (húmus), enquanto relações mais elevadas (>20–30) sugerem material em decomposição lenta, com maior imobilização de nitrogênio (Stevenson, 1994; Silva; Mendonça, 2007). Os valores observados indicam, ao contrário, matéria orgânica rica em nitrogênio e com elevado potencial de mineralização; contudo, como o método de determinação do N total não foi informado e os teores reportados (2.380–3.850 mg dm^{-3}) são elevados para os teores de carbono medidos, essa interpretação deve ser confirmada com a repetição das análises. O fósforo disponível foi muito baixo em todos os pontos (≤ 7,2 mg dm^{-3}), como esperado em solos ácidos e intemperizados, nos quais o P é fortemente adsorvido por óxidos de Fe e Al (Penn; Camberato, 2019); os maiores teores de Fe extraível em P04 (128,4 mg dm^{-3}) e os menores em P05 e P07 (81,1 e 83,4 mg dm^{-3}) acompanham o gradiente de pH, coerente com a menor solubilidade do ferro em pH mais elevado.

4.3 ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO

O Índice de Qualidade do Solo variou de 0,129 a 0,897 (Tabela 4) entre os pontos avaliados. O P07, área preservada há dez anos, apresentou o maior IQS, com valor de 0,897, correspondente a 89,7% da pontuação máxima. Esse resultado decorreu dos maiores escores de Ca, Mg, SB, V, P, CTC, CO e MO, além dos menores valores de Al e m. O P05, preservado há cinco anos, ocupou a segunda posição, com IQS de 0,563, destacando-se pelo maior escore de P e por valores relativamente elevados de Ca, SB, V, CTC e MO. Os pontos P03 e P06 apresentaram valores intermediários, com IQS de 0,336 e 0,326, respectivamente. Embora o P06 tenha apresentado elevados teores de MO e CTC, seus baixos escores de Mg, V, Al e m reduziram sua pontuação final. O P01 obteve IQS de 0,259, enquanto o P02 apresentou 0,188, refletindo as limitações associadas à acidez, baixa saturação por bases e elevada saturação por alumínio. O menor IQS foi observado no P04, com 0,129, em razão dos baixos escores de Ca, SB, V, P, K, CTC, CO e MO.

Tabela 4 – Escores normalizados dos indicadores e Índice de Qualidade do Solo (IQS) dos pontos avaliados.

Ponto	pH	Ca	Mg	SB	V	Al	m	P	K	CTC	CO	MO	C/N	IQS
P01	0,15	0,16	0,556	0,188	0,316	0,471	0,321	0,395	0	0	0,1	0,1	0,65	0,259
P02	0	0,04	0,222	0	0	0,235	0	0	0,538	0,214	0,2	0,4	0,558	0,188
P03	0	0,12	0,444	0,156	0,186	0,294	0,174	0,326	1	0,25	0,4	0,6	0,608	0,336
P04	0,15	0	0,333	0	0	0,412	0,093	0	0	0,071	0	0	0,425	0,129
P05	0,25	0,72	0,222	0,531	0,601	0,588	0,612	1	0,5	0,607	0,5	0,8	0,492	0,563
P06	0,1	0,28	0	0,156	0,099	0	0,02	0,349	0,654	0,607	0,5	0,9	0,567	0,326
P07	0,65	1	1	1	1	1	1	1	0,5	1	1	1	0,533	0,897

Fonte: Dados da pesquisa (2026). Nota: os escores de K e de CO não reproduzem integralmente a normalização mínimo–máximo descrita na seção 3.5 (P07, com o maior teor de K, recebeu 0,5; P03 recebeu 1); os valores são apresentados como calculados pelos autores, e sua verificação consta das limitações (seção 4.6).

Dessa forma, a ordem decrescente de qualidade relativa do solo foi: P07 > P05 > P03 > P06 > P01 > P02 > P04. Esses resultados indicam que o P07 apresentou a melhor condição química relativa, enquanto o P04, o P02 e o P01 demandam maior atenção quanto às limitações de fertilidade, acidez e matéria orgânica. Na área vinculada à Associação Comunitária, o IQS foi maior em P03 (0,336), seguido de P01 (0,259), P02 (0,188) e P04 (0,129); todos os pontos ficaram abaixo de 0,35, indicando condições químicas relativamente restritivas em toda a área, associadas à predominância de acidez, baixa saturação por bases e elevada saturação por alumínio (Abreu Jr.; Muraoka; Lavorante, 2003b; Agegnehu et al., 2021). O P01, sob cultivo de mandioca, destacou-se entre os pontos da Associação pelos melhores escores de acidez (Al, m, V e Mg), mas os baixos teores de K, CTC, CO e MO reduziram sua pontuação final, ao passo que P03 obteve escores mais altos de K, CO e MO; a diferença entre ambos depende, portanto, do peso relativo atribuído à acidez e à matéria orgânica e dos escores de K e CO, cuja normalização apresentou inconsistências (nota da Tabela 4). O P02, cultivado com milho, apresentou o menor IQS entre as áreas cultivadas, diretamente relacionado ao menor pH, à menor saturação por bases e à maior saturação por alumínio entre todos os pontos avaliados, além da baixa disponibilidade de P. O P04, área preservada, apresentou o menor IQS do estudo, associado aos baixos teores de Ca, SB, V, P, K, CTC, CO e MO, o que indica que a preservação, isoladamente, não garante maior fertilidade química, especialmente em solos naturalmente intemperizados.

