

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

FRANCISCO MARTO DE SOUZA

**QUALIDADE DO SOLO SUBMETIDO A DIFERENTES FORMAS DE
USO E MANEJO NO CARIRI PARAIBANO**

RECIFE

2023

Francisco Marto de Souza

Engenheiro Agrônomo

**Qualidade do solo submetido a diferentes formas de uso e manejo no Cariri
Paraibano**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Fernando José Freire

**Recife
2023**

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

FICHA CATALOGRÁFICA

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

F819q DE SOUZA, FRANCISCO
QUALIDADE DO SOLO SUBMETIDO A DIFERENTES FORMAS DE USO E MANEJO NO CARIRI
PARAIBANO / FRANCISCO DE SOUZA. - 2023.
96 f.

Orientador: FERNANDO JOSE FREIRE.
Inclui referências.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo,
Recife, 2024.

1. SEMIÁRIDO. 2. CAPIM-TIFTON. 3. PALMA FORRAGEIRA. 4. ATRIBUTOS DO SOLO. 5. ÍNDICE DE
QUALIDADE DO SOLO. I. FREIRE, FERNANDO JOSE, orient. II. Título

CDD 631.4

FRANCISCO MARTO DE SOUZA

Qualidade do solo submetido a diferentes formas de uso e manejo no Cariri Paraibano

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo.

Aprovada em 29 de novembro de 2023

Prof. Dr. Fernando José Freire

Orientador

Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ygor Jacques Agra Bezerra da Silva

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Jefrejan Souza Rezende

Universidade Estadual do Piauí

Dr. Emmanuel Moreira Pereira

Instituto Nacional do Semiárido

Profa. Dra. Jussara Silva Dantas

Universidade Federal de Campina Grande

A Marina Oliveira, com amor! Você nasceu, eu renasci!

Dedico!

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela oportunidade de cursar o doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa.

A meu orientador, professor doutor Fernando José Freire, pelos valiosos ensinamentos e contribuições ao longo da minha formação.

Ao professor doutor Antônio Francisco de Mendonça Júnior, pela amizade, companheirismo, ajuda, presteza e presença.

A todos os professores da UFRPE, amigos e colegas que fiz durante minha permanência no doutorado.

Ao professor doutor Walter Esfrain Pereira, pelos valiosos ensinamentos, presteza e por ser referência de profissional.

Ao Professor doutor Francisco Hélio Alves de Andrade, pelas excelentes contribuições.

A Douglas Monteiro, Edilson Amaral e Danilo Dutra, que foram fundamentais na execução do projeto.

A Vânia e Dona Socorro, pessoas que tornaram os dias no PPGCS mais leves, fáceis e prazerosos.

A Cíntia Gouveia, pela amizade, atenção, ensinamentos e carinho.

Aos meus pais Darci Pedro de Souza (in memoriam) e Maria José de Souza. Palavras não descrevem minha infinita gratidão.

A minha irmã(e) Keila Lidiana de Souza, por todo carinho, amor e amizade.

A todos da minha família que contribuíram incessantemente com a minha formação. Vocês merecem e têm a minha eterna gratidão. Sempre reconhecerei.

A Clara Coralina, minha gratidão a você está gravada no coração!

A Marina Oliveira, minha filha, meu amor. O meu mundo azul foi ficando aos poucos cor de rosa quando um pedacinho de gente (...) 🎵

Ceguei até aqui graças à contribuição de cada um de vocês. A força que vocês me deram me fez chegar a caminhos inimagináveis.

Vocês têm minha eterna gratidão!!

“Sábio é o homem que chega a ter consciência da sua ignorância”

Aparício Fernando de Brinkerhoff Torelly (Barão de Itararé)

Qualidade do solo submetido a diferentes formas de uso e manejo no Cariri Paraibano

RESUMO

Os solos da região semiárida atravessam um processo de degradação natural, mas potencializado por ação de natureza antrópica. Contudo, percebe-se a dificuldade para mensurar/quantificar essa degradação, tendo como base um índice padrão de qualidade. Com isso, objetivou-se gerar um Índice de Qualidade do Solo (IQS) quando submetido a diferentes formas de uso, integrando atributos físicos, químicos e biológicos no Cariri paraibano, em Taperoá-PB. Foram escolhidas quatro áreas que estavam sendo submetidas a diferentes formas de uso: capim-tifton irrigado, palma forrageira, capim-buffel de sequeiro e mata ciliar. Foram coletadas nove amostras compostas de solo em cada forma de uso do solo, na camada superficial (0-20 cm), para serem avaliados atributos químicos, físicos e biológicos. Os atributos químicos avaliados foram: pH, CE, PST, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , (H + Al), SB, T, V, Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^+ , Zn^+ e B. Os atributos físicos avaliados foram: areia grossa, areia fina, silte, argila, densidade do solo, densidade de partículas, argila dispersa em água, grau de floculação, grau de dispersão, índice de estabilidade de agregados, agregados maiores que 2 mm, porosidade total, diâmetro médio poderado, diâmetro médio geométrico, macroagregados (MacroA, mesoagregados e microagregados). Os atributos biológicos avaliados foram: carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana do solo, nitrogênio da biomassa microbiana do solo, relação carbono/nitrogênio da biomassa microbiana, respiração basal do solo, quociente metabólico e quociente microbiano. Os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-wilk e de homogeneidade das variâncias com teste de Levene. Após uma análise prévia notou-se a necessidade de análise paramétrica como ANOVA e teste Tukey. Realizou-se análise de componentes principais (CP) e estabeleceu-se o IQS para todas as áreas com os diferentes usos do solo, considerando isoladamente os atributos químicos, físicos e biológicos, além do estabelecimento do IQS considerando todos os atributos de forma conjunta. Foi gerada também uma classificação para o IQS, atribuindo-se interpretações como baixo, médio e alto. O IQS foi mais influenciado por atributos físicos, principalmente aqueles que são mais diretamente impactados pelos atributos químicos, como os indicadores de salinidade (CE, PST e Na^+). Enquanto que o IQS foi mais dependente da estruturação e grau de dispersão do solo. As áreas ocupadas por capim-buffel e palma forrageira apresentaram IQS iguais e superiores a 0,9, respectivamente. A área irrigada com capim-tifton apresentou o menor IQS, sugerindo que essas áreas em solos do semiárido sejam monitoradas adequadamente, principalmente pela qualidade química da água utilizada na irrigação, atrelando-se a um bom manejo de matéria orgânica. Em todas as áreas, os atributos biológicos pouco influenciaram o IQS, sugerindo que o uso de matéria orgânica seja condicionante obrigatória, para qualquer que seja o uso do solo no semiárido. A avaliação conjunta dos atributos químicos, físicos e biológicos reflete melhor o “status” do solo e é mais apropriada para o estabelecimento de seu índice de qualidade, sugerindo que esses atributos sejam interpretados de forma contextualizada, para uma mais adequada avaliação do uso do solo. O IQS de todas as áreas com seus diferentes usos foi considerado alto, quando se avaliou conjuntamente os atributos químicos, físicos e biológicos, sugerindo que os usos estão sendo adequados no ambiente estudado, desde que seja observada as recomendações de manejo de matéria orgânica, recomendada para esses ambientes semiáridos de forma contínua e dinâmica.

Palavras-chave: Semiárido. Capim-tifton. Palma forrageira. Capim-buffel. Atributos do solo. Índice de qualidade do solo.

Soil quality subjected to different forms of use and management in Cariri Paraibano

ABSTRACT

The soils of the semi-arid region are going through a process of natural degradation, but enhanced by human action. However, it is difficult to measure/quantify this degradation, based on a standard quality index. With this, the objective was to generate a Soil Quality Index (IQS) when subjected to different forms of use, integrating physical, chemical and biological attributes in Cariri Paraíba, in Taperoá-PB. Four areas were chosen that were being subjected to different forms of use: irrigated Tifton grass, forage cactus, rainfed buffel grass and riparian forest. Nine composite soil samples were collected from each form of land use, in the surface layer (0-20 cm), to evaluate chemical, physical and biological attributes. The chemical attributes evaluated were: pH, EC, PST, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , (H + Al), SB, T, V, Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mn^+ , Zn^+ and B. The physical attributes evaluated were: coarse sand, fine sand, silt, clay, soil density, particle density, clay dispersed in water, degree of flocculation, degree of dispersion, aggregate stability index, aggregates greater than 2 mm, total porosity, average diameter, average diameter geometric, macroaggregates (MacroA, mesoaggregates and microaggregates). The biological attributes evaluated were: total organic carbon, soil microbial biomass carbon, soil microbial biomass nitrogen, microbial biomass carbon/nitrogen ratio, soil basal respiration, metabolic quotient and microbial quotient. The data were subjected to the Shapiro-Wilk normality test and homogeneity of variance tests with Levene's test. After a preliminary analysis, the need for parametric analysis such as ANOVA and Tukey test was noted. Principal component analysis (PC) was carried out and the IQS was established for all areas with different land uses, considering chemical, physical and biological attributes separately, in addition to establishing the IQS considering all attributes together. A classification was also generated for the IQS, assigning interpretations as low, medium and high. The IQS was most influenced by physical attributes, especially those that are more directly impacted by chemical attributes, such as salinity indicators (EC, PST and Na^+). While the IQS was more dependent on the structure and degree of soil dispersion. The areas occupied by buffel grass and cactus presented IQS equal to and greater than 0.9, respectively. The area irrigated with tifton grass presented the lowest IQS, suggesting that these areas in semi-arid soils are adequately monitored, mainly due to the chemical quality of the water used in irrigation, linked to good management of organic matter. In all areas, biological attributes had little influence on the IQS, suggesting that the use of organic matter is a mandatory condition for whatever land use in the semi-arid region. The joint assessment of chemical, physical and biological attributes better reflects the "status" of the soil and is more appropriate for establishing its quality index, suggesting that these attributes be interpreted in a contextualized way, for a more adequate assessment of land use. The IQS of all areas with their different uses was considered high, when the chemical, physical and biological attributes were jointly evaluated, suggesting that the uses are being adequate in the studied environment, as long as the organic matter management recommendations are observed, recommended to these semi-arid environments in a continuous and dynamic way.

Keywords: Semi-arid. Tifton grass. Fodder palm. Buffel grass. Soil attributes. Soil quality index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização simplificado do município de Taperoá-PB.....	28
Figura 2 - Temperaturas máximas e mínimas médias no município de Taperoá-PB, entre os anos de 1940 e 2023.....	29
Figura 3 - Probabilidade diária de precipitação em Taperoá-PB, entre os anos de 1940 e 2023.....	29
Figura 4 - Chuva média mensal em Taperoá-PB, entre os anos de 1940 e 2023.....	30
Figura 5 - Fotografias (A, B e C) e localização geográfica (D) (Google Eart Pro) da área de cultivo de capim-tifton irrigado na fazenda Jataí, vinculada a fazenda Carnaúba, Taperoá-PB.....	31
Figura 6 - Fotografias (A, B e C) e localização geográfica (D) (Google Eart Pro) da área de palma forrageira, na Fazenda Carnaúba, Taperoá-PB.....	32
Figura 7 - Fotografias (A, B e C) e localização geográfica (D) (Google Eart Pro) da área de cultivo de capim buffel, na fazenda Carnaúba, Taperoá-PB.....	33
Figura 8 - Fotografias (A, B e C) e localização geográfica (D) (Google Eart Pro) da área de mata ciliar, na Fazenda Carnaúba, Taperoá-PB.....	34
Figura 9 - Distância entre as áreas de capim tifton irrigado (A), palma forrageira (PA), cappim buffel (C) e mata ciliar (MC) de áreas amostradas na Fazenda Carnaúba, município de Taperoá-PB.....	35
Figura 10 - Carbono orgânico total do solo (COT) em áreas sob diferentes usos [capim-tifton irrigado (CI), palma forrageira (PA), capim-buffel de sequeiro (CB) e mata ciliar (MC)] na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB. Médias das áreas comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,005$).....	47

Figura 11 - Respiração basal do solo (RBS) (A), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) (B), nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N-BMS) (C) e relação carbono/nitrogênio da biomassa microbiana do solo (C-BMS/N-BMS) (D) em áreas sob diferentes usos [capim-tifton irrigado (CI), palma forrageira (PA), capim-buffel de sequeiro (CB) e mata ciliar (MC)] na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB. Médias das áreas comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,005$).....48

Figura 12 - Quociente metabólico (qCO_2) (A) e quociente microbiano ($qMiC$) (B) em áreas sob diferentes usos [capim-tifton irrigado (CI), palma forrageira (PA), capim-buffel de sequeiro (CB) e mata ciliar (MC)] na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB. Médias das áreas comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,005$).....49

Figura 13 - Biplot dos atributos dos solos sob diferentes usos [capim-tifton irrigado (CI), palma forrageira (PA), capim-buffel de sequeiro (CB) e mata ciliar (MC)] na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB. Atributos químicos: Soma de bases (SB); Acidez potencial ($H + Al$); Capacidade de Troca de Cátions (T); Condutividade elétrica (CE); Saturação por Bases (SB); e Percentagem de Na trocável (PST). Atributos físicos: Areia grossa (AreiaG); Areia fina (AreiaF); Argila dispersa em água (ADA); Grau de floculação (GF); Grau de dispersão (GD); Densidade do solo (D_s); Densidade de partículas (D_p); Porosidade total (Pt); Diâmetro médio ponderado (DMP); Diâmetro médio geométrico (DMG); Porcentagem de agregados maiores que 2 milímetros estáveis em água (AGRI); Índice de estabilidade de agregados (IEA); Macroagregados (MacroA); Mesoagregados (MesoA); e Microagregados (MicroA). Atributos biológicos: Carbono orgânico total (COT); Respiração basal do solo (RBS); C da biomassa microbiana do solo (C-BMS); N da biomassa microbiana do solo (N-BMS); Relação C/N da biomassa microbiana do solo (C/N-BMS); Quociente microbiano do solo ($qMiC$); e Quociente metabólico do solo (qCO_2).....52

Figura 14 - Dendograma dos diferentes usos do solo [capim-tifton irrigado (CI), palma forrageira (PA), capim-buffel de sequeiro (CB) e mata ciliar (MC)] na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB.....53

Figura 15 - Índice de Qualidade do Solo (IQS) de atributos químicos (A) (Fe^{2+} e Cu^{2+} disponíveis), atributos físicos (B) [porosidade total (Pt), areia grossa (AreiaG), índice de estabilidade de agregados (IEA), grau de dispersão (GD) e mesoagregados (MesoA)] e atributos biológicos (C) [C da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e quociente microbiano do solo (qMIC)] em áreas sob diferentes usos (capim-tifton irrigado, palma forrageira, capim-buffel de sequeiro e mata ciliar) na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB. Médias das áreas comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,005$).....54

Figura 16 - Índice de Qualidade do Solo (IQS) considerando o conjunto de todos os atributos químicos, físicos e biológicos [(Ca^{2+} e Cu^{2+} disponíveis), areia grossa (AreiaG), areia fina (AreiaF), índice de estabilidade de agregados (IEA), grau de dispersão (GD), mesoagregados (MesoA) e C da biomassa microbiana do solo (C-BMS)] em áreas sob diferentes usos (capim-tifton irrigado, palma forrageira, capim-buffel de sequeiro e mata ciliar) na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB. Médias das áreas comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,005$).....55

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Localização geográfica e classes de solos das áreas de capim-tifton, palma forrageira, capim-buffel e Caatinga ciliar na fazenda Carnaúba, município de Taperoá-PB.....36
- Tabela 2** - Atributos químicos, físicos e biológicos escolhidos na análise de componentes principais (ACP) que apresentaram cargas fatoriais elevadas.....39
- Tabela 3** - Esforço amostral para cada área sob diferentes usos [capim-tifton irrigado (CI), palma forrageira (PA), capim-buffel de sequeiro (CB) e mata ciliar (MC)], coeficiente de variação médio ($CV_{\text{médio}}$) dos atributos químicos, físicos e biológicos e número de amostras (N) necessárias para comparar os diferentes usos do solo na Fazenda Carnaúba, Taperoá/PB..41
- Tabela 4** - Atributos químicos dos solos sob diferentes usos (capim-tifton irrigado, palma forrageira, capim-buffel de sequeiro e mata ciliar) na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB.....43
- Tabela 5** - Atributos físicos dos solos sob diferentes usos (capim-tifton irrigado, palma forrageira, capim-buffel de sequeiro e mata ciliar) na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB.....45
- Tabela 6** - Correlação entre os componentes principais (CP1 e CP2) e os atributos químicos, físicos e biológicos dos solos sob diferentes usos (capim-tifton irrigado, palma forrageira, capim-buffel de sequeiro e mata ciliar) na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB.....50
- Tabela 7** - Classificação do Índice de Qualidade do Solo (IQS) dos atributos químicos, físicos, biológicos e quando considerados todos os atributos de maneira geral em áreas sob diferentes usos (capim-tifton irrigado, palma forrageira, capim-buffel de sequeiro e mata ciliar) na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB.....56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CI - Capim-tifton irrigado

CB - Capim buffel

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

Eutrófico - Apresenta alta fertilidade

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MC - Mata ciliar

Semiárido - Uma das variações do clima tropical. É tipicamente quente e seco, apresentando longos períodos de estiagens. As chuvas geralmente ocorrem entre os meses de janeiro e maio.

SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

PA - Palma forrageira

PPGCS - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

qCO₂ - Quociente metabólico

qMIC - Quociente microbiano

SUDENE - Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

UFRPE - Universidade Federal Rural de Pernambuco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Hipóteses	19
1.2. Objetivos	19
1.2.1 Objetivo Geral	19
1.2.2 Objetivo Específicos	19
2. REVISÃO DE LITERATURA	20
<i>2.1 Degradação dos solos</i>	20
<i>2.2 Degradação dos solos através da avaliação de seus atributos físicos, químicos e biológicos</i> ..	22
<i>2.3 Desenvolvimento de um índice de qualidade do solo (IQS)</i>	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	28
3.2 GEOLOGIA E CLASSES DE SOLOS DO MUNICÍPIO DE TAPEROÁ	30
3.3 COMPOSIÇÃO DAS ÁREAS AMOSTRAIS	31
3.4 ÁREAS AMOSTRADAS	31
3.4.1. <i>Área de capim-tifton irrigado</i>	31
3.4.2. <i>Área de palma forrageira</i>	32
3.4.3. <i>Área de capim-buffel</i>	33
3.4.4. <i>Área de mata ciliar</i>	34
3.5 Amostragem das áreas	36
3.6 Análises químicas	37
3.7 Análises físicas	37
3.8 Análises biológicas	38
3.9 Determinação do Índice de Qualidade do Solo (IQS)	38
3.10. Suficiência amostral	40
3.11 Análises estatísticas	41
4. RESULTADOS	42
5. DISCUSSÃO	57
6. CONCLUSÕES	67
9. REFERÊNCIAS	68

1. INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro (SB) ocupa aproximadamente 12% do território nacional, com população em torno de 30 milhões, onde 62% reside em zona urbana e 38% em zona rural, caracterizando-se como um dos semiáridos mais populosos do mundo (IBGE, 2021). A área ocupada pelo SB é de, aproximadamente, 1.128.697 km², abrangendo todos os estados do Nordeste e uma parte do estado de Minas Gerais (SUDENE, 2017), tendo como principal bioma a Caatinga.

A Caatinga no Nordeste do Brasil é usada por muitas propriedades rurais como suporte forrageiro para criação de bovinos, ovinos e caprinos. A vegetação também é usada como fonte energética, para o funcionamento de fornos de cerâmicas e padarias, além do uso para produção de carvão. Diante da incapacidade de fornecer alimentos o ano todo para os rebanhos, o sertanejo começou a plantar suas fontes de forragem (SOARES; SILVA; LIMA et al., 2020), com o escopo de obter segurança alimentar para os rebanhos ao longo do ano.

No entanto, essa mudança de uso de solo, para implantação de culturas para suporte forrageiro, causa mudanças pouco estudadas e esclarecidas, sob o ponto de vista de degradação ou conservação do solo, como a palma forrageira, além de outras forrageiras, como capins tolerantes a estiagem, que são comumente utilizados no semiárido.

Contudo, como enfatizaram Albuquerque e Andrade (2002), nessa área há uma associação direta com improdutividade, que precisa ser desmistificada e estudada, uma vez que uma das principais fontes de renda da população é a agricultura, que é subdesenvolvida em função do clima e solo (NEVES et al., 2023). Todavia, por ser o berço de parte expressiva da população do Brasil, torna-se cada vez mais necessário o desenvolvimento de estudos dos seus solos (SILVA et al., 2011a).

Como o fenômeno de desertificação que ameaça à região é um problema sério, que o Nordeste do Brasil enfrenta, o que compromete os serviços ecossistêmicos de seus solos, provocando efeitos negativos sobre a segurança alimentar e gerando pobreza, refletindo na qualidade da sociedade inserida nesse espaço (VIEIRA et al., 2021; LINS et al., 2023; LUCENA, 2023), torna-se necessária a geração de conhecimento sobre seus recursos naturais, como por exemplo, seus solos e diferentes sistemas de uso e manejo.

Por isso, os solos do semiárido brasileiro, inseridos nesse contexto, acabam passando pelos efeitos deletérios impostos pela condição de semiaridez, além de terem sido submetidos a intensas mudanças nos últimos 40 anos, que são agravados pelo fato de apresentar chuvas

torrenciais, concentradas e com distribuição desuniforme (SILVA et al., 2020b; OLIVEIRA et al., 2021).

Ademais, o uso e manejo inadequado dos solos faz com que haja perdas irreparáveis, pois, camadas férteis são perdidas, ano após ano, em virtude da adoção de manejos considerados impróprios para o tipo de solo, como por exemplo, a irrigação, ocasionando o depauperamento das terras, impulsionando processos como compactação, aceleração de processos erosivos, assim como, perda de sua fertilidade natural (PEREZ-MARIN et al., 2012).

Além disso, os solos são, em sua maioria, essencialmente, rasos e pedregosos, fator que prejudica substancialmente o estabelecimento da Caatinga, assim como, a avaliação dessas terras, fazendo, com isso, que sejam pertinentes estudos que direcionem formas de uso e gestão adequada dos solos (SILVA et al., 2020c).

Assim, como forma de avaliar o uso e manejo adequado do solo, utiliza-se indicadores de qualidade do solo, que são ótimas ferramentas utilizadas para medir o status ambiental ou a funcionalidade do ecossistema (SILVA et al., 2020c), em decorrência da variação dos atributos do solo, sejam eles de natureza física, química e/ou biológica, facilitando o monitoramento das áreas (PEREZ-MARIN et al., 2022). É possível também, estabelecer-se a geração de um Índice de Qualidade do Solo (IQS), que é uma forma contextualizada de avaliar a sustentabilidade do uso do solo.

Por isso, a avaliação dos atributos físicos, químicos e biológicos, separadamente ou em conjunto, são essenciais para o entendimento do “status” do solo, para nortear o agricultor acerca da qualidade e funcionalidade de seu solo. Adicionalmente, a avaliação do uso, manejo e da qualidade do solo por meio de indicadores é uma ótima ferramenta para mensurar o limite de cada solo, assim como, uma forma de nortear quais medidas são mais adequadas para serem adotadas, em caso de degradação do ecossistema solo (SILVA et al., 2020c).

Contudo, a seleção desses indicadores não pode ser estabelecida de forma aleatória, uma vez que os atributos escolhidos para serem analisados têm que ser condizentes com a finalidade de uso que é proposta para cada tipo de solo, pois pode variar de acordo com cada ambiente (BARBOSA; OLIVEIRA, 2022), pois ainda não há um modelo que alie a complexidade e abrangência, mas que seja de fácil aplicabilidade para avaliar os danos ambientais (LAURENTIIS et al., 2019).

Diante do exposto, esse estudo tem como objetivo avaliar as diferentes formas de uso e manejo do solo e gerar um Índice de Qualidade do Solo (IQS) quando submetido a diferentes formas de uso no Cariri paraibano, integrando atributos físicos, químicos e biológicos.