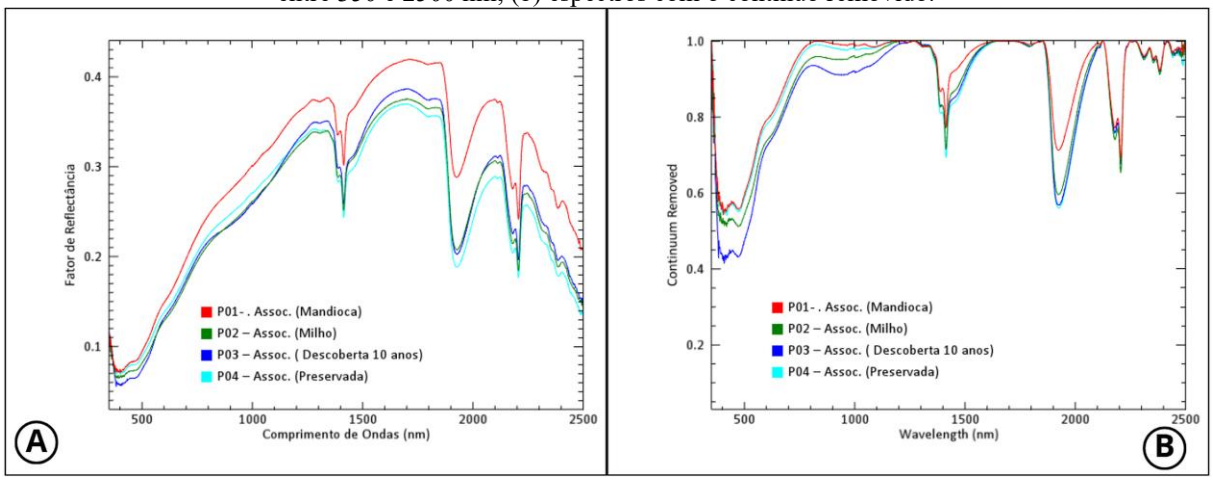
Na propriedade do produtor rural, o P07 apresentou o maior IQS, com 0,897, seguido pelo P05, com 0,563, e pelo P06, com 0,326. Esses resultados indicam um gradiente de qualidade do solo associado ao tempo de preservação e ao histórico de uso, com o P07 representando a melhor condição química e o P06 a mais limitada entre os pontos dessa área. O P06 registrou teores relativamente altos de MO, CO, N total e S, mas os baixos escores de Mg, V, Al e m reduziram significativamente o índice final, mostrando que a acumulação de matéria orgânica, por si só, não foi suficiente para reverter as limitações químicas associadas à acidez e à toxicidade por alumínio, e que a recuperação de solos ácidos depende também de práticas ativas de manejo, como calagem, adubação verde e cobertura permanente (Szott; Palm; Buresh, 1999; Agegnehu et al., 2021).

Dois aspectos metodológicos devem orientar a leitura do índice. Primeiro, por ser normalizado pelos extremos do próprio conjunto, o IQS mede a posição relativa dos pontos e amplifica os contrastes: o escore 1 de P07 em quase todos os indicadores não significa condição ótima — o solo permanece distrófico (V = 41,2%) e ácido (pH 5,3) —, mas apenas a melhor condição observada entre os sete pontos. Índices baseados em curvas de pontuação com limiares agronômicos, como as do SMAF, permitiriam expressar a distância em relação a valores críticos e comparar os resultados com outros estudos (Andrews; Karlen; Cambardella, 2004; Cherubin et al., 2016). Segundo, a ordenação é sensível aos pesos e aos escores: os grupos acidez (0,30) e fertilidade (0,35) somam 65% do peso, o que explica por que P06, com matéria orgânica elevada, ficou abaixo de P03, e por que a inconsistência nos escores de K e CO afeta sobretudo a posição relativa de P01 e P03. Ainda assim, a ordem geral — áreas com maior tempo sem uso agrícola e cobertura contínua acima das áreas cultivadas, descobertas ou em pousio recente — converge com estudos que aplicaram índices de qualidade a diferentes usos no Nordeste brasileiro, nos quais sistemas com menor perturbação e maior aporte de resíduos apresentaram maiores índices do que cultivos convencionais (Lima et al., 2007; Silva et al., 2015; Costa et al., 2019; Maia; Medeiros; Xavier, 2025).