1.1 HIPÓTESES

1.1.1 Os solos do semiárido submetidos ao uso e manejo inadequados estão sendo degradados, refletindo essa degradação em seus atributos físicos, químicos e biológicos;

1.1.2 A avaliação conjunta de atributos físicos, químicos e biológicos são as melhores formas de representar o “status” do solo submetidos a diferentes formas de uso e manejo e conversão;

1.1.3 O Índice de Qualidade do Solo é uma ferramenta adequada para gerar conhecimento sobre solos sob diferentes formas de uso e manejo no Cariri Paraibano.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo geral

1.2.1. Avaliar a qualidade do solo submetido a diferentes formas de uso e manejo agrícola no Cariri Paraibano.

1.2.2 Objetivos específicos

1.2.3. Avaliar atributos físicos dos solos de áreas utilizadas com capim-tifton, palma forrageira, capim-buffel e uma área de referência sob mata ciliar de Caatinga.

1.2.4. Avaliar atributos químicos dos solos de áreas utilizadas com capim-tifton, palma forrageira, capim-buffel e uma área de referência sob mata ciliar de Caatinga.

1.2.5. Avaliar atributos biológicos dos solos de áreas utilizadas com capim-tifton, palma forrageira, capim-buffel e uma área de referência sob mata ciliar de Caatinga.

1.2.6. Selecionar os principais atributos químicos, físicos e biológicos a serem utilizados como indicadores de qualidade dos solos submetidos a diferentes usos e manejos agrícolas no Cariri paraibano.

1.2.7. Agrupar as áreas segundo os atributos químicos, físicos e biológicos do solo.

1.2.8. Gerar um IQS, avaliando conjuntamente os atributos físicos, químicos e biológicos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DEGRADAÇÃO DOS SOLOS

As terras aráveis são o berço de sustentação agrícola no mundo. Apesar da avaliação global da degradação das terras ser um tema insuficientemente entendido (PRAVALIE et al., 2021a), a pegada espacial de degradação mundial gera informações importantes, uma vez que dá um parecer sobre a situação global dos solos, como aridez, supressão de vegetação, diminuição do estoque de carbono e erosão, percebendo-se que em uma perspectiva global que a terra está passando por processos múltiplos de degradação.

Ressalta-se que a degradação do solo não está apenas diretamente relacionada ao uso para atividades agrícolas, para produção de culturas e outros tipos de biomassa, mas, também, indiretamente, com outros usos, como uso urbano, industrial e mineração (SINGH et al., 2022). Esses e outros conjuntos de atividades acabam gerando efeitos muitas vezes nocivos aos solos, quase sempre difíceis de serem mitigados.

Em função disso, entender o funcionamento do solo mundial e se o seu uso está enveredando para o caminho da degradação ou preservação é importante para a criação de políticas ambientais internacionais. A exemplo, o carbono orgânico do solo, que é um bom indicador crítico de terras saudáveis e férteis (PRAVALIE et al., 2021b), ainda é um assunto pouco quantificado, mas o entendimento sobre esse elemento é crucial para estudos relacionados a mitigação de efeitos nocivos da mudança climática (GEORGIU et al., 2022).

A sobrevivência do homem e a vida está intrinsecamente relacionada com os solos (OLIVEIRA SILVA et al., 2021). Mais de 90% alimentos consumidos pela população têm origem nos campos férteis ao longo do mundo. O restante, menos de 10%, é retirado do mar. Então, constata-se que o entendimento da “camada exuberante da Terra”, como consideram os estudiosos da Ciência do Solo, seja de suma importância para a sobrevivência dos mais de 8 bilhões de pessoas que existem no mundo.

Os solos existentes no Brasil, em sua maioria, são substancialmente ácidos, devido as intensas chuvas que no país. Essas chuvas acabam retirando ao longo do perfil as bases (Ca, Mg, K etc.) do solo, tornando-os ácidos devido ao intenso intemperismo, comum em condições tropicais (VINHA et al., 2021), fazendo-os, muitas vezes, impróprios para a prática da agricultura, caso não haja aplicação de nenhum condicionador.

Existem também problemas relacionados a poluição dos solos em virtude de atividades correlatas a mineração, onde há descarte e/ou exposição de metais pesados, que são altamente deletérios ao homem e ao meio como um todo, como relatam (SOUSA et al., 2021a) ao

destacarem o perigo de contaminantes provenientes de atividades industriais nas comidas, sobretudo folhosas.

Expressiva parte dos solos do Nordeste apresentam problemas relacionados com a salinização, uma vez que em parte considerável da região há elevada evapotranspiração, superior à taxa de precipitação, propiciando o acúmulo de sais, devido à falta de lixiviação desses ao longo do perfil, tornando muitas vezes difícil e dispendioso o cultivo (DANTAS et al., 2023; BARRETO et al., 2023).

Mais precisamente no semiárido nordestino, os solos apresentam de moderado a intenso nível de degradação, sobretudo em função da desertificação, uma vez que as atividades econômicas desempenham papel fundamental nesse contexto. No entanto, o uso indiscriminado do solo para durante a adoção das atividades voltadas a pecuária desempenham até hoje em boa parte da área, substancial desgaste do solo, uma vez que a pecuária se sobressaiu em relação à agricultura (SAMPAIO; MENESES, 2002).

Os solos possuem marcas decorrentes dos tipos de atividades que são geradas em cada região. No semiárido, por exemplo, atividades econômicas que geraram e geram expressiva destruição em maior ou menor grau do recurso solo, estão voltadas ao setor ceramista, agricultura e pecuária, entre outras menos expressivas. Nessa região, há predominância de solos rasos e pouco desenvolvido, ocorrendo em maior representatividade Luvisolos, Neossolos Litólicos e Planossolos, com base no Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (OLIVEIRA et al., 2009).

Devido ao processo de desertificação, fenômeno caracterizado pela perda da capacidade produtiva, em função do mau uso, acarreta problemas sérios, como a erosão, impulsionando problemas mais severos (BARBOSA NETO et al., 2020). Ademais, quando a taxa de degradação supera a taxa de regeneração do bioma Caatinga, dificilmente poderá ocorrer recomposição do bioma, potencializando o processo de desertificação, sobretudo em terras secas (MELONI et al., 2019; SIMPLÍCIO et al., 2020).

Com base em Tomasella et al. (2018) faz-se necessário estudos e monitoramento de solos recorrentes em ambientes secos, pois facilitam a tomada de decisão em relação ao uso e manejo, enfocando sobretudo no manejo ambiental sustentável, para tentar reverter a degradação gerada durante mais de cinco séculos, com atividades como ovinocultura, criação bovina, agricultura e desmatamento, para retirada de lenha (MENEZES et al., 2012), além de irrigação e uso intenso das terras em algumas regiões.

Ressalta-se que nesses ambientes semiáridos, devido à falta recorrente de água, a má distribuição das chuvas, somados ao fato de uso de água com elevado índice salino em sistemas

de irrigação, faz com que ocorram efeitos deletérios nos atributos do solo, tornando-os mais propensos a degradação e diminuição de sua capacidade de uso, como concordam (SOUSA et al., 2021b) ao avaliarem diferenças nos atributos de solos irrigados e não irrigados em campos de produção agrícola no semiárido.

Mudanças no carbono orgânico do solo e na comunidade microbiana, também são verificadas em solos do semiárido (SOUSA et al., 2022c), devido as áreas irrigadas, uma vez que há acúmulos de sais no solo, devido à alta evapotranspiração, limitando a rendimento das culturas implantadas no semiárido (VENÂNCIO et al., 2022), sendo esses fatores elencados como problemas recorrentes em solo de clima semiárido (OLIVEIRA et al., 2016).

No Estado da Paraíba, onde há ampla variabilidade de solos, desde solos bem desenvolvidos, como Latossolos, a solos jovens, como Neossolos litólicos, mais precisamente no Cariri, região conhecida pelo fato do processo de degradação atuar de forma mais intensa, em função do avanço da desertificação, há predominância de Luvisolos, Neossolos e Planossolos (MACEDO et al., 2021), sendo esses caracterizados por possuírem pouca profundidade e alta susceptibilidade a erosão, devido a chuvas torrenciais.

Por serem solos que possuem certa fragilidade, faz-se necessário conhece-los bem, pois é um recurso que está intimamente ligado com a sobrevivência do homem, pois, além de ser solos representativos do Estado, como os Luvisolos, que representa aproximadamente 26% dos solos da região paraibana, o seu depauperamento tem relação direta com a sua forma de uso e manejo que têm implicação direta sobre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo (JACOMINE, 1996; SARAIVA et al., 2020).

2.2 DEGRADAÇÃO DOS SOLOS ATRAVÉS DA AVALIAÇÃO DE SEUS ATRIBUTOS FÍSICOS, QUÍMICOS E BIOLÓGICOS

Realizar estudos que abranjam o funcionamento do solo como um todo e as formas de uso que mantenham o solo sustentável, é uma questão crítica que precisa ser debatida para manter a produção viável (GOWTHAMCHAND et al., 2023). Atividades agrícolas muitas vezes acabam causando efeitos negativos no solo, em função da degradação de suas propriedades, alterando de forma prejudicial seu funcionamento, pois o solo atua como uma engrenagem, mantendo o equilíbrio do ecossistema. Práticas como uso indiscriminado, sem nenhuma adoção de manejo correto, acabam degradando sobremaneira os solos, como atestam Agbeshie et al. (2023), ao relatarem os danos causados pelo fogo, nas propriedades do solo, devido a combustão da matéria orgânica.

É oportuno salientar que há pouquíssimos estudos que avaliam os efeitos causados pela supressão da vegetação nativa para implantação de plantas forrageiras, como a palma e diversas variedades de capins que são comumente utilizados na caatinga. Com isso, não é sabido ao certo até que ponto essa prática danifica ou contribui para que haja preservação ou degradação dos recursos naturais, como os solos.

Ações antrópicas desregulam sobremaneira o funcionamento dos solos da Caatinga, pois possuem alta capacidade de tornar os solos improdutivos, pois seus atributos, principalmente aqueles relacionados diretamente com sua fertilidade, são degradados (REZENDE et al., 2022). Ademais, ainda segundo esses mesmos autores, os solos da Caatinga possuem baixa capacidade de regeneração, devido as condições climáticas desfavoráveis e aos solos serem poucos desenvolvidos, o que torna o tema preocupante, pois o solo é crucial para o funcionamento do planeta (LEAL FILHO et al., 2023).

Como forma de mensurar os efeitos deletérios do uso desenfreado dos solos, pesquisadores corroboram que a avaliação dos atributos químicos, físicos e biológicos são as melhores variáveis a serem estudadas, pois estas refletem diretamente as condições e os reflexos de ações antrópicas sobre o solo, instantaneamente após uma degradação ou ao longo dos anos. Muitos atributos são usados como importantes indicadores de qualidade do solo, como é o caso do carbono orgânico do solo (ENCHILIK et al., 2023), quando se fala de análise de apenas um componente. Contudo, para análises mais abrangentes, os atributos físicos, químicos e biológicos são importantes.

Por isso, análises de componentes principais ACP, além de análises relacionadas a fertilidade química, como: pH; acidez potencial (H+Al); Al trocável; condutividade elétrica (CE); Ca, Mg, Na e K trocáveis; P disponível; matéria orgânica do solo (MOS); capacidade de troca de cátions (CTC), saturação por bases (V); e saturação por alumínio (m) fornecem uma noção básica dos atributos químicos do solo, uma vez que o uso inadequado, além das condições inerentes ao material de origem, pode alterar as condições químicas, muitas vezes gerando situações discrepantes, que prejudicam o estabelecimento e o desenvolvimento da vegetação.

As propriedades químicas desempenham um papel crucial na funcionalidade do solo (ELKHLIFI et al., 2023), por isso uma gama de materiais é adicionada aos solos com o objetivo de manter sua fertilidade, pois o cultivo produtivo de alimentos está baseado em solos agrícolas (GERKE, 2022). A retenção de nutrientes e disponibilidade de nutrientes, além de fornecimento de macro e micronutrientes são de fundamental importância para manter a fertilidade dos solos adequada.

Porem, sabe-se que não é necessário que haja apenas fertilidade química, para as culturas desempenharem seu potencial agrônomo de crescimento, desenvolvimento e produção. Atributos relacionados a física do solo também são primordiais para o funcionamento adequado do mesmo. Atributos como densidade e textura do solo influenciam de forma expressiva o crescimento das raízes, como por exemplo. Informações relacionadas a compactação podem mudar decisivamente a adoção de práticas de manejo em determinada área (GUBIANI; REICHERT; REINERT, 2012).

Conceitualmente, a qualidade física do solo é capacidade do mesmo fornecer condições adequadas para o crescimento e desenvolvimento das plantas, alinhados com a sustentabilidade do ecossistema. A qualidade física do solo também reflete de forma singular o funcionamento do solo, pois as trocas gasosas, fornecimento de nutrientes e crescimento adequado das raízes, só são possíveis se houver qualidade física do solo (AUGUSTO et al., 2022).

A densidade do solo, argila dispersa em água, umidade volumétrica, grau de floculação, grau de dispersão, entre outros, são atributos que são alterados devido ao uso não conservacionista do solo, uma vez que a fertilidade física também é levada em consideração para que haja produção de qualidade, uma vez que a sustentação da produção, entre outros fatores, está relacionada a esses atributos (RAMOS et al., 2019; BARBOSA et al., 2020; POLICH et al., 2023).

Adicionalmente, mais variáveis são usadas para avaliar a qualidade do solo, como a estrutura e a presença de microorganismos (VARGAS et al., 2023). Isoladamente, os atributos biológicos são os que mais evidenciam mudanças no solo, em função das alterações provocadas pelas diferentes formas de uso e manejo, como também mudanças relacionadas a época do ano, como período de chuvas e período de estiagem, uma vez que, juntamente com os demais atributos, refletem a qualidade do solo (RAIESE; SALEK-GILAN, 2020; LIMA et al., 2021; PINHEIRO-JÚNIOR et al., 2022).

Uma vez que a avaliação dos atributos do solo é uma ótima ferramenta para prever os possíveis efeitos de adoção de determinada prática de manejo, os atributos biológicos são importantes, pois os microrganismos fazem parte de uma série de funções do solo, como na ciclagem de nutrientes e na decomposição da matéria orgânica (FITZSIMONS; MILLER, 2010; MUNIZ et al., 2011; ZHOU; WANG; LUO, 2016; JANSSON; HOFMOCKEL, 2020).

Os microrganismos têm crucial importância nas atividades do solo, podendo atuar como fonte ou sumidouro dos gases de efeito estufa (GEE). Mas a degradação das terras em função do uso inadequado, desertificação e degradação, fazem com que os solos percam a diversidade

e a capacidade de tamponar os danos ambientais cada vez mais recorrentes no dia a dia (JANSSON; HOFMOCKEL, 2020).

2.3 DESENVOLVIMENTO DE UM ÍNDICE DE QUALIDADE DO SOLO (IQS)

O desenvolvimento de um índice de qualidade de solos do semiárido é de fundamental importância por causa da criticidade dos solos secos, devido as suas formas de uso e manejo em ecossistemas do semiárido e, a depender da atividade e mudança, pode ajudar os gerenciadores da fazenda a evitar mudanças desastrosas no uso da terra, uma vez que o uso inadequado pode gerar mudanças irreversíveis nos atributos do solo (O'SULLIVAN et al., 2015; SAFAEI et al., 2019).

Índices de qualidade do solo (IQS) é uma forma de avaliação integrada que pode ser utilizada para avaliação do solo, a partir da sintetização de dados (YU et al., 2018), utilizada para avançar no monitoramento prático da qualidade dos solos (REZAPOUR et al., 2021), que pode ser utilizado para avaliação de áreas com diferentes usos e vegetação (LI et al., 2018), gerando resultados confiáveis e precisos para que haja uma correta tomada de decisão sobre o tipo de uso de cada área.

Para desenvolver um IQS é necessário que se use parâmetros qualitativos e quantitativos, a fim de gerar um índice que servirá de referência. Apesar da abstratividade, por não haver valores exatos e precisos, como há para qualidade da água e do ar, por exemplo, serve de base para o desenvolvimento e popularização de índices, uma vez que o desenvolvimento de métodos é desafiador (MELLONI et al., 2008).

Devido a demanda pela geração de índices de qualidade nos últimos anos, sobretudo com escopo de sustentabilidade ambiental e agrícola (ALVARENGA et al., 2012), há um esforço multidisciplinar com o objetivo de coletar dados de atributos, gerando e comparando índices (MUKHERJEE; LAL, 2014), tornando a mensuração mais fácil (FREITAS et al., 2012), uma vez que de posse dos dados e informações torna-se mais fácil o entendimento sobre os reais efeitos sobre o solo.

O IQS é um dos principais indicadores de áreas, que possuem níveis de degradação e que passam por processos de desertificação (TURAN; DENGIZ; OZKAN, 2019). Ademais, segundo os autores supracitados, alterações e degradações no solo prejudicam substancialmente o seu funcionamento, refletindo na perda expressiva nos serviços ecossistêmicos que são fornecidos naturalmente pelos solos de todo o mundo.

Abdel-Fattah et al. (2021) enfatizam a importância de avaliar conjuntamente o solo para o desenvolvimento de agricultura de precisão, uma vez que o uso do solo requer informações

concisas acerca da área e de seus atributos. Ainda segundo os mesmos autores, a avaliação do IQS é oportuna e usual para a adoção de práticas sustentáveis de manejo de solo, no contexto geral de uso.

Os índices gerados através da avaliação conjunta dos atributos dos solos, são usados para prever, por meio de valores numéricos, as mudanças que estão ocorrendo no solo, devido a perturbação antrópica ou natural, direta e indiretamente a capacidade correta de funcionamento do solo (RIBEIRO et al., 2022), podendo ser usado em ambientes com variadas formas de uso e manejo florestas (FREITAS et al., 2012).

Nos últimos anos observou-se crescente evolução pelo interesse em gerar informações que dessem uma visão mais integrada sobre a qualidade do solo nos países tropicais, por influência das pesquisas realizadas em solos de clima temperado. A partir da década de noventa observou-se a necessidade de criar uma visão mais holística, que não estivesse focada somente na erosão, como forma de degradação (KARLEN; DITZLERB; ANDREWS, 2003).

Ainda com base nos autores supracitados, esse debate está atrelado ao fato da multifuncionalidade do solo e também devido a sua grande variação entre eles, chegando a concepção que não existe uma medida única e sempre útil para avaliar a qualidade do solo. Diante dos fatos, mostrou-se necessário entender mais sobre qualidade do solo, como o “solo estava funcionando”, mesmo sendo impossível avaliar todos os parâmetros, fez-se necessário gerar uma visão mais ampla do funcionamento (LOPES et al., 2022).

Os conceitos e concepções que foram criados ao longo do tempo com o escopo de melhor definir o que realmente seria qualidade do solo, esbarraram na abstratividade do tema, chegando a dividir a comunidade científica do solo (LETEY et al., 2003), uma vez que há várias “formas de entendimento” sobre o assunto, como definiram Gregorich et al. (1997), sobre qualidade do solo como sendo a aptidão que cada corpo desempenha para a realização de determinada função/uso.

Este fato está atrelado substancialmente a cada concepção social e cultural que determinada população, meio e sociedade têm do solo. Desenvolver um conceito sobre qualidade do solo é uma tarefa de alguns pesquisadores há algum tempo (KARLEN, 1993; KARLEN; STOTT, 1994; KARLEN et al., 1997; SOJKA; UPCHURCH, 1999), que sugeriram que qualidade do solo seria nada mais que sua capacidade de sustentar plantas e animais dentro do ecossistema, melhorar a qualidade do ar e da água e servir como suporte para o homem.

Ademais, a ciência do solo, em sua maioria, é feita com uma visão positivista, que usa sobremaneira dados quantitativos, sem que haja envolvimento direto do agricultor como ator e

também responsável do processo decisório, mostrando mais uma vez que a concepção pode e varia de acordo com a forma e uso (CASALINHO et al., 2007).

Mas para saber de fato sobre a qualidade do solo, fez-se necessário elencar alguns indicadores para uso e base, pois a identificação de indicadores de qualidade do solo é válido para a avaliação da progressão da recuperação da qualidade do solo, pois a geração da concepção quantitativa sobre o termo está diretamente ligada a escolha de parâmetros (MUKHOPADHYAY et al., 2019).

A identificação de indicadores de qualidade do solo é de substancial importância para a avaliação da progressão da recuperação da qualidade do solo, pois a geração do índice está diretamente ligada a escolha de parâmetros, sendo essencial para o sucesso na recuperação de áreas degradadas (MUKHOPADHYAY et al., 2019).

Não existe um sistema único para avaliar a qualidade do solo (SOTO, PADILLA; VENTE, 2020), por ser uma designação funcional e não poder ser mensurada diretamente no campo (STOCKING, 2003), mas que pode ser inferido a partir dos atributos do solo (DIACK; STOTT, 2001). Por isso observa-se que há um contrassenso dos pesquisadores de Ciência do Solo sobre qualidade do solo, indicadores fórmulas e conceitos, uma vez que varia substancialmente devido a área de concentração de cada pesquisador (VEZANNI; MIELNICZUK, 2009).

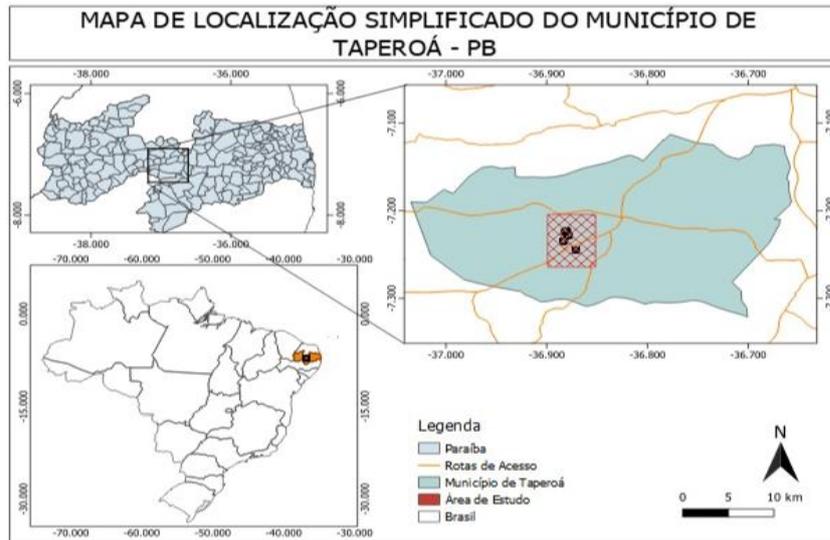
Entretanto a maioria dos pesquisadores e cientistas corroboram com o fato de que a avaliação dos atributos físicos, químicos e biológicos (ARSHAD; COEN, 1992; DORAN; PARKIN, 1994; KENNEDY; PAPENDICK, 1995; SCHOENHOLTZ, MIEGROET; BURGER, 2000; CARNEIRO et al., 2009; GOMIDE, SILVA; SOARES, 2011; DELGADO; GÓMEZ, 2016; ASSIS et al., 2019; SOTO et al., 2020; HERENCIA, et al., 2021; SHOKR et al., 2021) são os mais indicados, ou os que melhor refletem o sistema solo, dando suporte para identificar como o solo está se comportando, sendo necessário que haja uma avaliação conjunta desses parâmetros, para que gere uma informação mais integrada (CUNHA et al., 2012).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

As áreas amostradas pertencem a Fazenda Carnaúba, localizada no Semiárido paraibano, na mesorregião da Borborema e microrregião do Cariri Ocidental, situada no município de Taperoá-PB (FARIAS et al., 2021) (Figura 1).