4.4 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS SOLOS

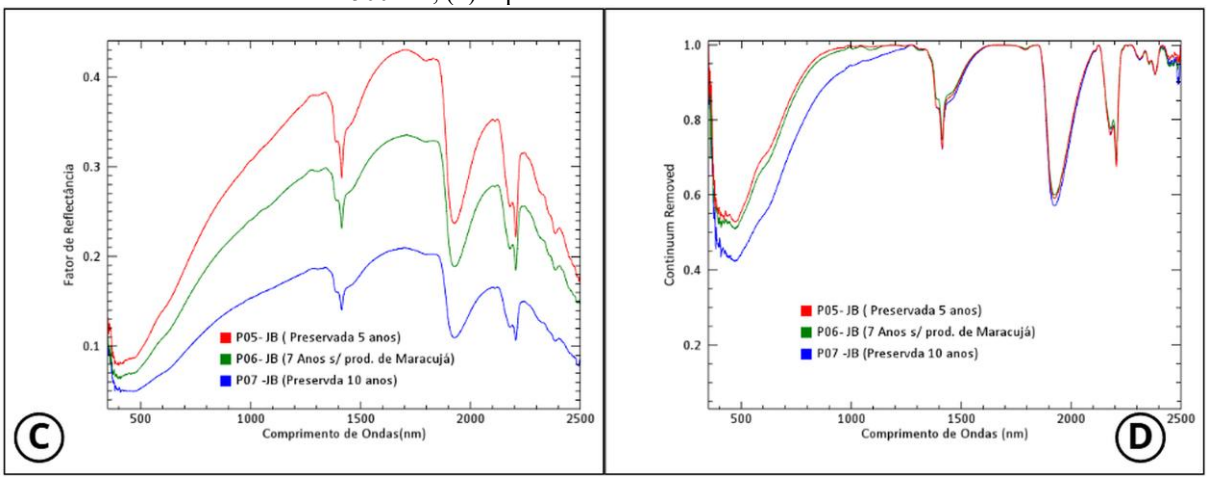
Os espectros em fator de reflectância (Figuras 5 e 6) evidenciam o comportamento geral das amostras ao longo do intervalo analisado, enquanto a aplicação do *continuum removido* proporciona maior destaque às feições de absorção, facilitando a comparação entre os materiais. No espectro sem a remoção do *continuum*, observa-se o padrão global de reflectância e as principais depressões espectrais, que correspondem às regiões de maior absorção da radiação por constituintes como óxidos de ferro, água e minerais de argila. Já no espectro com o *continuum* removido, as bandas diagnósticas tornam-se mais evidentes, favorecendo a identificação e a análise das feições espectrais associadas a grupos hidroxila, molécula de água na estrutura do mineral, entre outros componentes (Clark; Roush, 1984). A Figura 5 apresenta os espectros dos pontos da Associação Comunitária e a Figura 6, os da propriedade do produtor rural.

Figura 5 – Curvas espectrais dos solos da propriedade da Associação Comunitária (P01 a P04): (a) fator de reflectância entre 350 e 2500 nm; (b) espectros com o contínuo removido.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Figura 6 – Curvas espectrais dos solos da propriedade do produtor rural (P05 a P07): (c) fator de reflectância entre 350 e 2500 nm; (d) espectros com o contínuo removido.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Os espectros das amostras avaliadas nos dois conjuntos apresentam comportamento espectral semelhante, com feições de absorção distribuídas entre 400 e 2500 nm. Na região do visível, são observadas feições próximas a 420–450 nm, associadas à ocorrência de óxidos e hidróxidos de ferro, nestes espectros o mineral apresentado foi a Goethita. Nos espectros com o contínuo removido, essa absorção é acompanhada de uma feição larga e rasa próxima a 900–950 nm, mais nítida em P03 (Figura 5b) e em P07 (Figura 6d), compatível com a transição eletrônica do Fe^{3+} da goethita (Scheinost et al., 1998). No infravermelho de ondas curtas, os espectros apresentam bandas próximas a 1400 e 1900 nm, relacionadas à presença de água, além de feições na região de aproximadamente 2100–2400 nm, com destaque para a banda próxima a 2200 nm, característica de minerais de argila, como a caulinita e a esmectita. Também foram registradas feições espectrais na faixa de 2300–2350 nm, relacionadas a minerais contendo grupos hidroxila. A feição de 1900 nm é a mais profunda em todos os pontos,

seguida pelas de 2200 e 1400 nm, e a feição de 2200 nm apresenta assimetria do lado de menor comprimento de onda, compatível com o dupleto 2165/2205 nm da caulinita (Clark et al., 1990; Clark, 1999).

As assinaturas espectrais analisadas apresentaram comportamento semelhante quanto à forma das curvas e à ocorrência das principais feições de absorção, com diferenças na intensidade da reflectância entre as áreas. Na propriedade da Associação (Figura 5a), P01 (mandioca) apresentou a maior reflectância em todo o intervalo, com máximo de aproximadamente 0,42 próximo a 1800 nm, seguido por P03 (descoberta há 10 anos), com máximo de aproximadamente 0,38, e por P02 (milho) e P04 (preservada), com curvas muito próximas entre si e máximos de aproximadamente 0,36–0,37, sendo P04 a de menores valores no infravermelho de ondas curtas. Após a remoção do contínuo (Figura 5b), as quatro curvas tornam-se praticamente coincidentes nas feições de 1400, 1900 e 2200 nm, e a principal diferença restante é a maior profundidade da absorção no visível em P03. Na propriedade do produtor rural (Figura 6c), P05 (preservada há 5 anos) apresentou a maior reflectância, com máximo de aproximadamente 0,43, P06 (7 anos sem produção de maracujá) apresentou resposta intermediária (máximo de aproximadamente 0,34) e P07 (preservada há 10 anos) apresentou a menor reflectância de todo o estudo, com máximo de aproximadamente 0,21, cerca de metade da de P05. Com o contínuo removido (Figura 6d), as três curvas também convergem, com P07 exibindo absorção ligeiramente mais profunda no visível e em 1900 nm. Os valores de reflectância citados são leituras aproximadas das curvas, uma vez que os espectros numéricos não foram tabulados.

Conforme observado nas Figuras 5 e 6, as áreas avaliadas apresentaram comportamento espectral bastante semelhante, evidenciado pela proximidade entre as curvas de reflectância e pela ocorrência de feições de absorção com padrões similares ao longo do espectro eletromagnético. Essa elevada similaridade espectral indica que os ambientes estudados possuem características composicionais semelhantes: a assembleia mineral predominante — caulinita, goethita e água adsorvida ou estrutural — é a mesma nos sete pontos, como esperado para solos de uma mesma unidade pedológica submetidos a intemperismo avançado (Scheinost et al., 1998; Demattê et al., 2019). De acordo com Stenberg et al. (2010), matéria orgânica, óxidos de ferro, minerais de argila, água e granulometria exercem controle direto sobre a resposta espectral dos solos nas regiões do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas; a remoção do contínuo reduz a influência da tendência geral da curva e realça a posição e a profundidade das bandas diagnósticas, isolando a contribuição dos minerais (Clark; Roush, 1984). Assim, os espectros originais permitiram avaliar a resposta geral dos solos, e o contínuo removido mostrou que o uso e o histórico de manejo modificaram principalmente a intensidade da resposta espectral, sem alterar de maneira significativa a assinatura

dos componentes minerais predominantes.