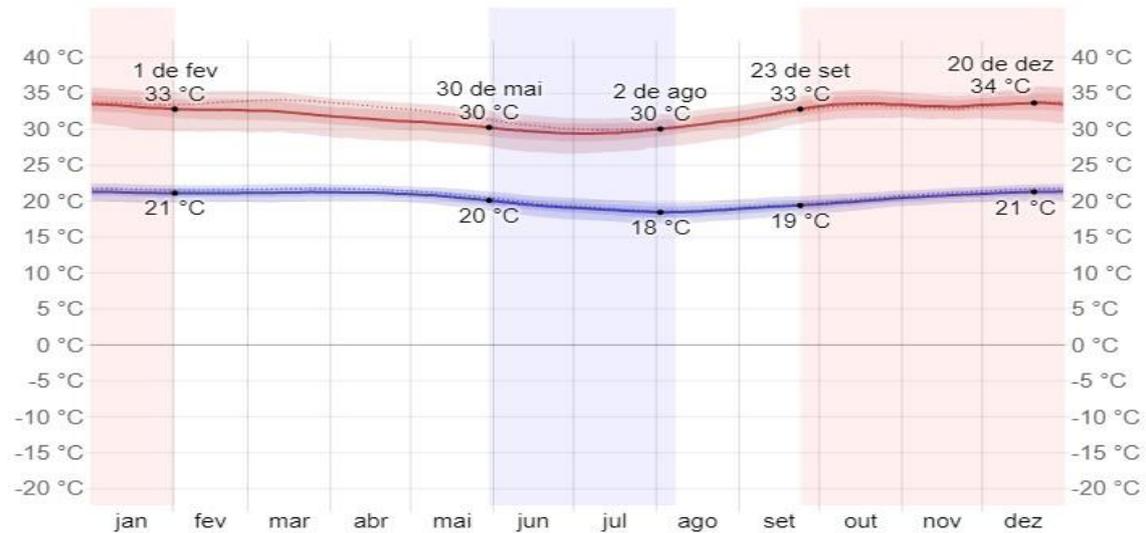
Figura 1 - Mapa de localização simplificado do município de Taperoá-PB.



Fonte: Autor.

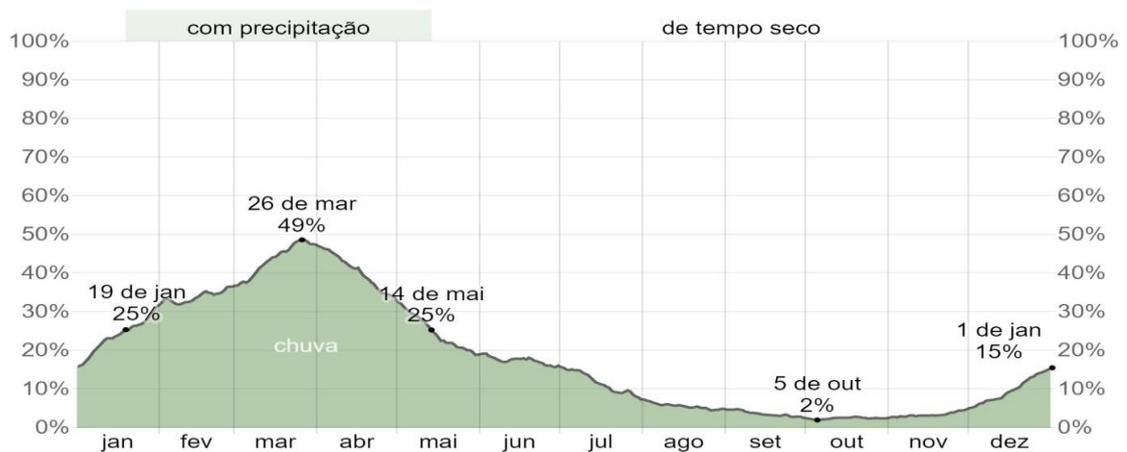
O município de Taperoá-PB está localizado na região central do Estado da Paraíba possuindo as coordenadas $07^{\circ}12'23''$ S e $36^{\circ}49'25''$ W, temperatura anual média de $25,9^{\circ}\text{C}$ (Figura 2), precipitação pluviométrica em torno de 500 mm ano^{-1} (Figura 4) e vegetação do tipo hiperxerófila (IBGE, 2018). O clima da região é do tipo BSh Semiárido, com base na classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013).

Figura 2 - Temperaturas máximas e mínimas médias em Taperoá-PB, entre os anos de 1940 e 2023.



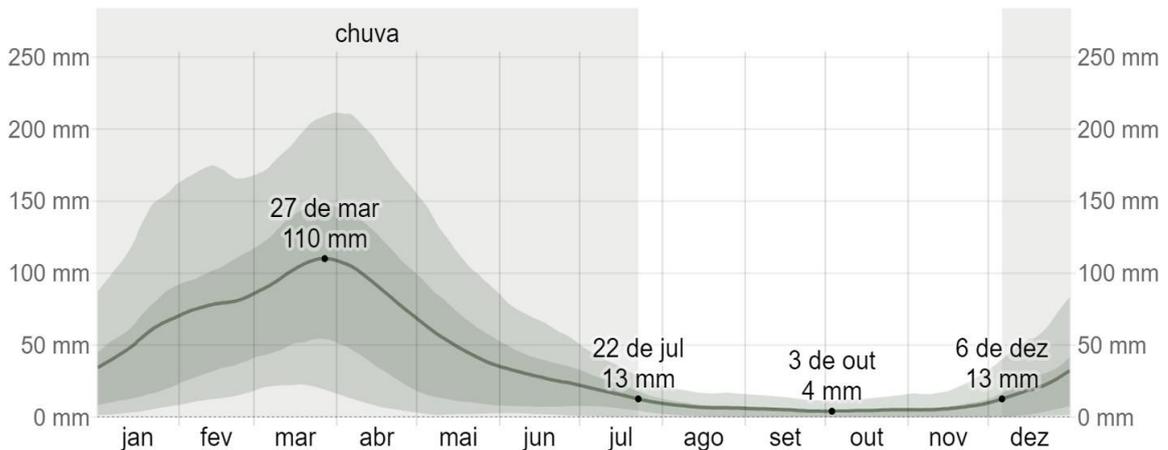
Fonte: <https://pt.weatherspark.com/y/31277/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Tapero%C3%A1-Brasil-durante-o-ano#Figures-Temperature>.

Figura 3 - Probabilidade diária de precipitação em Taperoá-PB, entre os anos de 1940 e 2023.



Fonte: <https://pt.weatherspark.com/y/31277/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Tapero%C3%A1-Brasil-durante-o-ano#Figures-PrecipitationProbability>.

Figura 4 - Chuva média mensal em Taperoá-PB, entre os anos de 1940 e 2023.



Fonte: <https://pt.weatherspark.com/y/31277/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Tapero%C3%A1-Brasil-durante-o-ano#Figures-Rainfall>.

3.2 GEOLOGIA E CLASSES DE SOLOS DO MUNICÍPIO DE TAPEROÁ

A geologia da Paraíba é formada pela Província Geotectônica da Borborema (PGB), além da Província Costeira, em menor parte, sendo essa denominação usada inicialmente por Almeida et al. (1981). Osako et al. (2011) relataram que a PGB é resultante do rompimento entre os continentes Sul-Americano e Africano, tendo em ambas as partes vestígios de estruturas tectônicas em grande profundidade.

O Estado da Paraíba está sobre o embasamento cristalino pré-cambriano, em sua maioria, e também sobre os sedimentos do Grupo Paraíba (FURRIER; ARAÚJO; MENESES, 2006). Em função de sua rica geologia, o Estado da Paraíba permite a exploração de uma variada gama de minerais, que vão desde os não-metálicos aos metálicos, como caulim, feldspato, titanita e zircão.

O município de Taperoá está sobre a PGB, que é constituída por rochas ígneas e metamórficas (SANTOS et al., 2002a) e rochas sedimentares, nas áreas próximas aos rios (DUARTE, 2008). Os solos que ocorrem na região são pouco desenvolvidos, rasos, de baixa fertilidade natural e pedregosos, importante para estudos relacionados ao estresse hídrico nas plantas e secas prolongadas (SILVEIRA et al., 2018). O fator climático é fundamental para a gênese dos solos do Semiárido do Nordeste, uma vez que o lento intemperismo químico associado a erosão intensa, chuvas curtas e altas temperaturas, dificultam a formação de camadas espessas de solo, formando solos pouco desenvolvidos (CORREIA et al., 2019).

Devido às características climáticas da região, comumente ocorrem Luvissolos, Neossolo Litólico, Neossolo Regolítico, Cambissolo, Planossolo e Vertissolo (BRASIL, 1972;

DUARTE, 2008), que são solos que possuem a sua constituição química basicamente igual ao material de origem, em função do baixo grau de intemperismo (CORRÊA et al., 2019).

3.3 COMPOSIÇÃO DAS ÁREAS AMOSTRAIS

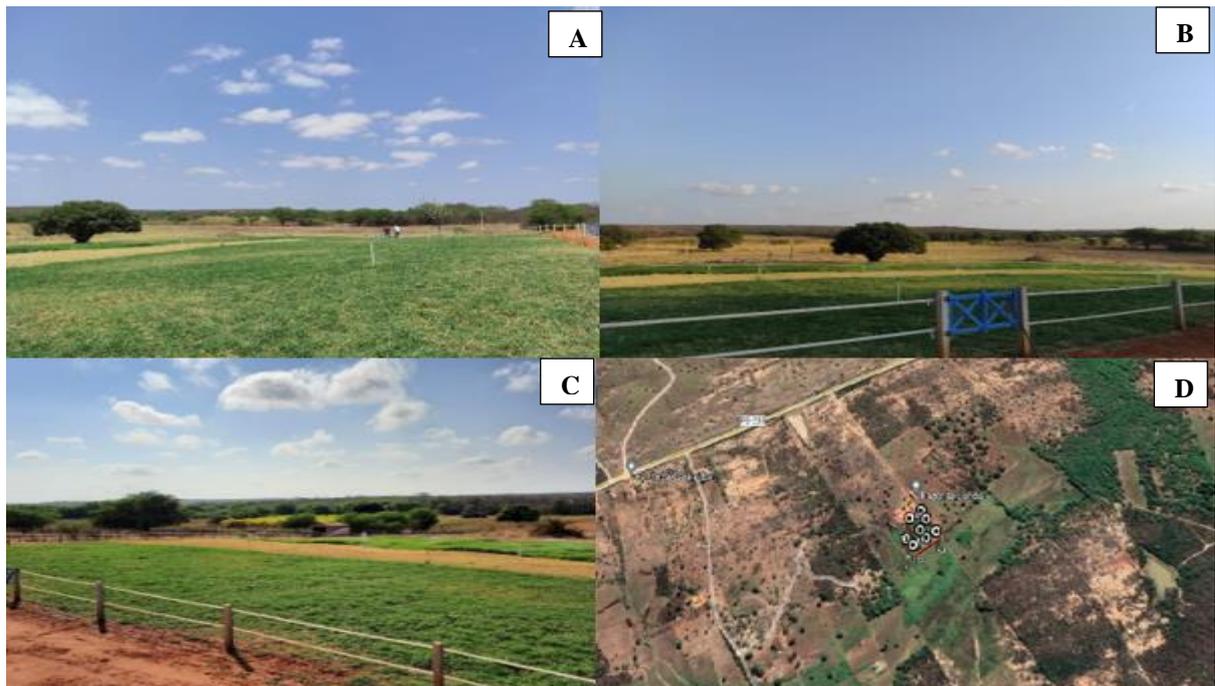
As áreas onde os solos foram coletados é formada por diferentes formas de uso do solo, como: Capim-tifton irrigado (CI); Palma forrageira (PA); Capim-buffel (CB); e mata ciliar (MC), que foi utilizada como área de referência do estudo. As áreas amostradas e seus diferentes usos foram escolhidas com base em sua representatividade na fazenda Carnaúba, potencial de produção e importância econômica para a região.

3.4 ÁREAS AMOSTRADAS

3.4.1. Área de capim-tifton irrigado

Essa área estava sendo cultivada com capim-tifton irrigado e possuía aproximadamente 1,5 ha em uso intensivo. A forragem é usada para produção de feno, importante fonte forrageira para os criadores da região, com resultados expressivos da utilização dessa forragem para a fazenda Jataí, pertencente ao complexo da fazenda Carnaúba (Figura 5).

Figura 5 - Fotografias (A, B e C) e localização geográfica (D) (Google Eart Pro) da área de cultivo de capim-tifton irrigado na fazenda Jataí, vinculada a fazenda Carnaúba, Taperoá-PB.



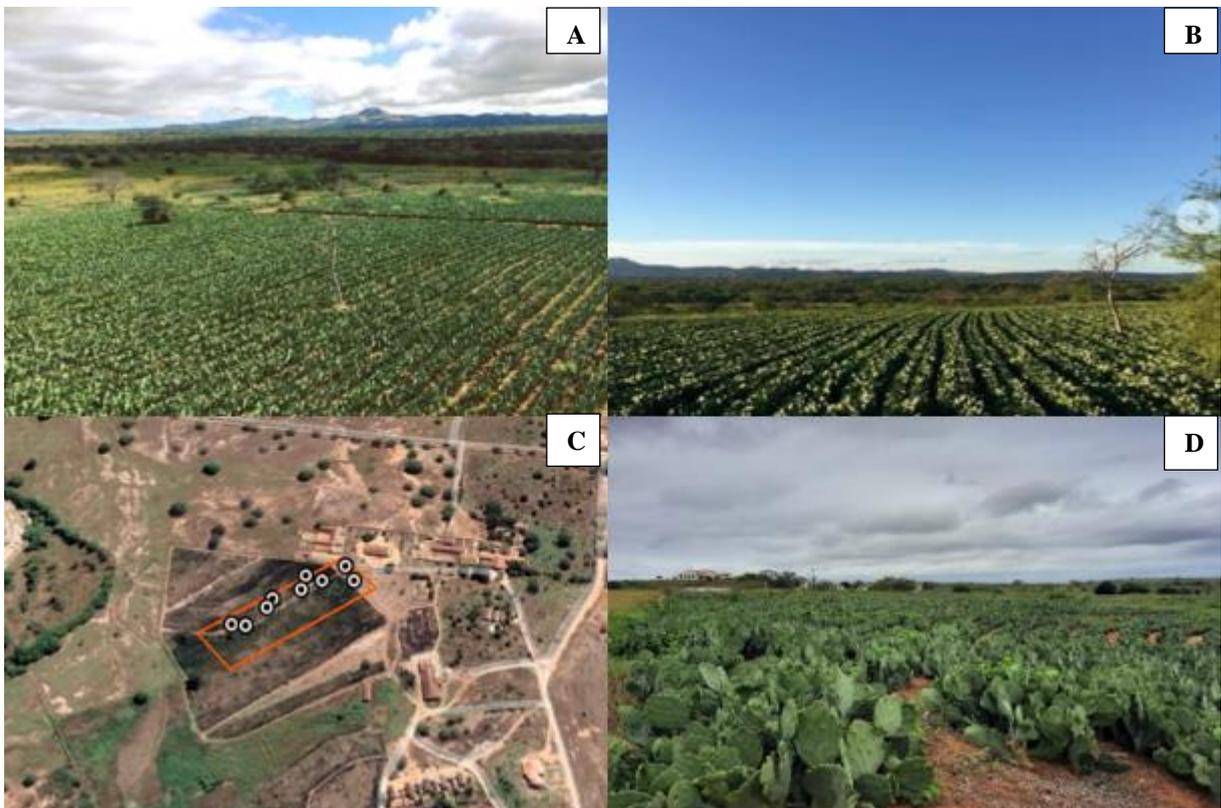
Fonte: Fotos A, B e C, o autor; foto D, Google Eart Pro.

Desde 2018 a área é cultivada com capim-tifton irrigado. A cada 45 dias é produzido aproximadamente 2,1 Mg ha⁻¹ de feno. A cada novo ciclo de produção a área é adubada com 175 kg de ureia, para suprir a alta demanda de N nesse tipo de pastagem. A área é irrigada com 10 mm dia⁻¹, usando sistema de microaspersão. A água utilizada apresenta uma concentração de sais que varia de acordo com o período do ano, sendo de 1000 a 4000 mS/m entre os períodos úmidos e secos, respectivamente.

3.4.2. Área de palma forrageira

Essa área estava sendo cultivada com palma forrageira e possuía aproximadamente 6,0 ha. Essa é uma das principais fontes de alimento para o rebanho do semiárido. Muito versátil e de fácil cultivo, a palma se tornou referência para o produtor, em função de sua baixa necessidade de tratos culturais, baixo consumo de água, e excelente potencial produtivo, sobretudo nas condições do semiárido (Figura 6).

Figura 6 - Fotografias (A, B e D) e localização geográfica (C) (Google Eart Pro) da área de cultivo de palma forrageira, na fazenda Carnaúba, Taperoá-PB.



Fonte: Fotos A, B e D, o autor; foto C, Google Eart Pro.

Desde 2018 a área é cultivada com palma forrageira, com produção média anual de 360 Mg ha⁻¹. Quando as condições climáticas estão mais favoráveis a fazenda produz até 600 Mg ha⁻¹. A palma é de extrema importância para suprir a demanda de minerais, cálcio, magnésio e

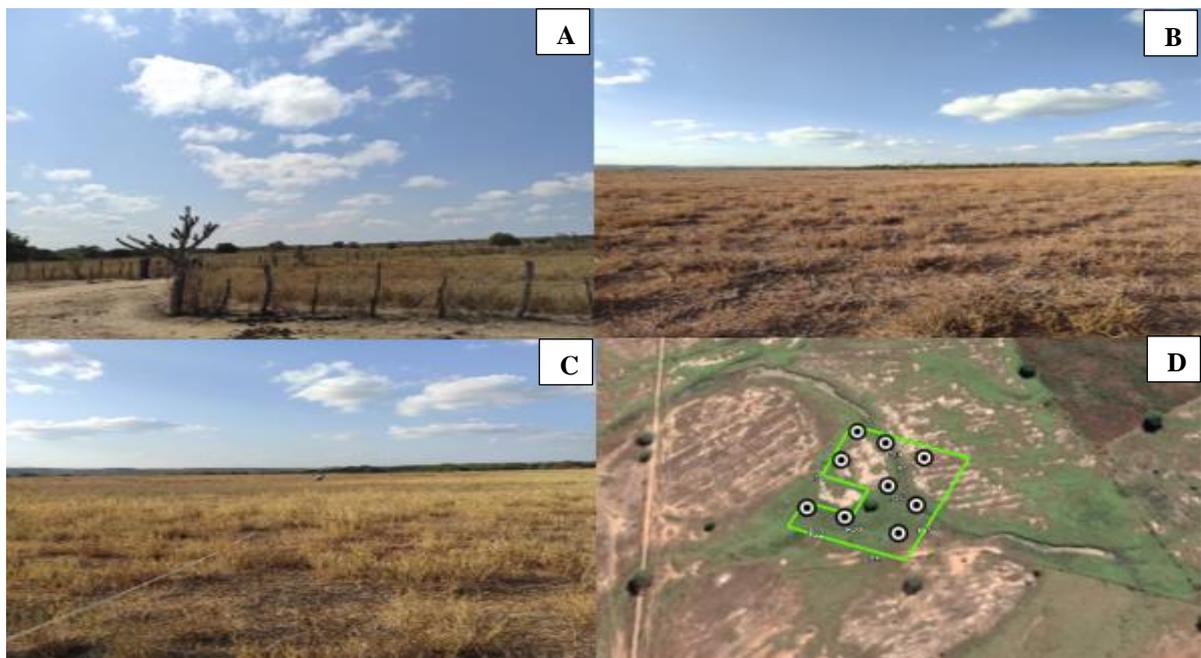
potássio e carboidratos totais, além de conter grande quantidade de água em seus tecidos, o que faz com que a demanda por água pelos animais não seja tão intensa. Em média, produz 1 kg de matéria seca para um consumo de 100 e 150 litros de água, enquanto que as gramíneas gastam aproximadamente 250 litros de água, para produzir 1 kg de matéria seca (LARCHER, 1986).

Quanto ao manejo empregado no cultivo da palma forrageira, utilizou-se aração e gradagem da área. É usado 500 kg/ha/ano⁻¹ de superfosfato simples como adubação de fundação, no ato do plantio, mais 500 kg/ha/ano de KCl, como adubação de cobertura. Quanto a adubação orgânica, usa-se esterco de gado, em torno de 10 Mg ha⁻¹. Não há uso de irrigação, sendo a cultura cultivada essencialmente na forma de sequeiro. Usa-se o herbicida tebuthiuron para combater as plantas invasoras pré-emergentes.

3.4.3. Área de capim-buffel

Essa área possui 64 ha plantados com capim-buffel. Essa forrageira é de grande valia para o produtor, uma vez que a cultura implantada é tolerante a estiagem, tem excelente potencial forrageiro, produz adequadamente em condições de semiárido (FIGUEIREDO et al., 2022), além de sua ampla adaptabilidade e resistência ao pisoteio (SANTOS et al., 2021b), tornando-a resiliente e atrativa ao produtor (Figura 7).

Figura 7 - Fotografias (A, B e C) e localização geográfica (D) (Google Eart Pro) da área de cultivo de capim-buffel na fazenda Carnaúba, Taperoá-PB.



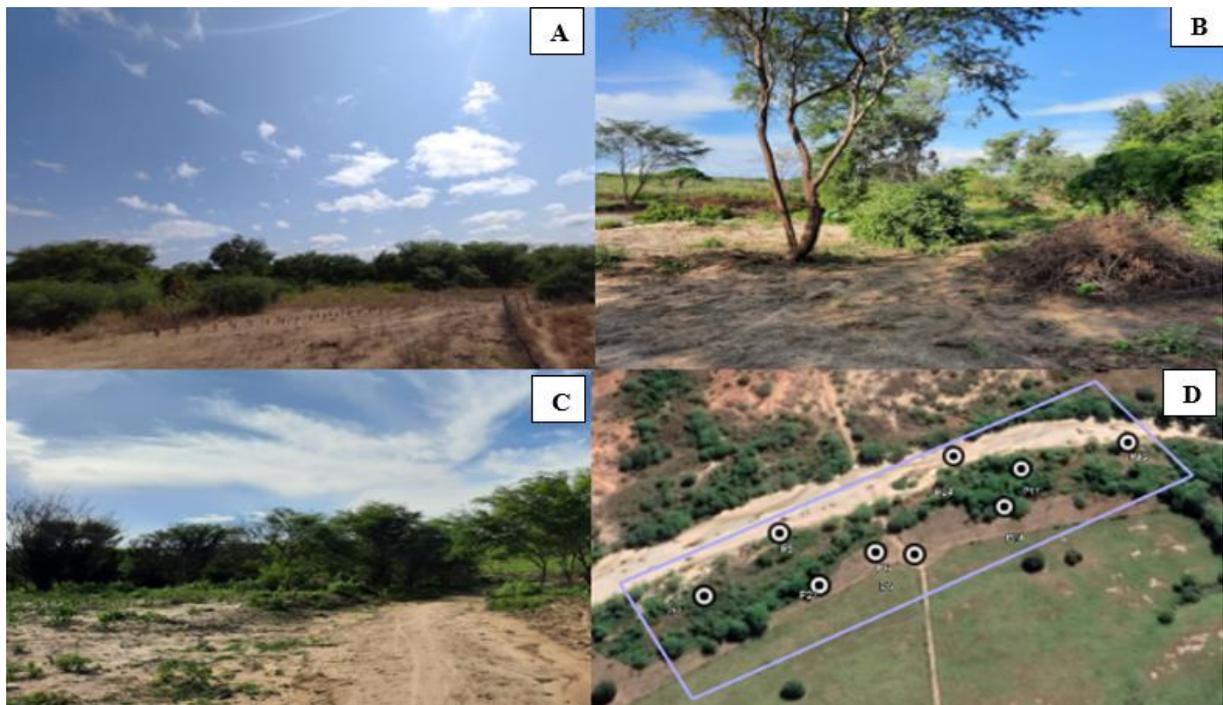
Fonte: Fotos A, B e C, o autor; foto D, Google Eart Pro.

Desde 1974 a área é cultivada com capim-buffel. Não é adotado nenhum tipo de manejo no cultivo da forrageira. Não é feita aração, gradagem, adubação ou irrigação, ao longo dos anos. A área é cultivada com a gramínea há mais de 30 anos, sendo considerada uma ótima fonte de forragem para o rebanho, no período de estiagem.

3.4.4. Área de mata ciliar

Essa área é formada de mata ciliar porque ocorre nas margens de um rio intermitente (Rio Taperoá). Por se tratar de uma região semiárida, o fluxo de água nesse rio não ocorre de maneira perene, e as maiores concentrações de água ocorrem nos meses de janeiro a maio, no período das chuvas (Figura 8).

Figura 8 - Fotografias (A, B e C) e localização geográfica (D) (Google Eart Pro) da área de Caatinga ciliar na fazenda Carnaúba, Taperoá-PB.



Fonte: Autor.

Não há nenhuma forma de cultivo na área. Plantas invasoras foram retiradas para que houvesse o estabelecimento de apenas plantas nativas, que recuperam a área, e que servem de mata ciliar, combate a erosão e protegem o rio. Plantas nativas, como craibeiras (*Tabebuia aurea*), angico (*Anadenanthera colubrina*), umburana (*Commiphora leptophloeos*), favela (*Cnidoscolus quercifolius*), mulungu (*Erythrina verna*), algarobas (*Prosopis juliflora*), oiticicas (*Licania rígida*), jurema (*Mimosa tenuiflora*) e gramíneas ocupam espontaneamente a área.

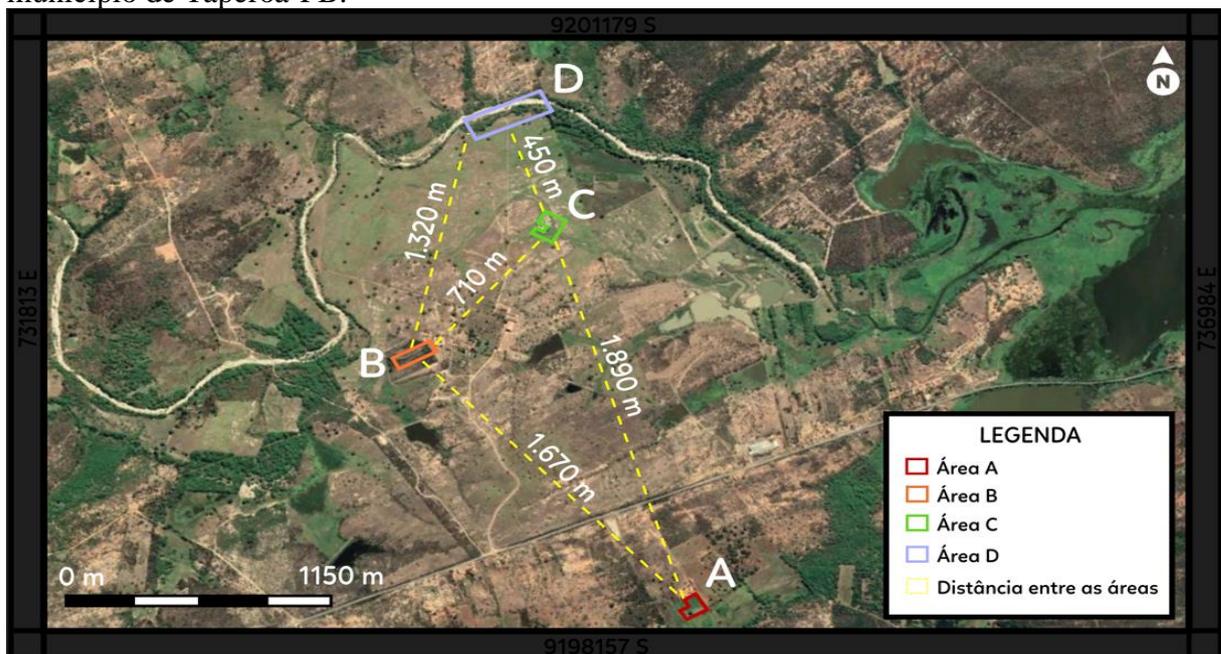
Nas áreas ocupadas por capim-tifton irrigado, palma forrageira, capim-buffel e mata ciliar predominam solos da Ordem dos Luvisolos Crômicos Órticos, que são recorrentes em

parte expressiva de toda a fazenda Carnaúba. Os Luvissoles Crômicos Órticos, são solos minerais, não hidromórficos, com B textural e argila de atividade alta, e são caracterizados por possuírem cores bastante fortes, como amarelo ou vermelho. Por apresentarem caráter eutrófico (alta saturação por bases), favorecem o enraizamento das culturas. Outro ponto a ser destacado, é a presença de minerais facilmente intemperizáveis, que servem como reserva de nutrientes para as plantas.

Os Luvissoles ocorrem em regiões de clima semiárido e caracterizam-se por apresentar restrição hídrica, com mudança textural abrupta, não possuindo profundidade superior a 1 m, e são bastante pedregosos, o que dificulta a mecanização (SANTOS, 2018). Isso é muito importante na hora de avaliar as áreas, uma vez que as diferentes mudanças no uso do solo, ocorreram sob uma mesma ordem de solos, podendo resultar em alterações completamente diferentes.

Buscou-se agrupar áreas representativas, dentro e/ou próximas da Fazenda Carnaúba, para avaliar de forma fidedigna a interferência das diferentes formas de uso do solo nas condições de semiárido. A figura abaixo mostra a distância exata entre cada área avaliada, de forma total e representativa, as áreas avaliadas (figura 9), usando o QGIS, que permite gerar informações geográficas de dados georreferenciados.

Figura 9 - Distância entre as áreas de capim tifton irrigado (CI) (A), palma forrageira (PA) (B), cappim buffel (CB) (C) e mata ciliar (MC) (D) de áreas amostradas na Fazenda Carnaúba, município de Taperoá-PB.



Fonte: Autor.

3.5 Amostragem das áreas

Para a realização da amostragem dos solos, foram feitas coletas das amostras em zigue-zague, distanciando aproximadamente 15 m entre cada ponto, em grid, de aproximadamente 100 metros, em cada área amostrada. Em cada uma das quatro áreas representativas foram 3 amostras simples, para formar uma amostra composta, para cada um dos nove pontos amostrados em cada área, coletadas a uma profundidade (0 – 20 cm), formando um total de 36 pontos amostrais. Os diferentes usos do solo com culturas de enraizamento pouco profundo e a área de referência de Caatinga rala não justificavam um aprofundamento da amostragem.

Considerou-se que a influência dos diferentes usos do solo pouco interveriria nas camadas mais subsuperficiais. Em ambientes semiáridos de solos rasos, os teores de carbono são muito baixos, após 20 cm de profundidade, pouco alterando, portanto, atributos químicos, físicos e microbiológicos do solo (ARAÚJO FILHO et al., 2018).

Para o georreferenciamento das áreas foi utilizado o Sistema de Posicionamento Global (GPS). As coordenadas geográficas foram usadas para mapeamento do solo, para um detalhamento mais preciso em relação a ordem de solo de cada área amostrada, com base no Mapa de Solos do Brasil (Tabela 1).

Tabela 1 - Localização geográfica e classes de solos das áreas de capim-tifton, palma forrageira, capim-buffel e Caatinga ciliar na fazenda Carnaúba, município de Taperoá-PB.

Área	Coordenadas	Classificação do Solo
Capim-tifton irrigado (Altitude média 520 m)		
A1	7°14'39.19" S 36°52'13.39" O	Luvissole Crômico Órtico
A2	7°14'40.16" S 36°52'12.55" O	Luvissole Crômico Órtico
A3	7°14'39.19" S 36°52'13.39" O	Luvissole Crômico Órtico
A4	7°14'41.24" S 36°52'11.98" O	Luvissole Crômico Órtico
A5	7°14'41.01" S 36°52'13.61" O	Luvissole Crômico Órtico
A6	7°14'41.24" S 36°52'11.98" O	Luvissole Crômico Órtico
A7	7°14'42.84" S 36°52'14.15" O	Luvissole Crômico Órtico
A8	7°14'42.35" S 36°52'14.93" O	Luvissole Crômico Órtico
A9	7°14'41.30" S 36°52'15.74" O	Luvissole Crômico Órtico
Palma forrageira (Altitude média 525 m)		
B1	7°14'05.57" S 36°52'59.84" O	Luvissole Crômico Órtico
B2	7°14'05.76" S 36°52'59.38" O	Luvissole Crômico Órtico
B3	7°14'04.88" S 36°52'58.59" O	Luvissole Crômico Órtico
B4	7°14'04.56" S 36°52'58.42" O	Luvissole Crômico Órtico
B5	7°14'04.13" S 36°52'57.42" O	Luvissole Crômico Órtico
B6	7°14'03.48" S 36°52'57.19" O	Luvissole Crômico Órtico
B7	7°14'05.57" S 36°52'59.84" O	Luvissole Crômico Órtico
B8	7°14'05.57" S 36°52'59.84" O	Luvissole Crômico Órtico
B9	7°14'05.57" S 36°52'59.84" O	Luvissole Crômico Órtico
Capim-buffel (Altitude média 500 m)		

C1	7°13'42.50"S 36°52'43.15"O	Luvissole Crômico Órtico
C2	7°13'43.01"S 36°52'42.16"O	Luvissole Crômico Órtico
C3	7°13'43.40"S 36°52'40.69"O	Luvissole Crômico Órtico
C4	7°13'42.45"S 36°52'40.34"O	Luvissole Crômico Órtico
C5	7°13'41.72"S 36°52'41.16"O	Luvissole Crômico Órtico
C6	7°13'40.79"S 36°52'42.47"O	Luvissole Crômico Órtico
C7	7°13'39.68"S 36°52'42.00"O	Luvissole Crômico Órtico
C8	7°13'40.08"S 36°52'41.28"O	Luvissole Crômico Órtico
C9	7°13'40.71"S 36°52'40.29"O	Luvissole Crômico Órtico

Caatinga ciliar (Altitude média 490 m)

D1	7°13'22.01"S 36°52'44.63"O	Luvissole Crômico Órtico
D2	7°13'22.88"S 36°52'47.00"O	Luvissole Crômico Órtico
D3	7°13'23.72"S 36°52'47.31"O	Luvissole Crômico Órtico
D4	7°13'22.50"S 36°52'48.55"O	Luvissole Crômico Órtico
D5	7°13'25.11"S 36°52'49.39"O	Luvissole Crômico Órtico
D6	7°13'24.94"S 36°52'50.31"O	Luvissole Crômico Órtico
D7	7°13'26.02"S 36°52'51.33"O	Luvissole Crômico Órtico
D8	7°13'24.81"S 36°52'52.19"O	Luvissole Crômico Órtico
D9	7°13'26.15"S 36°52'53.64"O	Luvissole Crômico Órtico

Fonte: Mapa de Solos do Brasil; Google Earth Pro.

http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3ABrasil_solos_5m_20201104

3.6 Análises químicas

As análises químicas realizadas foram: pH (água) (1:2,5), P (P-Mehlich-1 e P-Resina), Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Na^+ , S, Al^{+3} , (H+Al), CE da pasta saturada, Fe^{+2} , Mn^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} e B. Com os resultados obtidos desses atributos químicos, foram determinados: soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions potencial e efetiva (CTCpotencial e CTCefetiva), saturação por bases (V), saturação por Al (m), percentagem de saturação por Na (PST) e realação de adsorção de Na (RAS). Todas as análises químicas foram realizadas segundo Teixeira et al. (2017).

3.7 Análises físicas

Os atributos físicos determinados foram: areia grossa (AG), areia fina (AF), silte, argila, argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF), grau de dispersão (GD), densidade do solo (Ds) e densidade de partículas (Dp), estabilidade de agregados, por via seca e úmida, diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA), porcentagem de agregados maiores que 2 milímetros estáveis em água (AGRI), macro, meso e microagregados.

A análise granulométrica foi determinada segundo Almeida (2008); A densidade do solo foi determinada pelo método do torrão parafinado, segundo Almeida et al. (2017), como também Pires, Rosa e Timm (2011) e Silva (2022e); A densidade de partículas, argila dispersa

em água, grau de floculação e grau de dispersão, segundo EMBRAPA (2017); A estabilidade dos agregados, segundo Cavalcante (2014); A distribuição dos diâmetros dos agregados foi determinada segundo Kemper & Chepil (1965) e o índice de estabilidade dos agregados, segundo Castro Filho, Muzulli e Podanoschi (1998), com adaptação de Perin et al. (2002); A percentagem de agregados maiores que 2 mm estáveis em água foi estabelecida com base na metodologia proposta por Wendling et al. (2005).

3.8 Análises biológicas

As análises biológicas realizadas foram: carbono orgânico total (COT), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N-BMS), respiração basal do solo (RBS), quociente metabólico (qCO_2), quociente microbiano ($qMIC$) e relação carbono/nitrogênio da biomassa microbiana do solo (C-BMS/N-BMS).

O COT foi determinado pela oxidação da matéria orgânica do solo, com dicromato de potássio $K_2Cr_2O_7$ $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ em meio sulfúrico, como agente oxidante (MENDONÇA; MATOS, 2017). O C-BMS e o N-BMS foram determinados através da metodologia de irradiação – extração, que libera energia eletromagnética, por meio de transferência de energia e pressão, provocando a lise celular, e liberação de compostos de origem intracelular (MENDONÇA; MATOS, 2017). Na determinação do N-BMS utilizou-se o mesmo extrato utilizado para a determinação do C-BMS (MENDONÇA; MATOS, 2017):

A determinação da RBS, tem como objetivo capturar o CO_2 emitido, proveniente de todas as funções metabólicas nas quais se produz CO_2 (SILVA; AZEVEDO; DE-POLLE, 2007d), oriundo da decomposição dos compostos orgânicos. Essa determinação seguiu o protocolo de Mendonça & Matos (2017).

O qCO_2 foi determinado pela razão entre o RBS e C-BMS, ao passo que o $qMIC$ foi determinado pela razão entre C-BMS/COT (ANDERSON; DEMOSCH, 1993; BINI et al., 2014).

3.9 Determinação do Índice de Qualidade do Solo (IQS)

O índice de qualidade do solo (IQS) foi determinado através do uso do conjunto de informações de todos os atributos avaliados, de acordo com a funcionalidade de cada um, tendo como base a análise de componentes principais, tendo como referência adaptações das metodologias Karlen e Stott (1994) e Brejda et al. (2000), seguindo os procedimentos propostos por Cavalcante et al. (2021; 2023).

Inicialmente, 18 atributos químicos, 17 atributos físicos e 7 atributos biológicos do solo, obtidos a partir das áreas avaliadas (CI, PA, CB e MC) foram selecionados. Realizou-se o teste Lilliefors teste ($p < 0,10$), ANOVA) e teste F, quando necessário. A ACP foi determinada com base nas metodologias (BREJDA et al., 2000; SHARMA et al., 2005; MUKHOPADHYAY et al., 2016). Os fatores usados na rotação varimax (MINGOTI, 2007), para facilitar a interpretação (ANDREWS et al., 2002) (Tabela 2).

Tabela 2 - Atributos químicos, físicos e biológicos escolhidos na análise de componentes principais (ACP) que apresentaram cargas fatoriais elevadas.

Atributos do solo		
Químicos	Físicos	Biológicos
Fe	PT	C-BMS
Cu	AreiaG	qMiC
	IEA	
	GD	
	MesoA	

Os atributos selecionados foram calculados conforme equação (ANDRADE et al., 2005):

$$W_i = \frac{F_1 P_{1i} + F_2 P_{2i}}{\sum_{j=1}^n F_1 P_{1j} + \sum_{j=1}^n F_2 P_{2j}}$$

Em que:

W_i = peso relativo do i -ésimo atributo no IQS;

F_{1i} e F_{2i} = autovalor dos componentes principais;

P = carga fatorial rotacional do i -ésimo atributo;

P_j = carga fatorial rotacional do j -ésimo atributo;

i e j = índices dos atributos;

n = número de atributos envolvidos na ACP.

Após a seleção dos atributos, os valores de cada variável foram normalizados por meio de uma padronização relativa para serem incluídos no IQS, sendo transformados em pontuações dos atributos de 0–1, segundo Liebig et al. (2001) e Bhardwaj et al. (2011). Os atributos foram classificados em ordem crescente ou decrescente, dependendo se o maior valor foi considerado prejudicial ou benéfico, respectivamente, às funções do solo.

Para os indicadores “mais é melhor”, “ótimo” e “melhor é melhor” uso-se a metodologia recomendada por Liebig et al. (2001).

O índice de qualidade do solo (IQS) foi determinado pela expressão:

$$IQS = \sum_{i=1}^n (W_i \times S_i)$$

Em que:

IQS = Índice de qualidade do solo e equivale a um número de 0 a 1;

W_i = peso relativo do i-ésimo atributo no IQS (fator de ponderação da ACP);

S_i = pontuação do atributo para a variável i, um número entre 0 e 1.

No modelo, pontuações mais altas no índice indicam melhor qualidade do solo ou maior desempenho da função do solo.

5.10. Suficiência amostral

Para calcular a suficiência amostral de cada área, ou seja, quantas amostras eram necessárias para que se pudesse comparar os diferentes usos do solo, utilizou-se a seguinte expressão, de acordo com Snedecor & Cochran (1967):

$$N = \left(\frac{t_{\alpha} \times CV}{f} \right)^2$$

Em que:

N = Número de amostras;

t_α é o valor t da distribuição de Student para uma probabilidade α (p<0,05) e N-1 graus de liberdade;

CV é o coeficiente de variação do atributo do solo;

e f é o limite de variação em relação à média.

O valor t_{α} para todos os atributos do solo foi 2,306 para 8 graus de liberdade (9 amostras) e probabilidade α ($p < 0,05$). O CV de cada atributo foi calculado e o valor f considerado foi 30% (JAMES; WELLS, 1990). Assim, calculou-se a média dos CVs dos atributos químicos, físicos e biológicos de cada área e aplicou-se a expressão descrita anteriormente para determinar o esforço amostral (Tabela 3).

Tabela 3 - Esforço amostral para cada área sob diferentes usos [capim-tifton irrigado (CI), palma forrageira (PA), capim-buffel de sequeiro (CB) e mata ciliar (MC)], coeficiente de variação médio (CVmédio) dos atributos químicos, físicos e biológicos e número de amostras (N) necessárias para comparar os diferentes usos do solo na Fazenda Carnaúba, Taperoá/PB.

Área	CVmédio (%)/Atributo do solo			N/atributo do solo		
	Químico	Físico	Biológico	Químico	Físico	Biológico
CI	22,60	20,90	22,13	3,00	3,00	3,00
PA	30,31	18,99	38,09	5,00	2,00	9,00
CB	33,65	25,00	39,86	7,00	4,00	9,00
MC	29,91	19,24	34,90	5,00	2,00	7,00

Assim, foi a maior variação dos atributos biológicos que definiu o número de amostras realizadas em todas as áreas (Tabela 3).

Finalmente, o IQS das áreas foi classificado de acordo com as seguintes ponderações, segundo Chaves et al. (2017):

$$\text{IQS} \geq M + 0,5 S = \text{Alta Qualidade}$$

$$M - 0,5 S \leq \text{IQS} < M + 0,5 S = \text{Média Qualidade}$$

$$\text{IQS} < M - 0,5 S = \text{Baixa Qualidade}$$

Em que:

IQS = Índice de qualidade do solo da área, considerando todos os atributos (químicos, físicos e biológicos);

M = Média do IQS, considerando todos os atributos da área;

S = Desvio padrão da média dos IQS, considerando todos os atributos da área.

3.11 Análises estatísticas

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade de Shapiro-wilk e de homogeneidade das variâncias de Levene (SAS, 2002). Após uma análise prévia notou-se que houve a necessidade de análise paramétrica como ANOVA e Teste tukey ($p < 0,05$). Além de testes não paramétricos como o teste kruskal-wallis associado ao teste T com correção bonferrone com auxílio do pacote ExpDes.pt (FERREIRA et al., 2021). Foi realizada também análise de componentes principais (ACP), com o software R e o pacote factoextra (KASSAMBARA; MUNDT, 2020).

4. RESULTADOS

Os atributos químicos foram determinados em todas as áreas com diferentes usos do solo (Tabela 4). Na avaliação dos atributos químicos nas áreas sob usos do solo, os valores do Ca^{+2} não diferiram nas áreas CI, PA e CB, com valores médios de 7,727; 9,203 e 9,381 cmolc dm^{-3} , respectivamente, ao passo que MC apresentou valor de 5,303 cmolc dm^{-3} , inferior as médias encontradas nas áreas de PA e CB (Tabela 4).

Notou-se que Mg^{+2} em CI, PA e CB, com médias de 4,343, 4,891 e 4,304 cmolc dm^{-3} , foram superiores ao Mg de MC com valor de Mg^{2+} de 1,715 cmolc dm^{-3} (Tabela 4). Para o K^{+} , na área de CB e MC com valores de 0,897 e 0,678 cmolc dm^{-3} , mostrou diferença, com valor superior ao encontrado nas áreas de CI e PA, com valores de 0,498 e 0,521 cmolc dm^{-3} , respectivamente.

Para Na^{+} , notou-se que a área que apresentou diferença expressiva entre as áreas avaliadas, foi a área com CI, com valor de 4,259 cmolc dm^{-3} , diferindo de PA, CB e MC, que tiveram valores medianos de 0,193; 0,149 e 0,103 cmolc dm^{-3} , respectivamente (Tabela 4).

O P-Mehlich-1 mostrou semelhança entre as áreas de PA e MC, com valores médios de 105,045 e 106,256 mg dm^{-3} , respectivamente, diferindo de CB e CI, com 51,58 e 24,312 mg dm^{-3} , respectivamente. O P-Resina de PA foi maior, quando comparado as demais áreas, com valor de 102,138, ao passo que CI, CB e MC tiveram valores de 10,204, 38,56 e 42,92 mg dm^{-3} , respectivamente (Tabela 4).

Notou-se que o pH da área CI apresentou diferença estatística, com valor de 8,147, seguido dos valores de 5,503, 6,496 e 6,675 em PA, CB e MC, respectivamente. O Fe^{2+} nas áreas CB e MC apresentaram semelhança estatística, com valores de 100,900 e 97,178 mg dm^{-3} , diferindo de CI e PA, com valores de 46,944 e 69,823, respectivamente (Tabela 4).

O Mn^{2+} em CI e PA apresentaram valores de 115,844 e 158,600 mg dm^{-3} , diferenciando das demais áreas avaliadas, CB e MC com valores de 106,400 e 80,822 mg dm^{-3} , respectivamente. O Cu^{2+} na área PA, com valor mediano de 1,591 mg dm^{-3} , diferiu das demais áreas avaliadas, com 1,138, 1,010 e 0,619 mg dm^{-3} , em CI, CB e MC respectivamente (Tabela 4).

Notou-se que o Zn^{2+} foi mais expressivo na área CB, com 2,254 mg dm^{-3} , quando comparado com as áreas CI, PA e MC, que apresentaram valores de 1,389, 1,422 e 1,764 mg

Tabela 4 - Atributos químicos dos solos sob diferentes usos (capim-tifton irrigado, palma forrageira, capim-buffel de sequeiro e mata ciliar) na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB.