A interpretação das diferenças de intensidade exige cautela. A relação entre matéria orgânica e reflectância é amplamente reconhecida na espectroscopia de solos: solos com maior contribuição de matéria orgânica tendem a apresentar menor albedo e curvas espectrais mais baixas, sobretudo nas regiões do visível e do infravermelho próximo, devido à maior absorção da radiação pelos compostos orgânicos (Ben-Dor; Banin, 1995; Bartholomeus et al., 2008; Stenberg et al., 2010). Esse padrão foi observado por Silva (2020) em estudo realizado em Morro do Chapéu-BA, no qual a matéria orgânica influenciou a forma da curva espectral e promoveu o rebaixamento da intensidade da reflectância, podendo ainda mascarar parcialmente as feições de absorção de outros constituintes, como os óxidos de ferro. O comportamento de P07, que apresentou a menor reflectância entre todos os pontos, é coerente com seu maior teor de matéria orgânica (4,1 dag dm^{-3}) e com a permanência prolongada da cobertura vegetal, assim como a maior reflectância de P01 é coerente com um dos menores teores de MO (3,2 dag dm^{-3}) e com a exposição do solo cultivado. Entretanto, a relação não se sustenta para o conjunto dos sete pontos: P04, com o menor teor de MO do estudo (3,1 dag dm^{-3}), apresentou uma das menores reflectâncias da Associação, e P05, com MO de 3,9 dag dm^{-3}, apresentou a maior reflectância de todo o estudo, o dobro da de P07, cujo teor de MO difere do seu em apenas 0,2 dag dm^{-3}. Diferenças tão pequenas de matéria orgânica não explicam reduções de albedo dessa magnitude, o que indica a participação de outros fatores — granulometria e agregação da amostra, rugosidade superficial, umidade residual, teor e cristalinidade de óxidos de ferro e condições de aquisição — que controlam o espalhamento da radiação independentemente da composição mineral (Clark, 1999; Stenberg et al., 2010). Como granulometria, cor e umidade das amostras não foram determinadas e a geometria de aquisição não foi registrada, não é possível atribuir as diferenças de intensidade a um único fator; a hipótese da matéria orgânica é plausível para P07 e P01, mas não generalizável.

Apesar dessas restrições, os resultados demonstram que a espectrorradiometria de reflectância é uma ferramenta complementar para caracterizar solos submetidos a distintos usos e históricos de manejo, pela rapidez, pelo baixo custo por amostra e pela identificação não destrutiva da mineralogia. Conforme ressaltam Stenberg et al. (2010) e Pinheiro et al. (2017), a interpretação das curvas deve considerar a interação entre mineralogia, matéria orgânica, granulometria, umidade e atributos químicos, e a estimativa quantitativa de atributos como carbono orgânico, CTC ou argila requer modelos de calibração construídos com amostras representativas, que podem ser locais quando a variabilidade do solo é restrita (Viscarra Rossel et al., 2006; Wetterlind; Stenberg, 2010). Com sete amostras, este estudo permite apenas a comparação qualitativa aqui apresentada; a ampliação da amostragem na comunidade e a integração com a Biblioteca Espectral de Solos do Brasil (Demattê et

al., 2019) são caminhos para transformar a técnica em instrumento de monitoramento da qualidade do solo no território.

4.5 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS: USO, MANEJO E MECANISMOS

A leitura conjunta dos atributos químicos, do IQS, dos espectros e do uso da terra permite associar cada condição de manejo a um conjunto de mecanismos dominantes. Nas roças da Associação, a exportação de bases pelas colheitas sem calagem e a baixa reposição de resíduos resultaram em acidez elevada, saturação por alumínio limitante (sobretudo sob milho) e baixa matéria orgânica, condição que o IQS captou como os menores índices entre as áreas de uso agrícola e que os espectros expressaram como maior albedo em P01. Na área descoberta (P03), a ausência de cobertura manteve a acidez e a pobreza em bases, embora a vegetação espontânea e a ausência de colheitas tenham sustentado teores intermediários de MO e K. No pousio recente após maracujá (P06), a regeneração recuperou a matéria orgânica e a CTC antes de corrigir a acidez, de modo que o ponto combina o maior teor de alumínio com uma das maiores reservas orgânicas. Nas áreas com maior tempo de exclusão do uso (P05 e P07), a ciclagem de nutrientes pela vegetação elevou simultaneamente bases, CTC, P e matéria orgânica e reduziu o alumínio, produzindo os maiores IQS e, em P07, o menor albedo. O remanescente preservado da Associação (P04), por fim, expressa a fertilidade naturalmente baixa de Argissolos intemperizados e um estoque de carbono menor do que o esperado, cuja explicação (textura, posição na paisagem ou histórico de perturbação não relatado) permanece em aberto.