Uso do solo	Atributo químico					
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	P-Mehlich-1	P-Resina
	cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³		
Capim-tifton irrigado (CI)	7,72 ab	4,34 a	0,49 b	4,25 a	24,312b	10,20 b
Palma forrageira (PA)	9,20 a	4,89 a	0,52 b	0,19 b	105,04 a	102,13 a
Capim-buffel sequeiro (CB)	9,38 a	4,30 a	0,89 a	0,14 b	51,58 b	38,56 b
Mata ciliar (MC)	5,30 b	1,71 b	0,67 ab	0,10 b	106,25 a	42,92 b
Pr > F	0,001	<0,0001	0,002	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Uso do solo	pH (água)	Fe ²⁺	Mn ²⁺	Cu ²⁺	Zn ²⁺	B
	(1:2,5)	mg dm ⁻³				
Capim-tifton irrigado (CI)	8,14 a	46,94 b	115,84 ab	1,13 b	1,38 b	1,52 a
Palma forrageira (PA)	5,50 c	69,82 b	158,60 a	1,59 a	1,42 b	0,33 b
Capim-buffel sequeiro (CB)	6,49 b	100,90 a	106,40 b	1,01 b	2,25 a	0,50 b
Mata ciliar (MC)	6,675 b	97,17 a	80,82 b	0,61 c	1,76 ab	0,59 b
Pr > F	<0,0001	<0,0001	0,002	<0,0001	0,007	<0,0001

Uso do solo	SB ¹	(H + Al) ²	T ³	V ⁴	PST ⁵	CE ⁶
	cmol _c dm ⁻³		%			
Capim-tifton irrigado (CI)	15,57 a	0,48 c	15,99 a	96,94 a	22,45 a	5,60 a
Palma forrageira (PA)	15,48 a	2,82 a	17,89 a	86,02 c	1,00 b	1,06 b
Capim-buffel sequeiro (CB)	15,40 a	1,37 b	17,07 a	91,77 b	0,91 b	0,68 b
Mata ciliar (MC)	7,35 b	0,74 c	8,03 b	91,43 b	1,23 b	0,89 b
Pr > F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

1 - Soma de bases; 2 - Acidez potencial; 3 - Capacidade de Troca de Cátions; 4 - Saturação por Bases; 5 - Percentagem de Na trocável; 6 - Condutividade elétrica. ANOVA e Teste F (p>0,05), (p>0,05) entre as médias das áreas com diferentes usos do solo para cada atributo (n=9).

dm³, respectivamente. O B apresentou na área CI valor de 1,526 cmol_c dm⁻³, apresentando significativa diferença das demais áreas PA, CB e MC, que apresentaram valores de 0,339, 0,508 e 0,593 mg dm³, respectivamente (Tabela 4).

Quando se avaliou a variável soma de bases (SB), observou-se semelhança estatística entre as áreas CI, PA e CB, com valores de 15,57, 15,48 e 15,40 cmol_c dm⁻³, respectivamente, enquanto que a área MC diferiu das demais áreas avaliadas, com valor de SB de 7,35 cmol_c dm⁻³. A acidez potencial (H + Al) em PA foi de 2,82 cmol_c dm⁻³, diferente das áreas CI, CB e MC, que apresentaram valores de 0,48, 1,37 e 0,74 cmol_c dm⁻³, respectivamente (Tabela 4).

A capacidade de troca de cátions (T) nas áreas CI, PA e CB não se diferenciaram, com valores de 15,99, 17,89 e 17,07%, respectivamente, ao passo que MC diferiu, com valor T de 8,034%, representando o menor valor entre as áreas. Constatou-se que a área CI apresentou saturação por bases (V) de 96,940%, diferindo estatisticamente de PA, CB e MC, com 86,027, 91,778 e 91,438%, respectivamente (Tabela 4).

A porcentagem de sódio trocável (PST) na área CI apresentou um valor de PST (22,45%) mais elevado que as áreas de PA, CB e MC, que apresentaram valores de 1,00, 0,91 e 1,23%, respectivamente. Com relação a CE, a área com CI apresentou valor médio de 5,605, superando aos valores encontrados nas áreas PA, CB e MC, que não diferiram entre si, apresentando valores médios 1,069, 0,683 e 0,897 dS m⁻¹, respectivamente (Tabela 4).

Os atributos químicos mostraram uma salinização da área de CI e uma pobreza química da área de MC que apresentou em torno de duas vezes menos cátions trocáveis do que as demais áreas, principalmente, Mg²⁺ (Tabela 4). A área de CI já está salinizada e com uma elevada salinização de Na⁺, que está dominando o complexo sortivo do solo dessa área.

Na avaliação dos atributos físicos nas áreas sob usos do solo, a areia grossa (AG) apresentou maior porcentagem na área ocupada com CI, com total de 30,50%. As áreas PA, CB e MC apresentaram, com valores de 11,67, 7,38 e 8,00%, respectivamente. A areia fina (AF), diferiu das demais e apresentou maiores porcentagens em MC, com valor de 64,19%, seguidos de PA, CI e CB, com valores médios de 43,55, 36,33 e 35,52%, respectivamente, que foram semelhantes entre si (Tabela 5).

Tabela 5 - Atributos físicos dos solos sob diferentes usos (capim-tifton irrigado, palma forrageira, capim-buffel de sequeiro e mata ciliar) na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB.

Uso do solo	Atributo químico						
	Areia grossa (AG)	Areia fina (AF)	Silte	Argila	ADA ¹	GF ²	GD ³
	%						
Capim-tifton irrigado (CI)	30,50 a	36,33 b	12,59 c	20,44 b	16,87 a	17,68 c	82,31 a
Palma forrageira (PA)	11,67 b	43,55 b	19,19 b	25,55 ab	15,99 a	37,34 b	62,65 b
Capim-buffel sequeiro (CB)	7,38 b	35,52 b	29,70 a	27,27 a	13,25 a	50,28 a	49,71 c
Mata ciliar (MC)	8,00 b	64,19 a	16,48 bc	11,26 c	5,66 b	49,53 a	50,46 c
Pr > F	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Uso do solo		Ds ⁴	Dp ⁵	Pt ⁶	DMP ⁷	DMG ⁸	
		kg dm ⁻³		%		mm	
Capim-tifton irrigado (CI)		1,70 a	2,68 a	0,36 b	1,49 b	0,72 b	
Palma forrageira (PA)		1,35 b	2,67 a	0,49 a	1,66 b	0,97 b	
Capim-buffel sequeiro (CB)		1,36 b	2,63 a	0,48 a	2,53 a	1,65 a	
Mata ciliar (MC)		1,38 b	2,68 a	0,47 a	1,85 b	0,91 b	
Pr > F		<0,0001	0,727	<0,0001	<0,0001	<0,0001	
Uso do solo		AGRI ⁹	IEA ¹⁰	MacroA ¹¹	MesoA ¹²	MicroA ¹³	
		%					
Capim-tifton irrigado (CI)		36,03 b	87,03 b	40,28 b	30,05 b	29,66 a	
Palma forrageira (PA)		37,73 b	93,50 a	38,49 b	44,91 a	16,58 b	
Capim-buffel sequeiro (CB)		66,30 a	93,84 a	68,37 a	18,89 b	12,73 b	
Mata ciliar (MC)		48,18 ab	86,50 b	49,22 b	23,36 b	27,40 a	
Pr > F		0,001	0,001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	

1 - Argila dispersa em água; 2 - Grau de flocculação; 3 - Grua de dispersão; 4 - Densidade do solo; 5 - Densidade de partículas; 6 - Porosidade total; 7 - Diâmetro médio ponderado; 8 - Diâmetro médio geométrico; 9 - Porcentagem de agregados maiores que 2 milímetros estáveis em água; 10 - Índice de estabilidade de agregados; 11 - Macroagregados; 12 - Mesoagregados; 13 - Microagregados. ANOVA e Teste F ($p > 0,05$), quando significativo, realizou-se Teste de Tukey ($p > 0,05$) entre as médias das áreas com diferentes usos do solo para cada atributo ($n=9$)

A variável silte apresentou valor de 29,70% em CB, superior as áreas de PA, MC e CI, que apresentaram valores de 19,190, 16,485 e 12,59%, respectivamente. Para os teores de argila foram encontrados valores em CB de 27,27%, superior as áreas de CI e MC, com valores de 20,44 e 11,26%, respectivamente (Tabela 5). A área de MC apresentou menor teor de argila em relação as demais áreas avaliadas (Tabela 5).

Observou-se que para a variável ADA não houve diferença estatística nas áreas CI, PA e CB, que apresentaram valores médios de 16,87, 15,99 e 13,25%, enquanto que MC expressou valores de 5,66%, superior as demais áreas. Em relação ao grau de dispersão (GD), constatou-se que o maior GD foi em CI, com 82,31, ao passo que CB, MC e PA apresentaram valores de 49,71, 50,46%, 62,64% (Tabela 5). Enquanto que ao GF em CB e MC não apresentaram diferença entre si, com 50,28 e 49,53%, seguidos de PA e CI, com valores de 37,34 e 17,68%, respectivamente, tendo essas áreas diferido entre si (Tabela 5).

Com relação a densidade do solo (Ds), notou-se que a área CI apresentou maior valor, com $1,70 \text{ kg dm}^{-3}$, em comparação as demais áreas. Ademais, as áreas designadas por PA, CB e MC, obtiveram valores semelhantes de 1,35, 1,36 e $1,38 \text{ kg dm}^{-3}$, respectivamente. Quanto a densidade de partículas (Dp), não houve diferença entre as áreas CI, PA, CB e MC, expressando valores de 2,68, 2,67, 2,63, 2,68%, respectivamente (Tabela 5). Em relação a porosidade total (Pt) a área menos porosa foi a de CI, com valores de 0,364%, em comparação as áreas de PA, CB e MC, que apresentaram valores de 0,49, 0,48 e 0,47%, respectivamente (Tabela 5).

Para a variável DMP a área de CB apresentou valor de 2,53 mm, superior as áreas de CI, PA e MC, que apresentaram valores de 1,49, 1,66 e 1,85 mm, respectivamente. Em relação ao DMG, a área de CB apresentou maior valor médio de 1,656 mm, enquanto que CI, PA e MC apresentaram valores de 0,72, 0,97 e 0,91 mm, respectivamente (Tabela 5).

A porcentagem de agregados com diâmetro superior a 2 mm (índice AGRI) mostrou que a área CB diferiu estatisticamente das outras áreas, com valor de 66,30%, seguidos de MC, PA e CI, com valores de 48,18, 37,73 e 36,03%. Quanto ao índice de estabilidade de agregados (IEA) as áreas de PA e CB não diferiram entre si, apresentando os valores de 93,50 e 93,84%, com médias superiores, mas diferentes das áreas de CI e MC, que apresentaram valores de 87,038 e 86,500%, respectivamente (Tabela 5).

Quando se trata de macroagregados (macroA), a área de CB apresentou o maior valor com 68,37%, seguidos de MC, CI e PA, com 49,22, 40,28 e 38,49%, respectivamente. Em relação a mesoagregados (mesoA), a área de PA apresentou resultado superior as outras áreas, com 44,91%, seguidos de CI, MC e CB, com 30,05, 23,36 e 18,89%, respectivamente (Tabela 5).

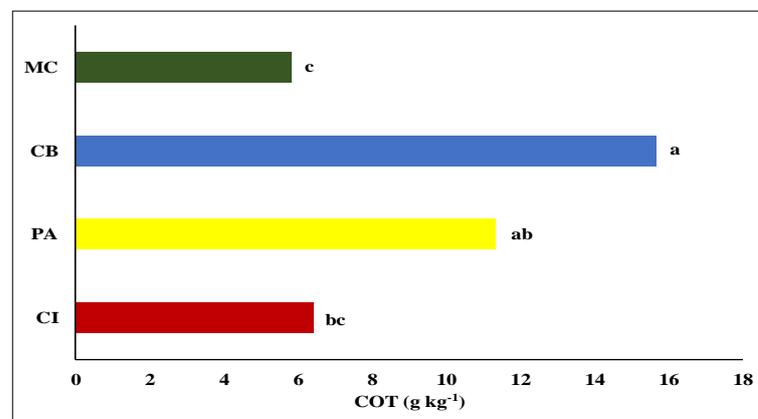
Com relação aos microagregados (microA), as áreas CI e MC não diferiram estatisticamente, com percentuais de microagregados de 29,66 e 27,40%, superior diferindo aos das áreas de PA e CB, que obtiveram valores de microagregados de 16,58 e 12,73%, respectivamente (Tabela 5).

Os atributos físicos mostraram que as áreas de CI, PA e CB apresentaram textura média, enquanto que na área de MC contatou-se textura arenosa, com pouca argila (Tabela 5), corroborando com a baixa capacidade de troca de cátions constatada nos atributos químicos (Tabela 4). No entanto, essa argila dessa área é pouco dispersa e com elevado grau de floculação.

A área de CI apresentou baixo grau de floculação e elevada dispersão (Tabela 5), corroborando com a salinidade elevada constatada nos atributos químicos, principalmente pelos elevados teores de Na^+ (Tabela 4). Além disso, essa área apresentou uma elevada densidade do solo, baixa porosidade total e pouca estruturação, com elevada concentração de microporos (Tabela 5).

Em relação aos atributos biológicos, o COT foi mais elevado na área de CB (15,64 g kg^{-1}), em relação às áreas de MC e CI, com médias de 5,80 e 6,40 g kg^{-1} , respectivamente (Figura 10). No entanto, não diferiu da área de PA, que apresentou valor de 11,33 g kg^{-1} . A área de CB apresentou em torno de três vezes mais COT do que área de MC.

Figura 10 - Carbono orgânico total do solo (COT) em áreas sob diferentes usos [capim-tifton irrigado (CI), palma forrageira (PA), capim-buffel de sequeiro (CB) e mata ciliar (MC)] na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB. Médias com letras iguais não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,005$).

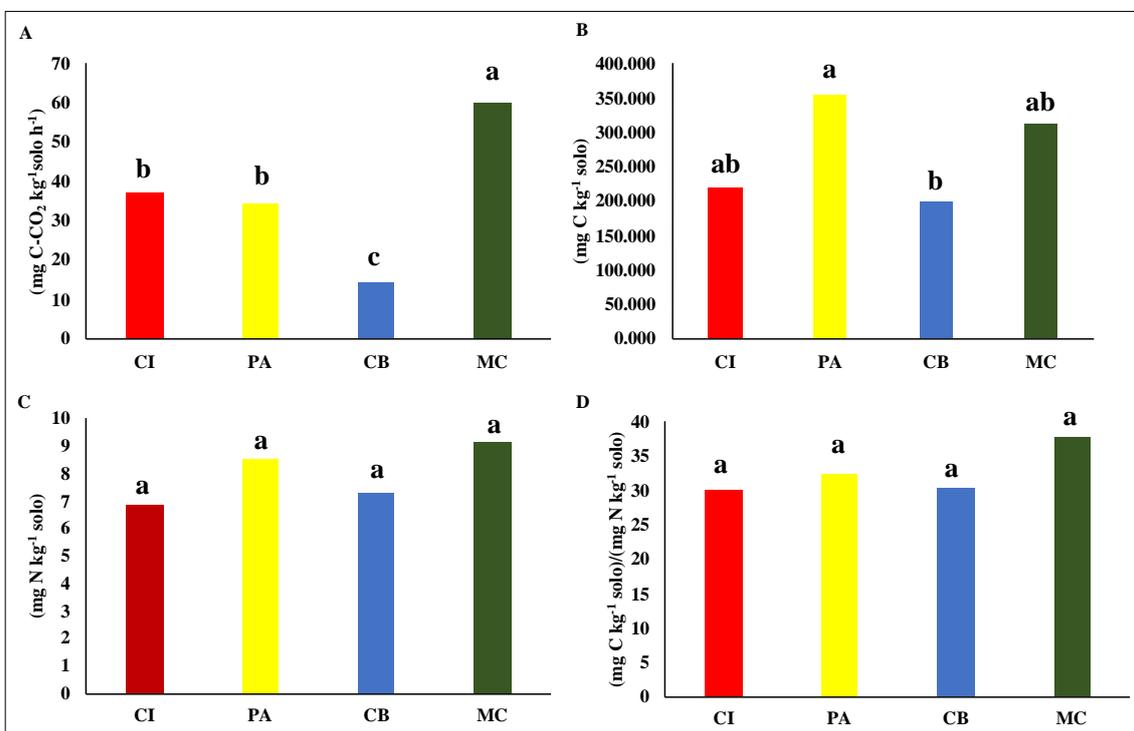


Com relação à respiração basal do solo, a área de MC apresentou valor superior as demais áreas avaliadas, seguidos de PA, CB e MC (Figura 11A). Para o C da biomassa

microbiana do solo (C-BMS), na área de PA, houve maior concentração de microorganismos, seguidos de CI e MC, que também apresentaram semelhança (Figura 11B).

O N da biomassa microbiana e a relação C/N da biomassa microbiana não foram influenciados pelos diferentes usos do solo (Figura 11C e D). As áreas CI, PA, CB e MC apresentaram valores de 6,84, 8,52, 7,25 e 9,12 mg N kg⁻¹ solo para o N da biomassa microbiana, respectivamente (Figura 11C) e as áreas CI, PA, CB e MC apresentaram valores de 30,01, 32,25, 30,31 e 37,65 mg N kg⁻¹/mg C kg⁻¹ para a relação C/N da biomassa microbiana do solo, respectivamente (Figura 11 D).

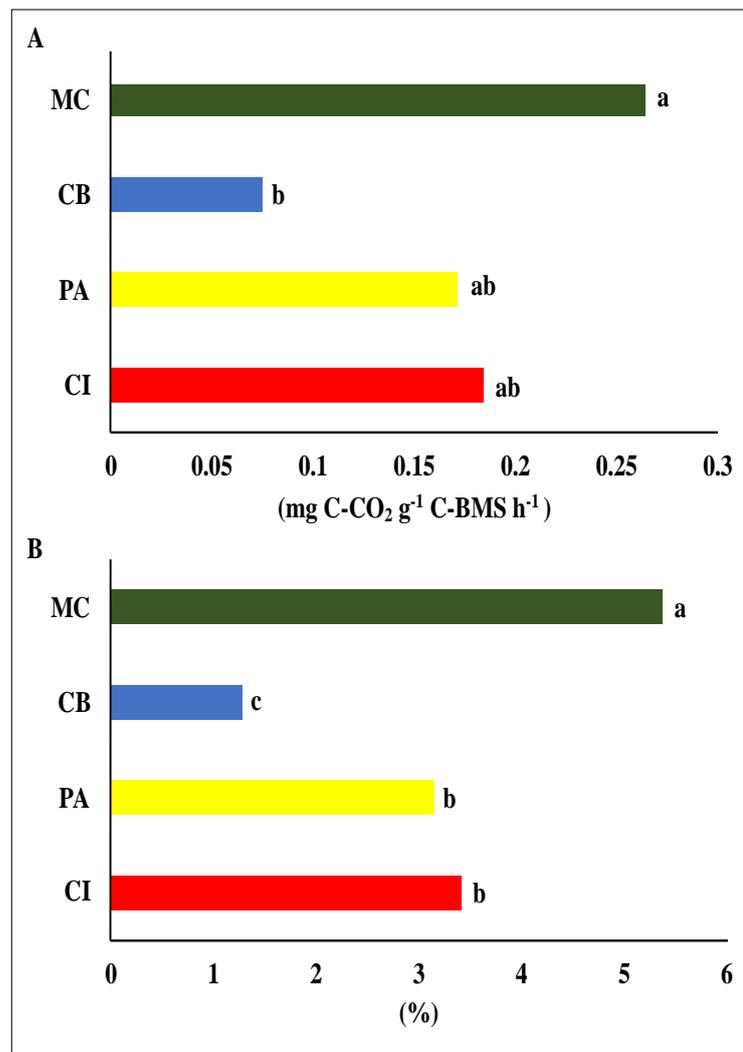
Figura 11 - Respiração basal do solo (RBS) (A), carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS) (B), nitrogênio da biomassa microbiana do solo (N-BMS) (C) e relação carbono/nitrogênio da biomassa microbiana do solo (C-BMS/N-BMS) (D) em áreas sob diferentes usos [capim-tifton irrigado (CI), palma forrageira (PA), capim-buffel de sequeiro (CB) e mata ciliar (MC)] na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB. Médias das áreas comparadas pelo teste de Tukey (p<0,005)



O N da biomassa microbiana e a relação C/N da biomassa microbiana não foram influenciados pelos diferentes usos do solo (Figura 11C e D). As áreas CI, PA, CB e MC apresentaram valores de 6,842, 8,522, 7,250 e 9,122 mg N kg⁻¹ solo para o N da biomassa microbiana (Figura 11C) e as áreas CI, PA, CB e MC apresentaram valores de 30,019, 32,253, 30,310 e 37,659 mg N kg⁻¹/mg C kg⁻¹ para a relação C/N da biomassa microbiana do solo (Figura 11 D).

Quanto ao coeficiente metabólico (qCO_2), a área de MC apresentou maior atividade microbiana, seguidos de PA e CI, que apresentaram semelhança estatística. Em CB, o qCO_2 diferiu das demais áreas avaliadas (Figura 12A). Para o coeficiente microbiano ($qMiC$) essa diferença entre a área de MC e CB ficou ainda maior, porque nesse caso considera-se uma relação entre o C-BMS e o COT (Figura 12B).

Figura 12 - Quociente metabólico (qCO_2) (A) e quociente microbiano ($qMiC$) (B) em áreas sob diferentes usos [capim-tifton irrigado (CI), palma forrageira (PA), capim-buffel de sequeiro (CB) e mata ciliar (MC)] na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB. Médias das áreas comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,005$)



Na análise de correlação entre as variáveis e os componentes principais, os atributos dos solos que explicaram a variação dos dados foram K^+ , Na^+ , Fe^{2+} , Zn^{2+} , B, pH (H_2O), CE e PST para os atributos químicos; AreiaG, Silte, GF, GD, Ds, Dp, Pt, DMP, DMG, AGRI, IEA, MacroA e MicroA para os atributos físicos; e COT para os atributos biológicos, correlacionando-se com o componente principal 1 (CP1), mostrando a influência dos diferentes

usos do solo nesses atributos (Tabela 6). Vale salientar que os atributos biológicos nessa CP1, pouco influenciaram a variação dos dados, diferentemente dos atributos físicos.

Tabela 6 - Correlação entre os componentes principais (CP1 e CP2) e os atributos químicos, físicos e biológicos dos solos sob diferentes usos (capim-tifton irrigado, palma forrageira, capim-buffel de sequeiro e mata ciliar) na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB

Atributo	CP1	CP2
Ca ²⁺	0,43	-0,87*
Mg ²⁺	0,08	-0,93*
K ⁺	0,77*	0,04
Na ⁺	-0,87*	-0,44
SB ¹	0,04	-0,98*
(H+Al) ²	0,53	-0,22
T ³	0,18	-0,94*
P-Mehlich	0,39	0,70*
P-Resina	0,48	0,08
Fe ²⁺	0,81*	0,48
Mn ²⁺	0,06	-0,58
Cu ²⁺	0,03	-0,66
Zn ²⁺	0,76*	0,03
B	-0,87*	-0,31
pH-H ₂ O	-0,76*	-0,17
CE ⁴	-0,89*	-0,42
V ⁵	-0,63	-0,19
PST ⁶	-0,88*	-0,42
AreiaG ⁷	-0,89*	-0,46
AreiaF ⁸	-0,03	0,99*
Silte	0,92*	-0,27
Argila	0,45	-0,87*
ADA ⁹	-0,21	-0,93*
GF ¹⁰	0,85*	0,50
GD ¹¹	-0,85*	-0,50
Ds ¹²	-0,89*	-0,37
Dp ¹³	-0,80*	0,47
Pt ¹⁴	0,87*	0,35
DMP ¹⁵	0,85*	-0,10
DMG ¹⁶	0,88*	-0,28
AGRI ¹⁷	0,78*	-0,01
IEA ¹⁸	0,79*	-0,53
MacroA ¹⁹	0,72*	-0,07
MesoA ²⁰	-0,21	-0,20
MicroA ²¹	-0,90*	0,40
COT ²²	0,84*	-0,54
RBS ²³	-0,50	0,85*
C-BMS ²⁴	0,05	0,53
N-BMS ²⁵	0,24	0,85*
C/N-BMS ²⁶	0,03	0,99*
qMIC ²⁷	-0,51	0,84*
qCO ₂ ²⁸	-0,56	0,80*
Variância absoluta (%)	42,80	34,60
Variância acumulada (%)	42,80	77,40

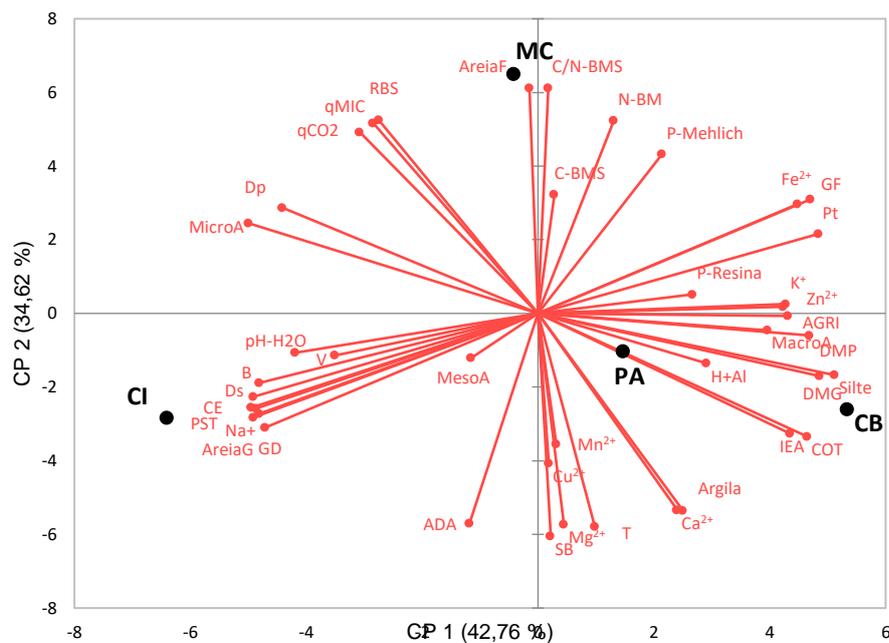
1 - Soma de bases; 2 - Acidez potencial; 3 - Capacidade de Troca de Cátions; 4 - Condutividade elétrica; 5 - Saturação por Bases; 6 - Percentagem de Na trocável; 7 - Areia grossa; 8 - Areia fina; 9 - Argila dispersa em água; 10 - Grau de floculação; 11 - Grau de dispersão; 12 - Densidade do solo; 13 - Densidade de partículas; 14 - Porosidade total; 15 - Diâmetro médio ponderado; 16 - Diâmetro médio geométrico; 17 - Porcentagem de agregados maiores que 2 milímetros estáveis em água; 18 - Índice de estabilidade de agregados; 19 - Macroagregados; 20 - Mesoagregados; 21 - Microagregados; 22 - Carbono orgânico total; 23 - Respiração basal do solo; 24 - C da biomassa microbiana do solo; 25 - N da biomassa microbiana do solo; 26 - Relação C/N da

biomassa microbiana do solo; 27 - Quociente microbiano do solo; 28 - Quociente metabólico do solo. * significativo ($p < 0,05$).

Pode-se destacar também, que os atributos químicos que mais influenciaram a variação dos dados e, portanto, os diferentes usos, foram aqueles relacionados a salinidade dos solos, como Na^+ , CE e PST (Tabela 6). Em relação ao componente principal 2 (CP2), Ca, Mg, SB, T, P-Melhich, AreiaF, Argila, ADA, RBS, N-BMS, C/N-BMS, q_{Mic} e q_{CO_2} foram os atributos mais importantes na disposição dos clusters neste eixo (Tabela 6).

Os usos do solo foram distribuídos em diferentes quadrantes no biplot, com exceção da PA e CB que se distribuíram no mesmo quadrante (Figura 13), mostrando que as formas de usos do solo afetaram os atributos do solo formando três grupos distintos. Os atributos do solo que mais variaram na área de CI foram aqueles mais relacionados com indicadores de salinidade/sodicidade, como Na^+ , PST, CE, Ds e GD (Figura 13).

Figura 13 - Biplot dos atributos dos solos sob diferentes usos [capim-tifton irrigado (CI), palma forrageira (PA), capim-buffel de sequeiro (CB) e mata ciliar (MC)] na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB. Atributos químicos: Soma de bases (SB); Acidez potencial (H +Al); Capacidade de Troca de Cátions (T); Condutividade elétrica (CE); Saturação por Bases (SB); e Percentagem de Na trocável (PST). Atributos físicos: Areia grossa (AreiaG); Areia fina (AreiaF); Argila dispersa em água (ADA); Grau de flocculação (GF); Grau de dispersão (GD); Densidade do solo (Ds); Densidade de partículas (Dp); Porosidade total (Pt); Diâmetro médio ponderado (DMP); Diâmetro médio geométrico (DMG); Porcentagem de agregados maiores que 2 milímetros estáveis em água (AGRI); Índice de estabilidade de agregados (IEA); Macroagregados (MacroA); Mesoagregados (MesoA); e Microagregados (MicroA). Atributos biológicos: Carbono orgânico total (COT); Respiração basal do solo (RBS); C da biomassa microbiana do solo (C-BMS); N da biomassa microbiana do solo (N-BMS); Relação C/N da biomassa microbiana do solo (C/N-BMS); Quociente microbiano do solo (qMiC); e Quociente metabólico do solo (qCO₂).

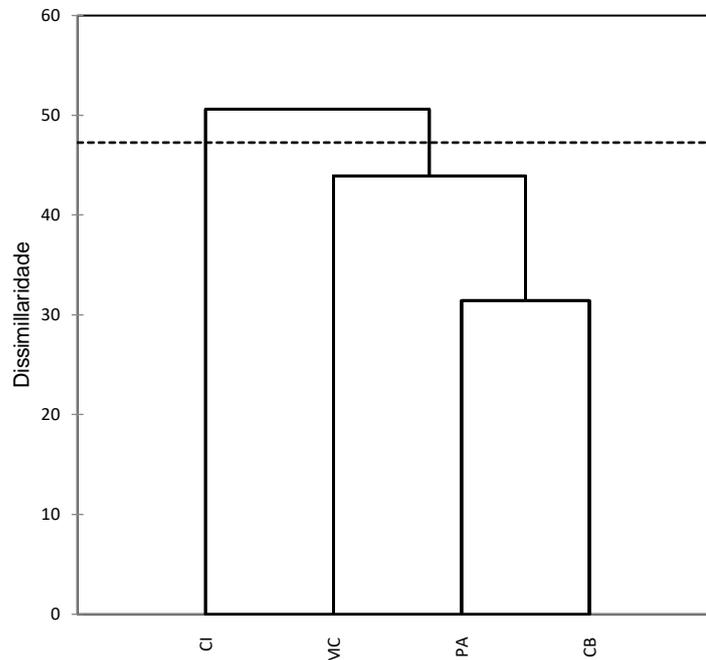


Os atributos biológicos foram os que mais variaram na área de MC (Figura 13). No entanto, constatou-se que essa textura arenosa apresentou predomínio de areia fina (Tabela 5). As áreas de CB e PA se agruparam, sendo, portanto, influenciadas pelos mesmos atributos de solo, principalmente atributos físicos relacionados com a agregação solo, como DMP, DMG, IEA, AGRI e, correlacionados com o COT, que se posicionou nesse quadrante ao lado desses atributos físicos relacionados a agregação (Figura 13).

O método de agrupamento das áreas destacou a formação de três grupos de acordo com os diferentes tipos de uso do solo (Figura 14). O primeiro grupo foi formado pela área CI, o segundo grupo foi formado pela área MC e o terceiro grupo uniu as áreas PA e CB (Figura 14). O uso mais intensivo do solo na área do CI mostrou degradação de seus atributos,

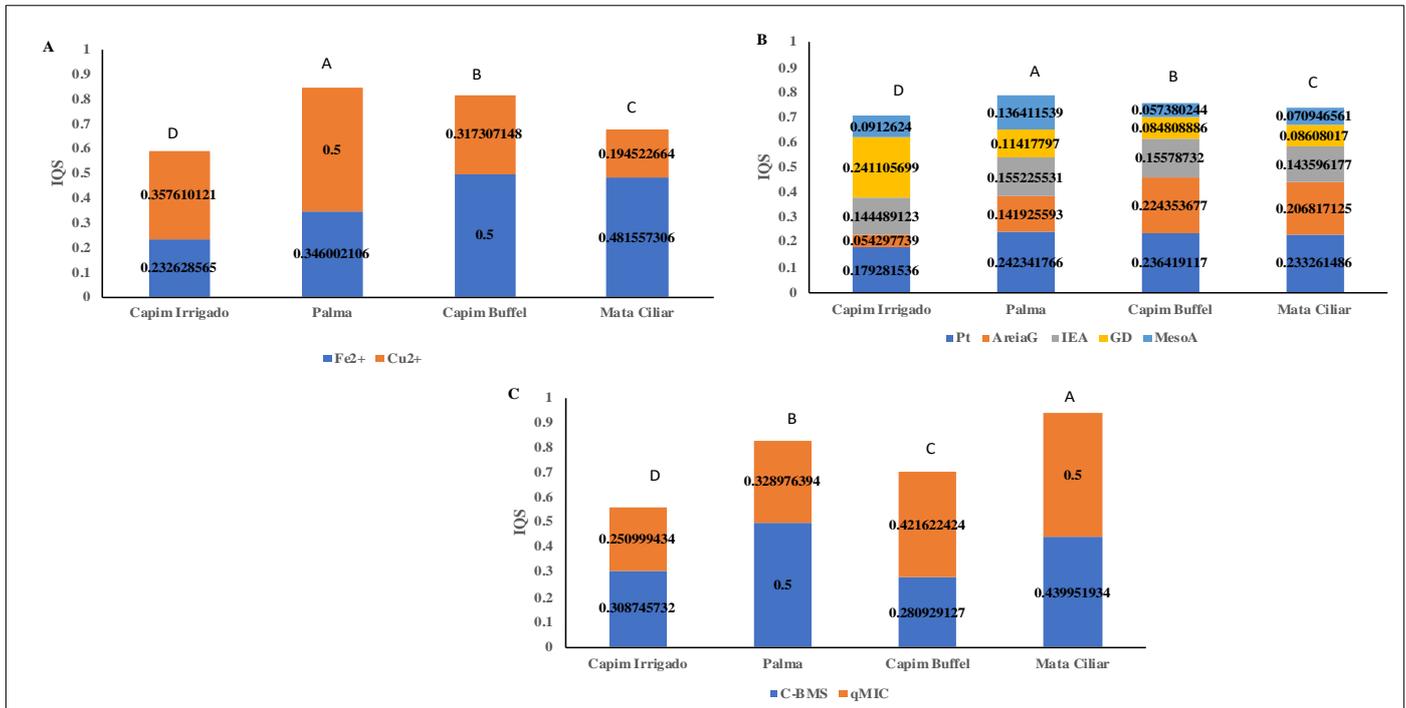
diferentemente da área mais preservada (MC). Os usos da PA e CB foram mais conservadores, preservando os atributos favoráveis da área preservada (MC).

Figura 14 - Dendograma dos diferentes usos do solo [capim-tifton irrigado (CI), palma forrageira (PA), capim-buffel de sequeiro (CB) e mata ciliar (MC)] na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB.



Quando se estudou o IQS, considerando os atributos do solo separadamente, constatou-se que a área de CI apresentou os menores IQS (Figura 15), tendo como principal responsável pelo baixo índice, quando se avaliou os atributos químicos, os teores de Cu^{2+} (Figura 15A), quando se avaliou os atributos físicos foi o GD (Figura 15B) e quando se avaliou os atributos biológicos foi o qMiC (Figura 15C). A área de PA se destacou quando se avaliou os atributos químicos e físicos. Sendo, os teores de Cu^{2+} responsável por 50% da qualidade química do solo (Figura 15A) e a porosidade total por, em torno, de 24% da qualidade física do solo nessa área (Figura 15B).

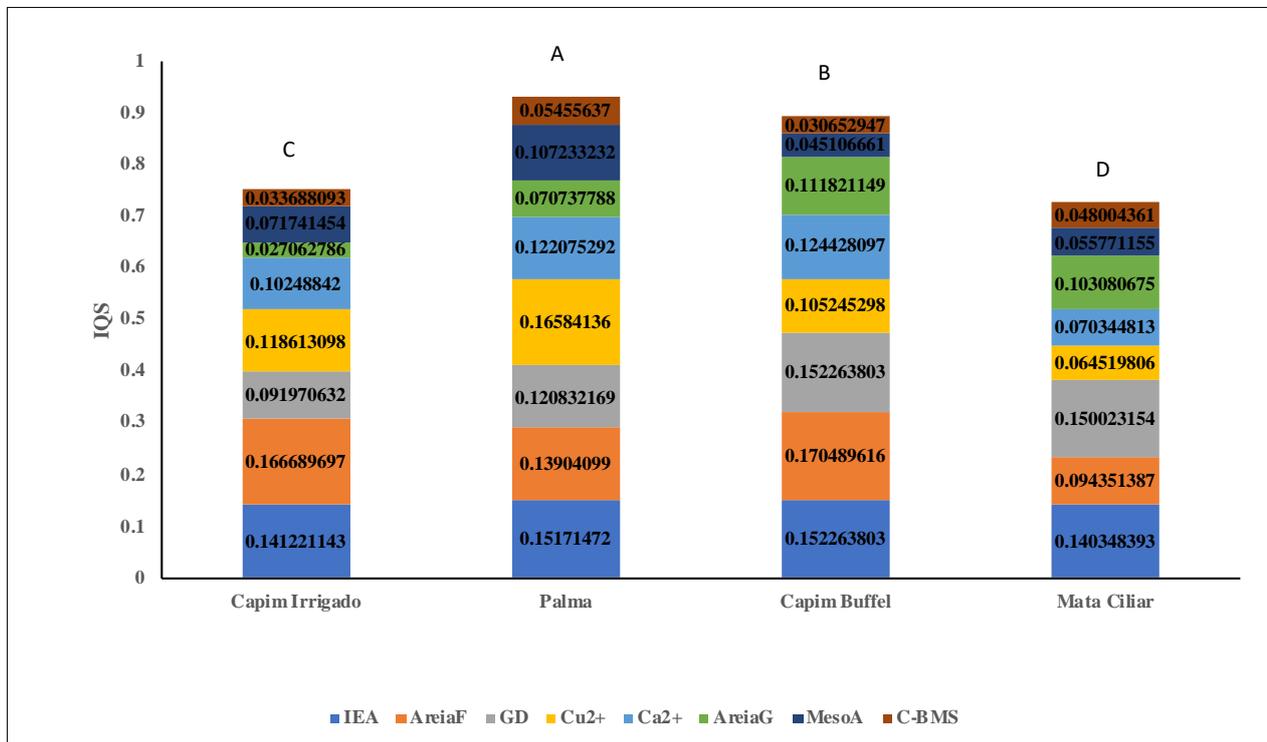
Figura 15 - Índice de Qualidade do Solo (IQS) de atributos químicos (A) (Fe^{2+} e Cu^{2+} disponíveis), atributos físicos (B) [porosidade total (Pt), areia grossa (AreiaG), índice de estabilidade de agregados (IEA), grau de dispersão (GD) e mesoagregados (MesoA)] e atributos biológicos (C) [C da biomassa microbiana do solo (C-BMS) e quociente microbiano do solo (qMIC)] em áreas sob diferentes usos (capim-tifton irrigado, palma forrageira, capim-buffel de sequeiro e mata ciliar) na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB. Médias das áreas comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,005$).



Quando se avaliou o IQS considerando os atributos biológicos, constatou-se que a área de MC foi a que mais se destacou, sendo o qMiC responsável por 50% da composição desse índice de qualidade (Figura 15C). O uso das áreas com destaque para PA e CB apresentou as melhores qualidades químicas e físicas dos solos. Da mesma forma, a área de CI precisa de um melhor manejo da matéria orgânica para minimizar os indicadores de salinidade dessa área, que está impactando os indicadores físicos de qualidade do solo, como os elevados índices de grau de dispersão, responsável por 24% do IQS dessas áreas (Figura 15B).

Quando se estudou o IQS considerando o conjunto dos atributos químicos, físicos e biológicos, constatou-se que os atributos físicos predominaram para a construção da qualidade dos solos, como IEA, AreiaF, GD, AreaiG e MesoA (Figura 16).

Figura 16 - Índice de Qualidade do Solo (IQS) considerando o conjunto de todos os atributos químicos, físicos e biológicos [(Ca²⁺ e Cu²⁺ disponíveis), areia grossa (AreiaG), areia fina (AreiaF), índice de estabilidade de agregados (IEA), grau de dispersão (GD), mesoagregados (MesoA) e C da biomassa microbiana do solo (C-BMS)] em áreas sob diferentes usos (capim-tifton irrigado, palma forrageira, capim-buffel de sequeiro e mata ciliar) na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB. Médias das áreas comparadas pelo teste de Tukey (p<0,005).



As áreas de PA e CB se destacaram e apresentaram IQS iguais ou acima de 0,9, tendo como principais atributos responsáveis, o IEA, AreiaF, GD, Cu²⁺ e Ca²⁺ (Figura 16). Constatou-se, também, a baixa participação dos atributos biológicos, tendo como principal indicador o C-BMS. Na área onde C-BMS teve uma maior participação na composição do IQS, foi a área que mais se destacou como indicadora da melhor qualidade, como foi o caso da PA, em que o C-BMS foi responsável por 5,45% do IQS (Figura 16).

Quando se classificou o IQS considerando os atributos químicos, físicos e biológicos separadamente e em conjunto (Tabela 7), constatou-se o melhor desempenho do uso do solo com a palma forrageira em qualquer das formas de classificação que foram consideradas. A área de CI apresentou classificação mediana, o IQS foi calculado separadamente por atributo do solo, principalmente para os atributos químicos e biológicos.

Tabela 7 - Classificação do Índice de Qualidade do Solo (IQS) dos atributos químicos, físicos, biológicos e quando considerados todos os atributos em conjunto em áreas sob diferentes usos (capim-tifton irrigado, palma forrageira, capim-buffel de sequeiro e mata ciliar) na fazenda Carnaúba, Taperoá/PB.

Uso do solo	Índice de Qualidade do Solo (IQS)	
	Atributo químico	Classificação
Capim irrigado	0,59	Médio
Palma	0,85	Alto
Capim Buffel	0,82	Alto
Mata ciliar	0,68	Médio
Atributo físico		
Capim irrigado	0,71	Médio
Palma	0,79	Alto
Capim Buffel	0,76	Alto
Mata ciliar	0,74	Alto
Atributo biológico		
Capim irrigado	0,56	Médio
Palma	0,83	Alto
Capim Buffel	0,70	Médio
Mata ciliar	0,94	Alto
Conjunto dos atributos		
Capim irrigado	0,75	Alto
Palma	0,93	Alto
Capim Buffel	0,89	Alto
Mata ciliar	0,73	Alto

5. DISCUSSÃO

O solo da área com capim irrigado (CI) apresentou pH alcalino, com valor em torno de 8,147, condutividade elétrica (CE) com valor de 5,605 dS m⁻¹, e PST de 22,45% (Tabela 4), classificando-se como salino-sódico (RICHARDS, 1954). Solos quando apresentam essa constituição, aumentam o seu potencial osmótico e aumento de toxidez, em função da concentração de sais, podendo provocar aumento da escassez de água e nutrientes para as plantas (TAVARES FILHO et al., 2020).

A baixa precipitação e alta evapotranspiração nessa região, sobretudo em áreas irrigadas com água salobra (RESENDE et al., 2014; BRITO et al., 2017; ARAÚJO et al., 2021; RODRIGUES et al., 2022), tornam o pH alcalino, em função do acúmulo de sais de Na, Ca, Mg e carbonato de sódio, que preenchem o complexo coloidal, aumentando o pH e diminuindo a disponibilidade de micronutrientes, tornando o solo pouco favorável ao crescimento e desenvolvimento das plantas (BITENCOURT; DEKNES; LAURA, 2022).

A acidez potencial em PA pode ser explicada em função da quantidade de H⁺, uma vez que Al³⁺ não foi expressivo, como relataram Artur et al. (2014). Ademais, os autores Canellas et al. (2003) sugeriram que a oxidação da matéria orgânica pode ser um indicativo da geração de acidez nesses solos, uma vez que o esterco aplicado na área, pode ter contribuído para acidificar o solo. Ademais, grupos carboxil e hidroxil fenólicos, tem grande influencia na alteração da acidez do solo, quando adubados com esterco (WHALEN et al., 2000; SILVA et al., 2022i).

O monitoramento da CE é essencial pois é uma variável que representa a quantidade total de sais solúveis no solo, além de ser um atributo que precisa ser avaliado com frequência e de forma prática, uma vez que serve para monitorar o manejo da irrigação (SILVA et al., 2020h). Ademais, acrescenta-se que a maior CE na área de CI foi em função de adubações excessivas, como também o uso de água de baixa qualidade para irrigação, pelos elevados teores de sais (SÁ et al., 2023).

A variável PST acima de 22% em CI indica elevada degradação das terras em função da salinização do solo (PISTOCCHI et al., 2017), além de ser prejudicial ao crescimento, estabelecimento e desenvolvimento das culturas instaladas na área (MOREIRA et al., 2020). Pelo fato de ser comum que a quantidade Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺ estejam presentes em altas concentrações nos solos do semiárido, pois a baixa lixiviação associada aos solos rasos, dificultam a lavagem de sais no solo (RODRIGUES et al., 2021), propiciando o acúmulo de sais, tornando esse fenômeno como uma das principais causas de degradação dos solos,

reduzindo a capacidade do solo de produzir biomassa (LOPES-ALVAREZ et al., 2021; SABINO et al., 2021).

A saturação por bases (V) em CI mostra a alta fertilidade dessa área, quando comparada as demais, uma vez que em valores de V acima de 50%, o solo é classificado como eutrófico (SOARES et al., 2019; MOREIRA; ASSIS JÚNIOR; ARAGÃO, 2020). A capacidade de troca de cátions (T) observada em CI, PA e CB não diferiram. Contudo, notou-se maiores medias na área de PA, que, em virtude das adubações com matéria orgânica, houve aumento da V nessas áreas.

Em relação aos atributos Ca^{2+} e Mg^{2+} , percebeu-se a alta quantidade desses elementos, sobretudo nos usos com PA e CB, em função da quantidade de adubos adicionadas na área de PA. Em CB, não há adubação de fundação e de cobertura, contudo, por ser numa área mais baixa, há naturalmente um depósito dos minerais carreados pela chuva, que provavelmente fez com que os valores de K^{+} também fossem maiores em CB, quando comparada a outras áreas.

Quanto ao Na^{+} , a grande quantidade desse elemento em CI é decorrente das excessivas irrigações na área, o que faz com que haja acúmulo de sais, o que acaba degradando a área, salinizando o solo e deixando imprópria para a prática da agricultura. A salinização deteriora milhares de hectares de solos férteis no mundo (CASTRO et al., 2021).

Quando se trata de P-Mehlich e P-Resina, notou-se que os valores de P-Mehlich foram superiores em todas as quatro áreas, quando comparado com os valores obtidos com P-Resina. Devido a utilização de extratores extremamente ácidos, como o Mehlich-1, o P que estava inacessível a planta, pôde ser removido e quantificado, provavelmente chegando a superestimar os valores de P, sobretudo em áreas que recebem adubações expressivas de P (FREITAS et al., 2013).

Em relação aos micronutrientes Fe^{2+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} e B, percebeu-se que os valores de Fe^{2+} e Mn^{2+} foram considerados altos nas quatro áreas avaliadas (CI, PA, CB e MC), enquanto que Cu^{2+} em PA e Zn^{2+} em CB foram maiores, mas com valores muito acima do valor considerado alto. Os teores de Fe^{2+} , Mn^{2+} e B em CI acima do limite tolerável são devidos, provavelmente as adubações com esterco tenham aumentado os valores desses nutrientes, especialmente de Fe^{2+} e Mn^{2+} , uma vez que esterco bovino é rico nesses elementos (ALVES et al., 2021).

Os valores de areia grossa, areia fina, silte e argila, que revelaram a natureza arenosa das áreas avaliadas, sendo os solos, de maneira geral, classificados como solos franco arenosos (SANTOS, 2018). Essas frações granulométricas desempenham importante papel na dinâmica

do solo, influenciando positivo ou negativamente na sua capacidade de suprir as demandas hídricas das plantas.

Com isso, apesar de as adubações serem de extrema importância para a agricultura (DIAS; FERNANDES, 2006; MACIEL; TUNES, 2021), os atributos físicos do solo são cruciais para o funcionamento e realização dos serviços ecossistêmicos prestados por ele, uma vez que centenas de reações e funções estão diretamente relacionados com os atributos físicos do solo (CAMPOS, 2010).