Esses resultados coincidem com a tendência geral observada em solos do Nordeste brasileiro, em que o cultivo contínuo reduz o carbono orgânico, as bases e a biomassa microbiana e a regeneração da vegetação os recupera parcialmente (Sousa et al., 2012; Ferreira et al., 2016; Alencar et al., 2024; Medeiros et al., 2026), e com a constatação de que as frações do carbono e os atributos ligados à acidez respondem de forma distinta e em tempos diferentes ao abandono do cultivo (Maia; Medeiros; Xavier, 2025). Do ponto de vista espectral, a constância da assembleia mineral entre os pontos confirma que, nessa escala, o uso da terra não altera a mineralogia da fração argila em prazo de uma a duas décadas, mas modifica atributos superficiais e orgânicos que se refletem na intensidade das curvas (Stenberg et al., 2010; Demattê et al., 2019).

4.6 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Os resultados devem ser interpretados à luz de limitações importantes. A amostragem compreendeu sete pontos, com uma amostra por ponto e sem repetições, o que impede a aplicação de testes estatísticos e a separação entre o efeito do uso da terra e a variabilidade espacial intrínseca do

solo; a profundidade de coleta, o número de subamostras e a data da amostragem não foram registrados. Os métodos analíticos (extratores de P, K, Fe e S; determinação de Ca, Mg, Al, H+Al, pH, CO e N total) não foram informados pelo laboratório, o que limita a comparação com valores de referência e a interpretação da relação C/N, cujos valores (5,1–7,8) estão abaixo da faixa típica de solos minerais. Não foram determinados atributos físicos (granulometria, densidade, agregação) nem biológicos, de modo que o IQS representa apenas a dimensão química e da matéria orgânica da qualidade do solo, e sua normalização pelos extremos do próprio conjunto torna os valores relativos e não comparáveis com outros estudos; além disso, os escores de K e CO da Tabela 4 não reproduzem integralmente a normalização descrita e devem ser recalculados pelos autores, embora a verificação do cálculo para P01 e P07 tenha confirmado os valores finais de IQS a partir dos escores e pesos informados. Na espectrorradiometria, a geometria de aquisição não foi registrada, os espectros não foram tabulados e as feições foram interpretadas qualitativamente, sem quantificação de profundidade de banda ou modelos de calibração. Os históricos de uso baseiam-se em relatos dos responsáveis pelas propriedades, a análise do uso e cobertura foi qualitativa, sem quantificação de áreas e sem identificação da coleção do MapBiomas, e a resolução de 30 m não resolve as parcelas internas das propriedades. Por fim, a classe de solo foi atribuída a partir do mapeamento regional do IBGE, sem descrição de perfil, e dados climáticos locais não foram levantados.

4.7 IMPLICAÇÕES PARA A COMUNIDADE E PARA O MANEJO

Mesmo com caráter exploratório, o diagnóstico tem implicações diretas para a comunidade. A limitação química comum a todas as áreas — acidez elevada, baixa saturação por bases e alumínio trocável — indica que a correção da acidez (calagem com calcário dolomítico, dada a carência simultânea de Ca e Mg) é a intervenção de maior efeito potencial sobre as roças de mandioca e milho, e que a reposição de potássio deve acompanhar o cultivo da mandioca (Howeler, 1991; Fageria; Baligar, 2008; Agegnehu et al., 2021). A comparação entre P06 e P07 mostra que o pousio recupera a matéria orgânica, mas não corrige a acidez por si só; práticas de pousio melhorado, como adubação verde com leguminosas, cobertura permanente e adição de resíduos orgânicos, podem acelerar a recuperação (Szott; Palm; Buresh, 1999; Lal, 2015). A área descoberta há dez anos (P03) é candidata prioritária à revegetação, e os remanescentes preservados (P04, P07) devem ser mantidos, pelos serviços ecossistêmicos que prestam e por funcionarem como referência local para o monitoramento. Esses resultados dialogam com os princípios agroecológicos já presentes na agricultura quilombola — diversificação, cobertura do solo e reciclagem de resíduos (Altieri, 2004; Gonçalves et al., 2022) — e podem subsidiar a assistência técnica à Associação Comunitária. Do ponto de vista metodológico, a

combinação de um conjunto mínimo de indicadores químicos com a espectrorradiometria oferece uma base de baixo custo para um programa de monitoramento participativo, desde que ampliada em número de amostras, com repetições e profundidades definidas, e complementada por indicadores físicos e biológicos.

5 CONCLUSÃO

Este estudo avaliou a qualidade química relativa do solo em duas áreas da Comunidade Quilombola de Gitirana, em Bonito-BA, por meio de atributos edáficos, de um índice de qualidade do solo e da espectrorradiometria de reflectância, relacionando os resultados aos diferentes usos e manejos do solo. Os resultados evidenciaram diferenças na qualidade relativa do solo entre os pontos avaliados, associadas aos diferentes usos, coberturas e históricos de manejo. Todos os solos são fortemente ácidos e distróficos, com saturação por alumínio limitante na roça de milho (P02) e no pousio após maracujá (P06). Na propriedade do produtor rural, o P07, preservado há dez anos, destacou-se com o maior IQS, de 0,897, seguido de P05 (0,563), enquanto o P06 apresentou as maiores limitações químicas dessa área. Na área da Associação Comunitária, todos os pontos tiveram IQS inferior a 0,35; o P01, sob cultivo de mandioca, apresentou a condição menos restritiva quanto à acidez e ao alumínio, o P03 obteve o maior índice pelos escores de potássio e matéria orgânica, e o P04, área preservada, apresentou o menor IQS do estudo, com 0,129, pela fertilidade naturalmente baixa e pelo menor teor de matéria orgânica.

A melhor condição do P07 esteve associada à maior matéria orgânica, maior CTC, maior disponibilidade de bases e menor saturação por alumínio, refletindo o efeito da exclusão prolongada do uso agrícola e da cobertura vegetal sobre a ciclagem de nutrientes, enquanto o pousio de sete anos (P06) recuperou a matéria orgânica sem corrigir a acidez. Quanto às análises espectrais, os solos apresentaram composição mineralógica semelhante, com feições associadas à goethita, à água e à caulinita. As diferenças ocorreram principalmente na intensidade da reflectância, sendo a menor resposta observada no P07, compatível com seu maior teor de matéria orgânica e maior permanência da cobertura vegetal, embora essa relação não tenha se confirmado para todos os pontos, o que indica a participação de outros fatores físicos e de aquisição.

A contribuição do trabalho é empírica e territorial: fornece o primeiro diagnóstico integrado da qualidade química e do comportamento espectral dos solos de um território quilombola da Chapada Diamantina, mostrando que o uso e o manejo alteram a intensidade da resposta espectral e os atributos ligados à acidez e à matéria orgânica, mas não a mineralogia predominante. As conclusões limitam-se a sete pontos sem repetições, a indicadores químicos e a um índice relativo. Recomenda-se a adoção

de práticas como correção da acidez, manutenção da cobertura, uso de plantas de cobertura, adição de resíduos orgânicos e redução do revolvimento para melhorar a qualidade do solo e fortalecer a sustentabilidade dos sistemas agrícolas da comunidade quilombola, bem como a continuidade do monitoramento com amostragem ampliada, indicadores físicos e biológicos e calibração espectral local.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), por meio do edital CNPq/MCTI nº 441271/2023-5 – Presente, Passado e Futuro da Biodiversidade do Semiárido: Inventários, Monitoramento, Impactos das Mudanças Climáticas e Implicações para o Uso e Conservação da Flora, Fauna e Fungos. W.J.F.R. foi apoiado por bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq (processo nº 314954/2021-0), Projeto Prospecta 4.0 – CNPq (processo nº 407907/2022-0) e pelo projeto 30202010010121001 – CTBIO – FINEP, associada ao Centro Temático de Bioeconomia do Semiárido (UEFS – CTBio-CIMATEC SERTÃO). Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estudos Interdisciplinares e Transdisciplinares em Ecologia e Evolução (INCT IN-TREE), financiado pelo CNPq (408930/2024-1), pela CAPES (88887.195651/2025-00) e pela FAPESP. Financiamento adicional foi fornecido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), por meio do programa Bioeconomia, Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental na Bahia, no âmbito da Chamada nº 38/2022, Acordo de Cooperação Técnica nº 294/2023 e Termo de Outorga nº PPF0003/2023. Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM/UEFS) pelo apoio institucional, bem como ao SENAI CIMATEC pela contribuição no desenvolvimento científico e tecnológico voltado à inovação aplicada. R.N.V. foi apoiado pelo INCT IN-TREE e agradece a bolsa SET-G 30202010010121001 – CTBIO – FINEP, associada ao Centro Temático de Bioeconomia do Semiárido (UEFS – CTBio-CIMATEC SERTÃO), vinculado a Projetos Especiais.

REFERÊNCIAS

ABREU JR., Cássio Hamilton; MURAOKA, Takashi; LAVORANTE, André Fernando. Exchangeable aluminum evaluation in acid soils. Scientia Agricola, v. 60, n. 3, p. 543-548, 2003a. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000300020.

ABREU JR., Cássio Hamilton; MURAOKA, Takashi; LAVORANTE, André Fernando. Relationship between acidity and chemical properties of Brazilian soils. Scientia Agricola, v. 60, n. 2, p. 337-343, 2003b. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-90162003000200019.

AGEGNEHU, Getachew; AMEDE, Tilahun; ERKOSSA, Teklu et al. Extent and management of acid soils for sustainable crop production system in the tropical agroecosystems: a review. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science, v. 71, n. 9, p. 852-869, 2021. DOI: https://doi.org/10.1080/09064710.2021.1954239.

ALENCAR, Guilherme Viana de; GOMES, Lucas Carvalho; BARROS, Vanessa Maria de Souza et al. Organic farming improves soil carbon pools and aggregation of sandy soils in the Brazilian semi-arid region. Soil Use and Management, v. 40, n. 3, e13097, 2024. DOI: https://doi.org/10.1111/sum.13097.

ALTIERI, Miguel A. Linking ecologists and traditional farmers in the search for sustainable agriculture. Frontiers in Ecology and the Environment, v. 2, n. 1, p. 35-42, 2004. DOI: https://doi.org/10.1890/1540-9295(2004)002[0035:LEATFI]2.0.CO;2.

ANDREWS, Susan S.; KARLEN, Douglas L.; CAMBARDELLA, Cynthia A. The Soil Management Assessment Framework: a quantitative soil quality evaluation method. Soil Science Society of America Journal, v. 68, n. 6, p. 1945-1962, 2004. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaj2004.1945.

ANDREWS, Susan S.; KARLEN, Douglas L.; MITCHELL, Jeffrey P. A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 90, n. 1, p. 25-45, 2002. DOI: https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00174-8.

BARTHOLOMEUS, H. M.; SCHAEPMAN, M. E.; KOOISTRA, L. et al. Spectral reflectance based indices for soil organic carbon quantification. Geoderma, v. 145, n. 1-2, p. 28-36, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.01.010.

BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. European Journal of Soil Science, v. 47, n. 2, p. 151-163, 1996. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01386.x.

BEN-DOR, E.; BANIN, A. Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. Soil Science Society of America Journal, v. 59, n. 2, p. 364-372, 1995. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaj1995.03615995005900020014x.