Dentre eles, a argila dispersa em água (ADA), onde em CI e PA apresentaram as maiores percentagens (%), encontradas em CI e PA, em relação a MC se deve em função das práticas de manejo adotadas nessas áreas, mas não diferindo de CB. Áreas que apresentaram valores significativos de ADA, mostraram haver menor estabilidade de agregados, assim como menor resistência aos processos de degradação do solo, como erosão (CASSOL et al., 2023).

Em CI, apesar de não haver revolvimento, a prática da irrigação e, conseqüente deposição de sais, é suficiente para alterar os atributos físicos do solo, uma vez que o Na^+ em solos do semiárido provoca a dispersão das argilas suficientemente para diminuir a sua estabilidade e provocar erosão (GOLDBERG; FORSTER, 1990; PRADO, 2003; SILVA et al., 2022g), por isso os maiores valores de ADA em CI e PA, reduzindo a permeabilidade de água e o ar do solo (BARETA JÚNIOR et al., 2021).

Compreender a forma com que os sais atuam na natureza de ligação de partículas de solo, favorece o entendimento dos atributos físicos dos solos salinos (BATISTÃO et al., 2020), pois o Na^+ impede que haja maior agregação das partículas.

Em PA não há uso de irrigação, contudo, práticas de revolvimento do solo, como aração e gradagens, são adotadas no sistema, fazendo com que a argila fique dispersa, tornando o solo susceptível a erosão, por exemplo. Como consequência, a argila dispersa se desloca para áreas subsuperficiais, diminuindo a macroporosidade e a infiltração de água (MATOS, 2010; MATOS, ALMEIDA NETO; MATOS, 2013).

Concomitantemente, observou-se que quanto maior o grau de dispersão verificado em CI (82,4%), menor será o grau de floculação (17,6%), pois são valores proporcionais. Com isso, observou-se que a área com CI está em processo de degradação, pois além de GD provocar compactação, reduz a porosidade (FERREIRA et al., 2010). Solos de melhor qualidade física apresentam GF superior ao GD, uma vez que quanto maior sua percentagem, melhores são as condições físicas dos solos (ALLEONI et al., 2009; MAIO et al., 2011).

Por ser atributo relacionado à qualidade do solo, o grau de floculação representa a maior resistência do solo a erosão e a desagregação (BARRETO et al., 2019), uma vez que a

floculação aumenta o contato partícula-partícula (BATISTÃO et al., 2020), favorecendo a diminuição do movimento das partículas, sendo essas importantes variáveis para estudos relacionados a conservação do solo (SANTOS et al., 2010; VICENTE et al., 2012) (Tabela 5).

Foi possível observar também que Ds, Pt, DMP e DMG estão correlacionados, pois a Ds apresentou-se diferente em CI, sendo isso o reflexo da baixa qualidade dos indicadores físicos supracitados, que contribuem para a baixa estruturação do solo (MOTA et al., 2013), aumentando sua compactação.

Solos compactados afetam negativamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, pois não permitem que haja infiltração de água e trocas gasosas. Com isso, as plantas ficam prejudicadas, pois seu sistema radicular não consegue crescer e desenvolver em áreas com alta Ds, prejudicando como um todo a produção vegetal (PACHECO et al., 2015).

Ressalta-se também o fato de que a maior Ds em CI está diretamente relacionada ao fato de o excesso de sal comprometer a estabilidade estrutural e Ds (MEENA et al., 2019), pois os sais provocam a dispersão das argilas, aumentando a Ds (AGUIAR NETO; MACHADO; BARRETO, 2006).

É oportuno ressaltar que em (CI) não há tráfego de máquinas e nem pisoteio de animais, pois essas são atividades que acabam adensando o solo (MUZURANA et al., 2013; FERREIRA et al., 2019; FERNANDES et al., 2022; SILVEIRA et al., 2022; PULIDO-MONCADA; PETERSEN; MUNKHOLM, 2022), e que são corriqueiras em áreas que possuem vocação para o desenvolvimento agropecuário.

Adicionalmente, por ser um atributo do solo que sofre alterações, e estas podem influenciar de forma expressiva o crescimento e desenvolvimento das culturas instaladas nas áreas, faz-se necessário adotar práticas adequadas de manejo, com o escopo de evitar o aumento da Ds, para evitar prejuízos ao agricultor.

Quanto ao atributo densidade de partículas (Dp), que se refere a porção sólida de uma amostra de solo, sem levar em conta a porosidade, dificilmente é alterada, por ser uma propriedade intrínseca ao recurso solo (MARTINS; SILVA, 2022). Contudo, a Dp é um atributo importante para indicar a constituição mineralógica, para realizar cálculos de sedimentação, assim como a determinação indireta da porosidade total do solo (FORSYTHE, 1975; GUBIANI; REINERT; REICHERT, 2006).

Os valores significativos de DMG, DMP, IEA, AGRI e macroA em CB é reflexo do efeito benéfico e mais bem estruturado dos componentes minerais e orgânicos (SALTON et al., 2012), presentes nos solos da área supracitada. Esses são atributos que indicam maior qualidade do solo (MA et al., 2022). Esses autores ainda afirmaram que por estar diretamente relacionado

com o C do solo, essas variáveis apresentam grande número de cargas de superfície e grupos funcionais da matéria orgânica do solo, possibilitando união das partículas do solo, favorecendo a agregação.

Ademais, esses resultados podem estar relacionados à reestruturação do solo durante esse tempo, favorecendo o estabelecimento da cultura, assim como incrementando a qualidade do solo nessa área, em função do aporte de matéria orgânica e a ação agregante das raízes das gramíneas (TORRES et al., 2015), uma vez que gramíneas possuem potencial de formar estruturas no solo, sobretudo nos solos arenosos (RODRIGUES PINTO et al., 2023).

Panchal et al. (2022) destacaram a importância de gramíneas para estabilizar os exsudados das raízes no solo (COSTA JÚNIOR et al., 2012), ao passo que em áreas de intenso uso agrícola esse fenômeno não é favorecido, enquanto que LACERDA et al. (2023) corroboram com isso, ao destacarem as gramíneas como excelentes melhoradoras dos solos da região Nordeste do Brasil, sobretudo em áreas que possuem longos anos sendo cultivadas, sem que haja preparo do solo, e em função do sistema radicular das gramíneas (MEDEIROS et al., 2021).

A macroporosidade elevada em CB diferente das outras áreas, apresentou-se elevada e diferente das demais áreas, indica melhor proteção física e contribui para melhor saúde do solo (MONDAL; CHAKRABORTY, 2022), aliado ao fato do capim-buffel ter contribuído favorecendo a formação de agregados. Os benefícios do CB podem estar relacionados ao fato dessa gramínea se destacar como potencial forrageira, adaptadas as condições de solo e clima do semiárido (MONÇÃO et al., 2011; MOREIRA et al., 2007), o que torna o seu sistema radicular mais adaptado.

Salton et al. (2008) relataram que a formação de macroagregados pode estar relacionada ao fato da presença de raízes nas gramíneas, que são mais expressivas em ambientes de pastagem. Os autores relataram que há favorecimento, em escala crescente, em função do emaranhado e estado e organizacional das raízes, para a formação de agregados simples, seguidos de estruturas complexas, como os macroagregados.

Outro fator que contribuiu de forma expressiva para a formação de macroagregados em CB e para os atributos de qualidade física do solo, é o tempo de cultivo da área e da sua forma de manejar. Devido ao fato de a área ser cultivada com capim buffel há mais de 30 anos, sem revolvimento do solo e sem grandes intervenções, apenas com pastagem do gado, favoreceu a melhoria e aumento da qualidade física do solo, contribuindo para o seu melhor funcionamento.

Concomitantemente, a diminuição da porosidade total aumenta a microporosidade (TELES et al., 2021; REIS et al., 2022), fato verificado em CI, pois os macros e mesoagregados

são desestruturados, formando os microagregados. Em relação aos mesoagregados, notou-se que são agregados intermediários, que refletem as alterações nos teores de C, assim como nos manejos adotados (LOSS et al., 2019). Por isso, percebeu-se que os mesoagregados estão em fase de transição na área PA, em função dos revolvimentos para o plantio de palma.

Como a disponibilidade de água que é existente para as plantas não depende unicamente da água que infiltra no solo (ANDRADE et al., 2020), a qualidade física do solo (MARCHÃO et al., 2007), como a micro, meso, macroporosidade e porosidade total está diretamente ligada a distribuição de partículas e grau de compactação (LIMA et al., 2022) e influenciam diretamente a destruição dos poros e a infiltração de água no solo (MESQUITA; MORAES, 2004). Com isso, em função do aumento na Ds, como consequência, há diminuição da porosidade total (DALMAGO et al., 2009).

O IEA e AGRI em CB é reflexo do efeito benéfico e mais bem estruturado dos componentes minerais e orgânicos (SALTON et al., 2012), presentes nos solos da área supracitada. Esses são atributos que indicam maior qualidade do solo (MA et al., 2022). Esses autores ainda afirmaram que por estar diretamente relacionado com o C do solo, esse apresenta grande número de cargas de superfície e grupos funcionais da matéria orgânica, favorecendo a união das partículas do solo e a agregação.

Esses resultados são indicativos do quanto o uso indiscriminado e práticas de manejo inadequadas favorecem o empobrecimento do solo, sobretudo solos considerados frágeis, como os solos do semiárido (ALBUQUERQUE et al., 2011; PRESTON et al., 2017; SANTOS et al., 2019a; ARAÚJO NETO et al., 2021). Por isso, faz-se de fundamental importância, saber manejar os solos frágeis do semiárido, com o escopo de aumentar sua qualidade e a quantidade de matéria orgânica (SANTOS et al., 2019b).

Ao avaliar o carbono orgânico total (COT), os teores mais elevados dessa variável em CB e PA estão associados à prática de manejo adotada, uma vez que há adubações orgânicas em PA e adubações indiretas de forma constante, uma vez que todo o material proveniente das áreas que estão em um nível maior, se acumula nessa área mais baixa. Além disso, toda massa radicular das culturas contribui para a melhoria dos atributos do solo e não há revolvimento e exposição do solo, o que faz com que haja incremento do COT por causa da diminuição da decomposição da matéria orgânica (SALES et al., 2016).

O crescimento espontâneo da gramínea em CB indica que haja considerável fertilidade do solo (CORREA; MENEZES; OLINDA, 2014), por ser uma gramínea adaptada as condições de estresses ambientais e apresentar respostas expressivas para as condições de semiárido (KOGBARA et al., 2020).

A respiração basal do solo (RBS) é um indicador de mudança na atividade microbiana, em função de alterações nas formas de uso do solo (OLIVEIRA et al., 2019; LULL et al., 2020). Apesar de haver poucos estudos que correlacionem a RBS com a qualidade da matéria orgânica e com a atividade dos microrganismos (BABUR, 2019), os maiores valores RBS podem estar relacionados com a maior disponibilidade de matéria orgânica rica em frações lábeis (NUNES et al., 2009; SANTOS et al., 2019).

Portanto, como a área de CB apresentou elevados teores de COT, mas menor RBS, isso pode significar que a matéria orgânica da área com CB é menos rica em frações lábeis, sendo, portanto, mais estável.

Ademais, por outro lado, ainda com base em Nunes et al. (2009), a RBS alta também pode indicar que está ocorrendo no sistema uma intensa oxidação da matéria orgânica para a manutenção da biomassa microbiana, em função de algum estresse ambiental ou intervenção antrópica na área (NUNES; ARAÚJO FILHO; MENEZES, 2006), sendo necessário mais estudos, pois a RBS varia também com o período do dia (SILVA et al., 2022f).

Quando se trata da variável C da biomassa microbiana (C-BMS), os elevados valores na área PA podem estar associados aos grandes aportes de matéria orgânica nessa área, o que faz com que sempre haja maior quantidade disponível, que é uma representação da quantidade de C retido nas células (SOUSA et al., 2022d).

Em relação ao N da biomassa microbiana do solo (N-BMS), a semelhança entre as áreas cultivadas (CI, PA, CB e MC) pode estar relacionada ao fato de estar havendo pouca ciclagem de N nesses sistemas de produção, uma vez que o N BMS contém a maior quantidade de N ativo, importante na ciclagem de nutrientes (XING et al., 2022).

Com isso, se faz necessário compreender a imobilização de N solo como um fenômeno de extrema importância, uma vez que esse elemento é de fundamental para o crescimento e desenvolvimento das culturas cultivadas, como também para dar suporte ao homem sobre as mudanças causadas pelas atividades antropogênicas (LI et al., 2021a).

Na área utilizada com CI, apesar de haver aportes de N através da aplicação de ureia, não houve diferença dessa área com as demais e também não houve dispersão nos dados. Jia et al. (2020) explicaram que apesar do aporte de N afetar os microrganismos do solo, não está evidente de que forma essa prática pode aumentar o enriquecimento de N na BMS, o que evidencia que ainda há pouco esclarecimento sobre a dinâmica do N na biomassa microbiana do solo.

Concomitantemente, notou-se que as formas de uso do solo com CI, PA, CB e MC não alteraram expressivamente o C-BMS, N-BMS, e por consequência a relação C-BMS/N-BMS.

Ressalta-se que a avaliação isolada da biomassa microbiana não fornece informação concisa, pois a biomassa pode estar inativa, o que torna necessário, avaliar mais atributos (MENDES et al., 2012; GONÇALVES et al., 2020), apesar de estar claro que os microrganismos presentes no solo são de fundamental importância para o funcionamento dos ecossistemas terrestres (SUN et al., 2021).

Ademais, a semelhança entre o C-BMS/N-BMS nas áreas avaliadas pode ser um reflexo da não perturbação do ambiente, uma vez que os microrganismos são sensíveis a qualquer perturbação do ambiente. No entanto, Cherubin et al. (2015) avaliando qCO_2 em Latossolos com diferentes formas de uso e manejo, não encontraram diferença entre áreas avaliadas, sendo atribuído aos altos coeficientes de variação (CVs), que é característica inerente a esta variável.

Notou-se que o menor qCO_2 em CB, em relação a MC pode ser explicado pelo fato de a área MC estar representando condições mais naturais sem estresses. Em condições estressantes os microrganismos, eles reduzem seus coeficientes metabólicos (SANTOS et al., 2018; SOUZA et al., 2021).

A maior liberação de CO_2 em MC em função da mineralização da matéria orgânica do solo de forma mais intensa (MACEDO et al., 2023), confirmando o que Dinesh et al. (2003) encontraram, ao obterem maiores qCO_2 em floresta, quando comparada ao solo cultivado. Os autores ainda ressaltaram o fato que os microrganismos sob floresta, necessitam dispendem maiores quantidades de energia.

Contudo, notou-se que as menores quantidades de qCO_2 em solos cultivados na Caatinga, como em CB, por exemplo, também pode ser indicativo que os microrganismos se aperfeiçoaram na economia de energia nas camadas superiores do solo, liberando menos CO_2 e incorporando mais esse importante elemento químico para o ecossistema. Isso pode ser interpretado como um ecossistema eficiente, mas não literalmente produtivo (MACEDO et al., 2023).

Para isso, pode-se destacar os resultados semelhantes obtidos por Pessoa et al. (2022), avaliando qCO_2 em áreas de floresta, pasto e pastagem tradicional, em região semiárida do Pernambuco, onde não houve diferença entre as áreas avaliadas, em que foram avaliados estoques de C e N e atividade microbiológica nas áreas supracitadas.

O maior quociente microbiano ($qMIC$) expressa o índice de qualidade nutricional oferecido pela matéria orgânica do solo (GONÇALVES et al., 2019; AMORIM et al., 2020), indicando a quantidade e a qualidade da matéria orgânica (SILVA et al., 2020c). Ademais, ainda com base nos últimos autores, o valor superior da matéria orgânica em MC, é um reflexo

de que a adição está sendo superior as perdas, refletindo nos maiores valores de qMIC, indicando que está havendo fixação de C nas células microbianas (SOUSA et al., 2022).

Pontua-se o fato de que o maior qMIC expressa melhores condições a atividade microbiana, sendo um reflexo de que a matéria orgânica está ativa, e não havendo muitos processos estressantes que possam dificultar ou estabelecer a eficiência dos microrganismos (CHAER; TÓTOLA, 2007), sendo esses excelentes indicadores de processos que ocorrem no solo, como regulação, transformação e acúmulo de nutrientes (HOFFMANN et al., 2018).

Vale ressaltar que os valores médios de qMIC ficaram acima dos 3,0%, sendo um reflexo que os atributos qMIC nestas áreas avaliadas, estão sendo considerados satisfatórios, uma vez que quando valores de qMIC estão inferiores a 1%, indicam que está havendo algum fator limitante a atividade microbiana do solo (ARAUJO FILHO et al., 2017). A única área abaixo de 2% foi a área de CB, mas mesmo assim, não foi inferior a 2% (Figura 12B).

Notou-se, na análise de componentes principais, que os atributos químicos expressaram diferença significativa provavelmente em função do sistema do uso do solo em CI, uma vez que o excesso de sais prejudica de forma significativa os atributos do solo (TAVARES FILHO et al., 2020), de natureza química, física e biológica.

Em função de os agregados do solo serem essencialmente formados em razão do COT, percebe-se efeito benéfico da matéria orgânica na qualidade do solo (SALOMÃO et al., 2020), uma vez que a matéria orgânica serve como agente cimente entre as partículas unitárias do solo (SOUSA et al., 2020), formando agregados, que são formados por um aglomerado de partículas minerais, pouco expostas ao meio, e que representam expressiva significância para os serviços ecossistêmicos do solo.

Ademais, avaliando o dendrograma, percebe-se claramente uma divisão das áreas estudadas, sendo a área CI a que está passando por um problema intenso de degradação e a área MC que é a mais preservada de todas. Enquanto isso, PA e CB se assemelham na preservação de seus atributos.

Ao se avaliar isoladamente o IQS de acordo com os atributos químicos, físicos e biológicos, notou-se que o IQS de maior expressividade obtido foi na área PA, para os atributos químicos e físicos, ao passo que os atributos biológicos de melhor significância quando se trata de avaliar o IQS, são os atributos de natureza biológica. A avaliação individual do IQS se faz importante para determinar de forma pontual qual o melhor atributo, e qual (is) suas interferências na funcionalidade do solo, influenciando de forma positiva ou negativa o solo, o que torna o IQS uma importante ferramenta para avaliar a qualidade ambiental (ASSUNÇÃO et al., 2023).

Ao avaliar de forma geral, percebeu-se que o IQS nos atributos químicos e físicos continuaram mostrando de forma significativa que o uso do solo com PA forneceu os melhores resultados no sentido de IQS global, ao passo que os atributos biológicos se mostraram mais significativos em MC. Provavelmente, o sistema radicular da palma forrageira, que forma uma expressiva rede na área subsuperficial, onde está a maior quantidade de água no período das chuvas, favoreceu a qualidade do IQS nessa área PA (SALVADOR et al., 2021).

Os quatro tipos de raízes da palma forrageira possibilitaram a obtenção de maior IQS do solo nas áreas avaliadas tanto individualmente, como agrupada. As raízes estruturais, absorventes, esporão e aréolas, que são especializadas na absorção de água superficial em locais que apresentam baixa precipitação pluviométrica, influenciaram sobremaneira o resultado (DUBEUX JÚNIOR et al., 2010; JARDIM et al., 2020; SALVADOR et al., 2021).

Em relação a quantificação do valor do IQS, pois há uma necessidade de mensurar através de números, se determinado manejo está ruim, bom ou ótimo, ou em termos de números, se está baixo, médio ou alto, percebeu-se que o capim buffel e a palma forrageira foram os que apresentaram melhores IQS, para os atributos químicos, assim como para os atributos físicos. Quando se trata de biológicos, palma forrageira se sobressaiu. Em se tratando de IQS geral, as quatro áreas apresentaram resultados altos, significando que os usos do solo na fazenda Carnaúba, sendo guardados os respectivos alertas realizados nesse estudo, principalmente no que diz respeito a área com capim irrigado, estão adequados ou pelo menos, estão sendo conduzidos para uma adequação do uso do solo semiárido de Caatinga.

Por ser um conjunto expressivo de variáveis avaliadas conjuntamente, fica difícil mensurar qual atributo está verdadeiramente influenciando significativamente ou negativamente a qualidade do solo. Por isso, a quantificação se faz importante, como relatam (FREITAS et al., 2012), ao sentirem dificuldades para estabelecer esses números, sendo esse um dos principais entraves no desenvolvimento de estudos sobre sustentabilidade (MELLONI et al., 2008).

6. CONCLUSÕES

O IQS foi mais influenciado por atributos físicos, principalmente aqueles que são mais diretamente impactados pelos atributos químicos, como os indicadores de salinidade (CE, PST e Na⁺). Portanto, o IQS foi mais dependente da estruturação e grau de dispersão do solo.

As áreas ocupadas por capim-buffel e palma forrageira apresentaram IQS iguais e superiores a 0,9, respectivamente.

A área irrigada com capim-tifton apresentou o menor IQS, sugerindo que essas áreas em solos do semiárido sejam monitoradas adequadamente, principalmente pela qualidade química da água utilizada na irrigação, atrelando-se a um bom manejo de matéria orgânica.

Em todas as áreas, os atributos biológicos pouco influenciaram o IQS, sugerindo que o uso de matéria orgânica seja condicionante obrigatória, para qualquer que seja o uso do solo no semiárido.

A avaliação conjunta dos atributos químicos, físicos e biológicos reflete melhor o “status” do solo e é mais apropriada para o estabelecimento de seu índice de qualidade, sugerindo que esses atributos sejam interpretados de forma contextualizada, para uma mais adequada avaliação do uso do solo.

O IQS de todas as áreas com seus diferentes usos foi considerado alto, quando se avaliou conjuntamente os atributos químicos, físicos e biológicos, sugerindo que os usos estão sendo adequados no ambiente estudado, desde que seja observada as recomendações de manejo de matéria orgânica, recomendada para esses ambientes semiáridos de forma contínua e dinâmica.