BENZEEV, Rayna; BRÁZ, Cauê; LYONS, Colleen Scanlan et al. The impact of land tenure on deforestation and reforestation in Quilombola territories from 1985 to 2020 in Brazil. World Development Sustainability, v. 6, 100221, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.wds.2025.100221.

BÜNEMANN, Else K.; BONGIORNO, Giulia; BAI, Zhanguo et al. Soil quality – a critical review. Soil Biology and Biochemistry, v. 120, p. 105-125, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030.

CHERUBIN, Maurício R.; KARLEN, Douglas L.; FRANCO, André L. C. et al. A Soil Management Assessment Framework (SMAF) evaluation of Brazilian sugarcane expansion on soil quality. Soil Science Society of America Journal, v. 80, n. 1, p. 215-226, 2016. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaj2015.09.0328.

CLARK, Roger N. Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy. In: RENCZ, Andrew N. (ed.). Manual of remote sensing: remote sensing for the Earth sciences. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. v. 3, p. 3-58.

CLARK, Roger N.; KING, Trude V. V.; KLEJWA, Matthew et al. High spectral resolution reflectance spectroscopy of minerals. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, v. 95, n. B8, p. 12653-12680, 1990. DOI: https://doi.org/10.1029/JB095iB08p12653.

CLARK, Roger N.; ROUSH, Ted L. Reflectance spectroscopy: quantitative analysis techniques for remote sensing applications. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, v. 89, n. B7, p. 6329-6340, 1984. DOI: https://doi.org/10.1029/JB089iB07p06329.

CLEVELAND, Cory C.; LIPTZIN, Daniel. C:N:P stoichiometry in soil: is there a “Redfield ratio” for the microbial biomass? Biogeochemistry, v. 85, n. 3, p. 235-252, 2007. DOI: https://doi.org/10.1007/s10533-007-9132-0.

COSTA, Haylla Souza; SANTOS, Talia Sales; CÂNDIDO, Jeozimarlon Santos et al. Indicadores químicos de qualidade de solos em diferentes coberturas vegetais e sistemas de manejo. Revista Fitos, v. 13, n. 1, p. 42, 2019. DOI: https://doi.org/10.17648/2446-4775.2019.759.

DEALDINA, Selma dos Santos (org.). Mulheres quilombolas: territórios de existências negras femininas. São Paulo: Jandaíra, 2020. 168 p.

DEMATTÊ, José A. M.; DOTTO, André Carnieletto; PAIVA, Ariane F. S. et al. The Brazilian Soil Spectral Library (BSSL): a general view, application and challenges. Geoderma, v. 354, 113793, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.05.043.

DORAN, John W.; PARKIN, Timothy B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, John W.; COLEMAN, David C.; BEZDICEK, David F.; STEWART, Bobby A. (ed.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 1-21. (SSSA Special Publication, 35). DOI: https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production. Advances in Agronomy, v. 99, p. 345-399, 2008. DOI: https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)00407-0.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Voluntary guidelines for sustainable soil management. Rome: FAO, 2017. Disponível em: https://www.fao.org/3/bl813e/bl813e.pdf. Acesso em: 13 nov. 2026.

FELLER, C.; BEARE, M. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. Geoderma, v. 79, n. 1-4, p. 69-116, 1997. DOI: https://doi.org/10.1016/S0016-7061(97)00039-6.

FERREIRA, Ana Carolina Câmara; LEITE, Luiz Fernando Carvalho; ARAÚJO, Ademir Sérgio Ferreira de et al. Land-use type effects on soil organic carbon and microbial properties in a semi-arid region of Northeast Brazil. Land Degradation & Development, v. 27, n. 2, p. 171-178, 2016. DOI: https://doi.org/10.1002/ldr.2282.

GONÇALVES, Maiara Cristina; SILVA, Fernanda Ribeiro da; CANTELLI, Daniele et al. Traditional agriculture and food sovereignty: Quilombola knowledge and management of food crops. Journal of Ethnobiology, v. 42, n. 2, p. 241-260, 2022. DOI: https://doi.org/10.2993/0278-0771-42.2.241.

HOWELER, R. H. Long-term effect of cassava cultivation on soil productivity. Field Crops Research, v. 26, n. 1, p. 1-18, 1991. DOI: https://doi.org/10.1016/0378-4290(91)90053-X.

HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: I. Silicate minerals. Modern Geology, v. 1, p. 283-300, 1970.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malha municipal digital 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html. Acesso em: 13 nov. 2026.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA): pedologia. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: https://bdiaweb.ibge.gov.br. Acesso em: 13 nov. 2026.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W. et al. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. Soil Science Society of America Journal, v. 61, n. 1, p. 4-10, 1997. DOI: https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x.

KOCHIAN, Leon V.; PIÑEROS, Miguel A.; LIU, Jiping et al. Plant adaptation to acid soils: the molecular basis for crop aluminum resistance. Annual Review of Plant Biology, v. 66, p. 571-598, 2015. DOI: https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-043014-114822.

KOKALY, Raymond F.; CLARK, Roger N.; SWAYZE, Gregg A. et al. USGS Spectral Library Version 7. Reston: U.S. Geological Survey, 2017. (Data Series, 1035). DOI: https://doi.org/10.3133/ds1035.

LAL, Rattan. Restoring soil quality to mitigate soil degradation. Sustainability, v. 7, n. 5, p. 5875-5895, 2015. DOI: https://doi.org/10.3390/su7055875.

LEHMANN, Johannes; BOSSIO, Deborah A.; KÖGEL-KNABNER, Ingrid et al. The concept and future prospects of soil health. Nature Reviews Earth & Environment, v. 1, n. 10, p. 544-553, 2020. DOI: https://doi.org/10.1038/s43017-020-0080-8.

LIMA, Herdjania Veras de; OLIVEIRA, Teógenes Senna de; OLIVEIRA, Maria Matutina de et al. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de cultivo orgânico e convencional no semi-árido cearense. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, n. 5, p. 1085-1098, 2007. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500024.

MAIA, Stoécio Malta Ferreira; MEDEIROS, Aldair de Souza; XAVIER, Francisco Alisson da Silva. Deforestation and conventional agriculture's impact on soil quality in five Brazilian semi-arid soils. Experimental Agriculture, v. 61, e6, 2025. DOI: https://doi.org/10.1017/S0014479725000055.

MAIA, Stoécio Malta Ferreira; XAVIER, Francisco Alisson S.; OLIVEIRA, Teógenes Senna et al. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. Agroforestry Systems, v. 71, n. 2, p. 127-138, 2007. DOI: https://doi.org/10.1007/s10457-007-9063-8.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção da série anual de mapas de cobertura e uso da terra do Brasil. São Paulo: MapBiomas, 2025. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org. Acesso em: 13 nov. 2026.

MEDEIROS, Aldair de Souza; SANTOS, Marcella Leal; FONTANA, Ademir et al. Different land uses in the Brazilian semi-arid: impacts and drivers on organic matter fractions and soil carbon. Catena, v. 266, 109922, 2026. DOI: https://doi.org/10.1016/j.catena.2026.109922.

MEERDINK, Susan K.; HOOK, Simon J.; ROBERTS, Dar A. et al. The ECOSTRESS spectral library version 1.0. Remote Sensing of Environment, v. 230, 111196, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.05.015.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello (org.). Reflectância dos materiais terrestres: análise e interpretação. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

MIRANDA, Daniela dos Reis; SOUZA, Deorgia Tayane Mendes de; BATISTA, Higo Ferreira et al. Atributos edáficos dos solos em áreas sob diferentes usos na Caatinga. Revista de Geopolítica, v. 17, n. 7, e2922, 2026. DOI: https://doi.org/10.56238/revgeov17n7-150.

PENN, Chad J.; CAMBERATO, James J. A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. Agriculture, v. 9, n. 6, 120, 2019. DOI: https://doi.org/10.3390/agriculture9060120.

PINHEIRO, Érika; CEDDIA, Marcos; CLINGENSMITH, Christopher et al. Prediction of soil physical and chemical properties by visible and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy in the Central Amazon. Remote Sensing, v. 9, n. 4, 293, 2017. DOI: https://doi.org/10.3390/rs9040293.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SCHEINOST, A. C.; CHAVERNAS, A.; BARRÓN, V. et al. Use and limitations of second-derivative diffuse reflectance spectroscopy in the visible to near-infrared range to identify and quantify Fe oxide minerals in soils. Clays and Clay Minerals, v. 46, n. 5, p. 528-536, 1998. DOI: https://doi.org/10.1346/CCMN.1998.0460506.

SILVA, Gerônimo Ferreira da; SANTOS, Djail; SILVA, Alexandre Paiva da et al. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do Agreste Paraibano. Revista Caatinga, v. 28, n. 3, p. 25-35, 2015. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n303rc.

SILVA, Ivo Ribeiro da; MENDONÇA, Eduardo de Sá. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, Roberto Ferreira; ALVAREZ V., Víctor Hugo; BARROS, Nairam Félix de et al. (ed.). Fertilidade do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275-374.

SILVA, L. L. Modelagem do carbono orgânico no solo por espectrorradiometria de reflectância em Morro do Chapéu-BA. 2020. Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2020.

SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A. et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: implications for C-saturation of soils. Plant and Soil, v. 241, n. 2, p. 155-176, 2002. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1016125726789.

SOUSA, F. P.; FERREIRA, T. O.; MENDONÇA, E. S. et al. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 148, p. 11-21, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.11.009.

SOUZA, Carlos M.; SHIMBO, Julia Z.; ROSA, Marcos R. et al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. Remote Sensing, v. 12, n. 17, 2735, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/rs12172735.

STENBERG, Bo; VISCARRA ROSSEL, Raphael A.; MOUAZEN, Abdul Mounem et al. Visible and near infrared spectroscopy in soil science. In: SPARKS, Donald L. (ed.). Advances in Agronomy. Amsterdam: Academic Press, 2010. v. 107, p. 163-215. DOI: https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)07005-7.

STEVENSON, F. J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

SZOTT, L. T.; PALM, C. A.; BURESH, R. J. Ecosystem fertility and fallow function in the humid and subhumid tropics. Agroforestry Systems, v. 47, n. 1-3, p. 163-196, 1999. DOI: https://doi.org/10.1023/A:1006215430432.

TIESSEN, H.; CUEVAS, E.; CHACON, P. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. Nature, v. 371, n. 6500, p. 783-785, 1994. DOI: https://doi.org/10.1038/371783a0.

TOLEDO, Víctor M.; BARRERA-BASSOLS, Narciso. A memória biocultural: a importância ecológica das sabedorias tradicionais. São Paulo: Expressão Popular, 2015. 272 p.

VISCARRA ROSSEL, R. A.; WALVOORT, D. J. J.; MCBRATNEY, A. B. et al. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. Geoderma, v. 131, n. 1-2, p. 59-75, 2006. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.03.007.

WETTERLIND, J.; STENBERG, B. Near-infrared spectroscopy for within-field soil characterization: small local calibrations compared with national libraries spiked with local samples. European Journal of Soil Science, v. 61, n. 6, p. 823-843, 2010. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01283.x.