7. REFERÊNCIAS

- ABDEL-FATTAH, M. K.; MOHAMED, E. S.; WAGDI, E. M. SHAHIN, S. A.; ALDOSARI, A. A.; LASAPONARA, R.; ALNAIMY, M. A. Quantitative evaluation of soil quality using Principal Component Analysis: The case study of El-Fayoum depression Egypt. *Sustainability*, v. 13, n. 4, p. 1824, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13041824>
- ADE, F. H. N.; ALMEIDA, C. D. G. C.; ALMEIDA, B. G.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; MANTOVANELLI, B. C.; ARAÚJO FILHO, J. C. Atributos físico-hídricos do solo via funções de pedotransferência em solos dos tabuleiros costeiros de Pernambuco. *Irriga*, v. 25, n. 1, p. 69-86, 2020. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2020v25n1p69-86>.
- AGBESHIE, A. A., ABUGRE, S., ATTA-DARKWA, T.; AWUAH, R. A review of the effects of forest fire on soil properties. *Journal of Forestry Research*, v. 33, n. 5, p. 1419-1441, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11676-022-01475-4>
- AGUIAR NETTO, A. O.; MACHADO, R.; BARRETO, M. C. V. Diagnóstico do processo de salino-sodificação no perímetro irrigado de Jabiberi-SE. *Irriga*, v. 11, n. 4, p. 448 - 459, 2006. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2006v11n4p448-459>
- ALBUQUERQUE, U. P.; ANDRADE, L. H. C. Conhecimento botânico tradicional e conservação em uma área de Caatinga no Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil. *Acta botânica brasílica*, v. 16, n. 3, p. 273-285, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062002000300004>
- ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; GATIBONI, L. C.; ELTZ, F. L. F. Atividades agrícolas de produção em solos frágeis no sul do Brasil. *Tópicos em ciência do solo*. v. 7, p. 367 – 403, 2011.
- ALLEONI, L. R. F.; MELLO, J. W. V.; ROCHA, W. S. D. Eletroquímica, adsorção e troca iônica no solo. In: Mello, V. F.; Alleoni, L. R. F. (Eds.) *Química e mineralogia do solo – Parte II: Aplicações*. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 69-130, 2009.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, R. A. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth Science Review*, v. 17, n. 1 - 2, p. -1 – 29, 1981. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(81\)90003-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(81)90003-9)
- ALMEIDA, B. G. **Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo**. 2008. 103 f. Tese de Doutorado – ESALQ/USP, Piracicaba-SP, 2008.
- ALMEIDA, B. G.; VIANA, J. H. M.; TEIXEIRA, W. G.; DONAGEMMA, G. K. Densidade do solo. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2017.
- ALVARENGA, C. C.; MELLO, C. R.; MELLO, J. M.; SILVA, A. M.; CURI, N. Índice de qualidade do solo associado à recarga de água subterrânea (IQS_{RA}) na bacia hidrográfica do Alto Rio Grande, MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 5, p. 1608 – 1619, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500025>

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711 – 728, 2013. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- AMORIM, S. P. N.; BOECHAT, C. L.; DUARTE, L. S. L.; ROCHA, C. B.; GRASSES, F. S. C. Legumes as cover crops affect microbial attributes in oxisol in the cerrado (*Savannah environment*) in the northeast region. *Revista Caatinga*, v. 33, n. 1, p. 31 – 42, 2020. <https://doi.org/10.1590/1983-21252020v33n104rc>
- ANDRADE, F. H. N.; ALMEIDA, C. D. G. C.; ALMEIDA, B. G.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; MANTOVANELLI, B. C.; ARAÚJO FILHO, J. C. Atributos físico-hídricos do solovia funçõesde pedotransferência em solos dos tabuleiros costeirosde Pernambuco. *Irriga*, v. 25, n. 1, p. 69 - 86, 2020. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2020v25n1p69-86>
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. **A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils**. *Soil Biology and Biochemistry*, United Kingdom, v. 10, n. 3, p. 215-221, 1978. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(78\)90099-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(78)90099-8)
- ARAÚJO NETO, R. A.; MAIA, S. M. F.; ALTHOFF, T. D.; CERRI, C. E. P.; CARVALHO, A. L.; MENEZES, R. S. C. Simulation of soil carbon changes due to conventional systems in the semi-arid region of Brazil: adaptation and validation of the century model. **Carbon Management** v. 12, n. 4, p. 399 – 410, 2021. <https://doi.org/10.1080/17583004.2021.1962978>
- ARAÚJO FILHO, R. N.; FREIRE, M. B. G. S.; WILCOX, B.P.; WEST, J. B.; FREIRE, F. J.; MARQUES, F. A. Recovery of carbon stocks in deforested caatinga dry forest soils requires at least 60 years. **Forest Ecology and Management**, 407, p. 210 - 220, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.002>
- ARSHAD, M. A. COEN, G. M. Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 7, n. 12, p. 25 – 31, 1992. <https://doi.org/10.1017/S0889189300004410>
- ARTUR, A. G.; OLIVEIRA, D. P.; COSTA, M. C. G.; ROMERO, R. E.; SILVA, M. V. C.; FERREIRA, T. O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 2, p. 141 – 149, 2014. <http://www.agriambi.com.br/>
- ASSIS, P. C. R.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, J. M.; WRUCK, F. J.; MADARI, B. E.; HEINEMANN, A. B. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Agrarian**, v.12. n. 43, p. 57 – 70, 2019. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v12i43.8520>
- AUGUSTO, M. V. S.; DEMETRIO, G. B.; LAJUSC, C. R.; AZEVEDORIBEIRO, P. F.; DUARTE, E. R.; SAUER, A. V. Preservação de Recursos Naturais Através de Práticas de Manejo e seus Impactos na Qualidade Física do Solo. **Uniciências**, v. 26, n. 2, p. 108-119, 2022. <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2022v26n2p108-119>

- BABUR, E. Effects of parent material on soil microbial biomass carbon and basal respiration within young afforested áreas. **Scandinavian journal of forest research**, v. 34, n. 2, p. 94 – 101, 2019. <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1561936>
- BARBOSA, T. C. S.; COSTA, N. M. G. B.; SANTOS, D. B.; MACHADO, M. S.; MARQUES FILHO, F. Qualidade física do solo em áreas sob manejo agroecológico e convencional **Brazilian Journal of Development** v. 6, n. 7, p. 48899 - 48909, 2020. <https://10.34117/bjdv6n7-511>
- BARBOSA, T. C. S.; OLIVEIRA, V. P. V. Indicadores químicos e biológicos de qualidade do solo utilizados no monitoramento da degradação em ambientes semiáridos: análise do estado da arte. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 3, p. 17403 - 17423, 2022. <https://10.34117/bjdv8n3-126>
- BARBOSA NETO, M. V.; ARAÚJO, M. S. B.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ALMEIDA, B. G. Rill and sheet soil erosion estimation in an area undergoing desertification in the Brazilian semi-arid region. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 7., n. 2, p.1183 – 1191, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-01026-y>
- BARETA JÚNIOR, E.; SILVA, A. A. P.; SENS, T. M. Z. G.; COLECHA, K.; RAMPIM, L.; POTT, C. A. Soil physical properties in variable levels of soil compaction. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i2.8686>
- BARRETO, A. C.; FERREIRA NETO, M.; OLIVEIRA, R. P.; MOREIRA, L. C. J.; MEDEIROS, J. F.; SÁ, F. V. S. Comparative analysis of spectral indexes for soil salinity mapping in irrigated areas in a semi-arid region, Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 209, p. 104888, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104888>
- BARRETO, A. B.; TAVARES, D. D.; SILVA, P. L. F.; OLIVEIRA, F. P.; MARTINS, A. F.; PEREIRA, W. E. Argila dispersa em água e grau de floculação de um Latossolo sob gramíneas no Brejo da Paraíba (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.7, n.3. 010-019 (2019).
- BATISTÃO, A. C.; HOLTHUSEN, D.; REICHERTA, J. M.; PORTELA, J. C. Soil solution composition affects microstructure of tropical saline alluvial soils in semi-arid environment. **Soil & Tillage Research**, v. 203, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104662>
- BELTRÃO, B. A.; MORAIS, F.; MASCARENHAS, J. C.; SOUZA JÚNIOR, L. C.; MIRANDA, J. L. F. SOUZA JÚNIOR, L. C.; MENDES, V. A.; CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Tapeorá, Paraíba. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético dos Estados e Municípios. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea – Paraíba**. Ministério das Minas e Energia. Acessado em 13 – 04 - 2023. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/paraiba/relatorios/SAOJ178>

- BINI, D.; SANTOS, C. A.; BERNAL, L. P. T.; ANDRADE, G.; NOGUEIRA, M. A. Identifying indicators of C and N cycling in a clayey Udisol Under different tillage and uses in winter. **Applied Soil ecology**, Amsterdam, v.76, p.95-101, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.12.015>
- BITENCOURT, G. A.; DEKNES, L. B.; LAURA, V. A. Crescimento de mudas de eucalipto em solo com aplicação do lodo de curtume. **Scientia Plena**, v. 18, n. 3, 2022. <https://10.14808/sci.plena.2022.034901>
- BREJDA, J. J.; MOORMAN, T. B.; KARLEN, D. L.; DAO, T. H. Identificação de fatores e indicadores regionais de qualidade do solo: I. Planícies Central e Meridional. **Ciência do Solo Sociedade Sou Journal**. v. 64, p. 2115 – 2124, 2000.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1 – 2, p. 03 – 22, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>
- BRYCHKOVA, G.; KEKAE, K.; MCKEOWN, P. C.; HANSON, J.; JONES, C. S.; THORNTON, P.; SPILLANE, C. Climate change and land-use change impacts on future availability of forage grass species for Ethiopian dairy. **Scientific Reports**, v. 12.n. 1, p. 20512, 2022. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23461-w>
- CAMPOS, M. C. C. Atributos dos solos e riscos de lixiviação de metais pesados em solos tropicais. **Ambiência**, v. 6, n. 3, p. 547-565, 2010.
- CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 935 - 944, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500018>
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 147 - 157, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000100016>
- CASALINHO, H. D.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B.; LOPES, A. S. Qualidade do solo como indicador de sustentabilidade de agroecossistemas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 13, n. 2, p. 195-203, 2007.
- CASSOL, C. J.; ARRUDA, E. J.; ALOVISI, A. M. T.; ABRÃO, C. M. R.; SILVA, R. S. Utilização de variáveis físico-químicas do solo para o mapeamento da fragilidade potencial e ambiental na bacia hidrográfica do rio Ivinhema. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 01, p. 466 – 488, 2023. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 527 - 538, 1998.

CAVALCANTE, D. M. **Compartimentos da matéria orgânica e agregação de solo em reabilitação pós-mineração com diferentes adubações e plantas de cobertura**. 2014. 99f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa-UFV, Viçosa, MG. 2014.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1381 - 1396, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600016>

CHERUBIN, M. R.; EITELWEIN, M. T.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S.W.; SILVA, R. F.; SILVA, V. R.; BASSO, C. R. Qualidade física, química e biológica de um latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 615 - 625, 2015. <http://10.1590/01000683rbcs20140462>

CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; LIRA, D. R.; MUTZENBERG, D. S.; CAVALCANTI, L. C. S. The Semi-arid Domain of the Northeast of Brazil. **The Physical Geography of Brazil**. p. 119-150, 2019 a. https://doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9_7

CORREIA, M. D.; MENEZES, R. S. C.; OLINDA, R. A. Modelagem geoestatística da distribuição de carbono do solo e biomassa de herbáceas em sistema silvopastoril na região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 32, n. 1, p. 116 - 129, 2014.

COSTA, C. R. G.; SILVA, M. G.; COSTA, C. A. G.; CUNHA, R. S. M.; SOUSA, M. M.; SOUSA, M. V. P.; LINHARES, A. C. M.; SILVA, S. S.; MARQUES, A. L.; COSTA, D. C. M.; GONCALVES, C. R. Bioindicators of Behavior and Regeneration of a Caatinga Area in the Brazilian SemiArid - A Review. **Journal of Forests**. v. 9, n. 1, p. 01 – 08, 2022. <https://doi.org/10.18488/jof.v9i1.2126>

COSTA JUNIOR, C.; PÍCCOLO, M. C.; SIQUEIRA NETO, M.; CAMARGO, P. B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1311 – 1321. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000400025>

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A. D.; MOREIRA, J. A. A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 56 – 63, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000100008>

DADALTO, J. P.; FERNANDES, H.C.; TEIXEIRA, M. M.; CECON, P. R.; MATOS, A. T. Sistema de preparo do solo e sua influência na atividade microbiana. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 506 – 513, 2015. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n3p506-513/2015>

DALMAGO, G. A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I.; KRÜGER, C. A. M. B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 855 – 864, 2009. <http://www.agriambi.com.br>

DANTAS, F. D. G.; SANTOS, M. V. S.; LIMA, G. F. C.; COÊLHO, J. J.; MEDEIROS, J. F.; CUNHA, M. V. Drip irrigation with saline water combined with mulch cover as strategies for forage cactus production in semi-arid zones

DELGADO, A.; GÓMEZ, J. A. The soil. Physical, chemical and biological properties. **Principles of agronomy for sustainable agriculture**. Springer, Cham. p. 15 – 26, 2016.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_2

DIACK, M.; STOTT, D. E. Development of a Soil Quality Index for the Chalmers Silty Clay Loam from the Midwest. **Purdue University: USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory**, p. 550-555, 2001.

DIAS, V. P.; FERNANDES, E. (2006). Fertilizantes: uma visão global sintética.

DIAS, N. S., BLANCO, F.F., 2010. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: Manejo da, S. (Ed.), alinidade na agricultura estudos básicos e aplicados. INCTSal, Fortaleza.

DINESH, R.; CHAUDHURI, S. G.; GANESHAMURTHY, A. N.; DEY, C. Changes in soil microbial indices and their relationships following deforestation and cultivation in wet tropical forests. **Applied Soil Ecology**, v. 24, n. 1, p. 17 – 26, 2003.
[https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(03\)00070-2](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(03)00070-2)

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and Assessing Soil Quality. **Defining soil quality for a sustainable environment**, v. 35, p. 1 – 21, 1994.
<https://doi.org/10.2136/sssaspepub35.c1>

DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A.; DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. **Defining soil quality for a sustainable environment**, v. 35, p. 01-21. <https://doi.org/10.2136/sssaspepub35.c1>

DUARTE, S. M. A. **O desastre da desertificação no município de Taperoá, Estado da Paraíba, Brasil**. Tese (Doutorado em Engenharia e Gestão dos Recursos Minerais). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB. p. 240. 2008.
<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/6170>

DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; FILHO, J. T. A., SANTOS, M.V.F., LIRA, M.A., SANTOS, D.C., PESSOA, R.A.S. Adubação mineral no crescimento e composição mineral da palma forrageira –Clone IPA-201. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 5, n. 1, p. 129 -135, 2010. <https://doi.org/10.5039/agraria.v5i1a591>

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. v. 5, Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 355 p.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília - DF: Embrapa Solos, 2017. 574 p.

ELKHLIFI, z.; IFTIKHAR, j.; SARRAF, m.; ALI, b.; SALEEM, M. H.; IBRANSHAHIB, I.; BISPO, M. D.; SEZA, L. M.; KAYABASI, E. T.; ANSARI, N. A.; 3 , HEGEDUSOVÁ, A.; CHEN, Z. Potential Role of Biochar on Capturing Soil Nutrients, Carbon Sequestration and Managing Environmental Challenges: A Review. **Sustainability**, v. 15, p. 2527, 2023.
<https://doi.org/10.3390/su15032527>

- ENCHILIK, P.; ASEYEVA, E.; SEMENKOV, I. Labile and Stable Fractions of Organic Carbon in a Soil Catena (the Central Forest Nature Reserve, Russia). **Forests**, v. 14, p. 1367, 2023. <https://doi.org/10.3390/f14071367>
- FACHIN, P. A.; GONÇALVES JUNIOR, E. V.; THOMAZ, E. L. Comparação entre dois modelos de Agitador de Yoder na avaliação da estabilidade de agregados de solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 02, P. 697-704, 2019. <http://www.ufpe.br/rbgfe>
- FARIAS, A. A.; SOUSA, F. A. S.; AIRES, T. L. B. A.; BRITO, T. C. A seca de 2012-2014 no município de Taperoá-PB e o papel das ações de convivência nesse contexto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 01, p. 135 – 158, 2021. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>.
- FERNANDES, B. B.; MARASCA, I.; MARTINS, M. B.; SANDI, J.; SILVA, K. G. P.; LANÇAS, K.P. Efeito do tráfego agrícola na infiltração de água no solo. **Irriga**, v. 27, n. 2, p. 343 - 356, 2022. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2022v27n2p343-356>
- FERREIRA, R. L. C.; SATO, M. K.; RODRIGUES, S.; LIMA, H. V.; TEIXEIRA, O. M. M. Tráfego de máquinas agrícolas em cultivo de palma de óleo: implicações na qualidade física do solo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 62, 2019. <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.2979>
- FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues). Acesso em fevereiro, 2023 <https://cran.rproject.org/web/packages/ExpDes.pt /ExpDes.pt.pdf>
- FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M.; RALISCH, R. Physical soil stability under different management of extensive pasture in haplumbrept soils. **Semina**, v. 31, n. 3, p. 531-538, 2010.
- FIGUEIREDO, J. F.; DAVID, A. M. S. S.; SILVA, C. D.; ALVES, D. D.; AMARO, H. T. R.; NOBRE, D. A. C. Germinação e vigor de sementes de capim-buffel armazenadas em condições ambientais. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 15, n. 3, p. 01 – 13, 2022 <https://10.17765/2176-9168.2022v15n3e9660>.
- FITZSIMONS, M. S.; MILLER, R. M. The importance of soil microorganisms for maintaining diverse plant communities in tallgrass prairie. **American Journal of Botany**, v. 97, n. 12, p. 1937–1943, 2010. <https://doi.org/10.3732/ajb.0900237>
- FREITAS, D. A. F.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; CURI, N. Índices de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso e manejo florestal e cerrado nativo adjacente. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 417-428, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902012000300002>
- FORSYTHE, W. Física de suelos. Costa Rica: IICA, 1975. 212p
- FURRIER, M.; ARAÚJO, M. E.; MENESES, L. L. Geomorfologia e Tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. **Geologia USP. Série Científica**. v. 6, n. 2, p. 61-70, 2006. <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2006000300008>

GEORGIU, K.; JACKSON, R. B.; VINDUSKOVA, O.; ABRAMOFF, R. Z.; AHLSTRÖM, A. FENG, W. HARDEN, J. W.; PELLEGRINI, A. F. A.; POLLEY, H. W.; SOONG, J. L.; RILEY, W. J.; TORN, M. S. Global stocks and capacity of mineral-associated soil organic carbon. **Nature communications**, v. 13, n. 1, p. 1-12, 2022. | <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31540-9>

GERKE, J. The Central Role of Soil Organic Matter in Soil Fertility and Carbon Storage. **Soil Systems**. V. 6, p. 33, 2022. <https://doi.org/10.3390/soilsystems6020033>

GOMES, F. S.; SANTOS, R. A.; GUARIZ, H. R. Levantamento de propriedades de densidade aparente, densidade de partículas e porosidade total em latossolos amarelo. **Agrarian Academy**, v. 6, n. 12, 2019. DOI: 10.18677/Agrarian_Academy_2019b8

GOLDBERG, S.; FORSTER, H. S. Flocculation of reference clays and arid-zone soil clays. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, n. 54, p. 714-718, 1990. <https://10.2136/sssaj1990.0366159950054000300>

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de Lavras – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 567 - 577, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000200026>

GONÇALVES, V. A.; MELO, C. A. D.; ASSIS, I. R.; FERREIRA, L. R.; SARAIVA, D. T. Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 62, 2019a <http://dx.doi.org/10.22491/rca.2019.2611>

GONÇALVES, A. C. S.; RUIVO, M. L. P.; PAULA, M. T.; CASTRO, R. M. S.; TEIXEIRA, O. M. M. Evaluation of the biological indicators of the soil of palm oil plantations in the Municipality of Santa Bárbara do Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 6959 – 6971, 2020b. <https://10.34117/bjdv6n2-118>

GOUVEIA, C. G. S. **Abundância e estrutura genética e bioquímica das comunidades microbianas em solo arenoso cultivado com feijão e milho sob aplicação de biochars oriundos do café**. Dissertação. (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE. p. 111, 2019.

GOWTHAMCHAND, S.; S.; D.; SHARMA, V, VERMA, G.; SINGH, J.; KAUR, M. Variation of Physico-Chemical Properties among Different Soil Orders under Different Land Use Systems of the Majha Region in North-Western Índia. **Sustainability**, v. 15, 4779, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15064779>

GREGORICH, E.G.; CARTER, M.R.; DORAN, J.W.; PANKHURST, C.E.; DWYER, M. Biological attributes of soil quality. In: GREGORICH, E.G.; CARTER, M. (Ed.). *Soil quality for crop production and ecosystem health*. Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science, 1997. [https://10.1016/S0166-2481\(97\)80031-1](https://10.1016/S0166-2481(97)80031-1)

GUBIANI, P. I.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Método alternativo para a determinação da densidade de partículas do solo – exatidão, precisão e tempo de processamento. **Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 664 - 668, 2006.

GUBIANI, P. I.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1-10, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100001>

HALLI, H. M.; GOVINDASAMY, P.; CHOUDHARY, M.; SHINIVASAN, R.; PRASAD, M.; WASNIK, V. K.; YADAV, V. K.; SINGH, A. K.; KUMAR, S.; VIJAY, D.; PATRAK, H. Range grasses to improve soil properties, carbon sustainability, and fodder security in degraded lands of semi-arid regions. **Science of the Total Environment**, v. 851, p. 158211, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158211>

HERENCIA, J. F.; PÉREZ-ROMERO, L. F.; DAZA, A.; ARROYO, F. T. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional Japanese plum orchards **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 37, n. 2, p. 71 – 90, 2021. <https://doi.org/10.1080/01448765.2020.1842243>

HOFFMANN, B. R.; MOREIRA, E. E. A.; HOFFMANN, G. S. S.; ARAÚJO, N. S. F. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 168-178, 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2018a. População dos municípios. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 08 de dezembro de 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Estimativa da população. https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2021/estimativa_do_u_2021.pdf. Acesso em 10 de fevereiro de 2023.

INSAM, H.; MITCHELL, C. C.; DORMAAR, J. F. Relationship of soil microbial biomass and activity with fertilization practice and crop yield of three ultisols. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, v. 23, n.5, p. 459-464, 1991.

JACOMINE, P. K. T.; RIBEIRO, M. R.; MONTENEGRO, J. O.; SILVA, A. P.; MELO FILHO, H. F. R. **Levantamento Exploratório-Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola dos solos do Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: 670 p. (Boletim DPFs. EPE-MA, 15 – Pedologia, 8) 1972. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/330784/2/EPFSBT151972.pdf>

JACOMINE, P. K. T. Solos sob caatingas: Características e uso agrícola. In: ALVARES, V. V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Eds.) *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa: SBCS/UFV, 1996. p. 95-111.

JANSSON, J. K.; HOFMOCKEL, K. S. Soil microbiomes and climate change **Nature Reviews Microbiology**, v18. n.1, p. 35 – 46, 2020. <https://doi.org.10.1038/s41579-019-0265-7>

JARDIM, A.M.R.F.; SILVA, T.G.F.; SOUZA, L.S.B.; SOUZA, M.S. Interaction of agroecosystem intercropped with forage cactussorghum in the semi-arid environment: a review. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, p. 069-087, 2020. <http://dx.doi.org/10.24221/jeap.5.1.2020.2743.069-087>

JIA, X.; ZHONG, Y.; LIU, J.; ZHU, G.; SHANGGUAN, Z.; YAN, W. Effects of nitrogen enrichment on soil microbial characteristics: From biomass to enzyme activities. **Geoderma**, v. 366, p. 114256. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114256>

KARLEN, D. L.; DITZLERB, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, v. 114, p. 145 – 156, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00039-9)

KARLEN, D. L. Effects of Soil and Crop Management Practices on Soil Quality. National Soil Tilth Laboratory Agricultural Research Service, US Department of Agriculture Ames, Iowa, USA (1993).

KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. Uma estrutura para avaliar indicadores físicos e químicos da qualidade do solo. Em: Doran, JW (Ed.), Definindo a qualidade do solo para um ambiente sustentável. Ciência do Solo Sociedade Am., Madison, p. 53–72, 1994.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:4-10, 1997.

KARLEN, D.L.; STOTT, D.E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.53-72. (SSSA Special Publication, 35).

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analyses (Package: factoextra). <https://cloud.rproject.org/web/packages/factoextra/factoextra.pdf>

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARCK, F.E., eds. **Methods of soil analysis**. American Society of Agronomy, 1965. p.499-510. (Agronomy Series, 9).

KENNEDY, A. C.; PAPENDICK, R. I. Microbial characteristics of soil quality. **Journal of soil and water conservation**, v. 50, n. 3, p. 243-248, 1995.

KOGBARA, R. B.; YIMING, W.; IYENGAR, S. R.; ONWUSOGH, U. C.; YOUSSEF, K.; AL-ANSARY, M.; SUNIFAR, P. A.; ARORA, D.; AL-SHARSHANI, A.; ABDALLA, O. A. E.; AL-WAWI, H. M. Recycling industrial biosludge for buffel grass production in Qatar: Impact on soil, leachate and plant characteristics. **Chemosphere**, v. 247, p. 125886, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125886>

LACERDA, N. B.; ZERO, V. M.; BARILLI, J.; MORAES, M. H.; BICUDO, S. B. Efeito de sistemas de manejo na estabilidade de agregados de um nitossolo vermelho. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 686 - 695, 2005.

LACERDA, N. B.; LUSTOSA FILHO, J. F.; BLUM, S. C.; ESCOBAR, M. E. O.; OLIVEIRA, T. S. Organic matter pools in a fluvisol after 29 years under different land uses in an irrigation region in northeast Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 208, p. 104861, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2022.104861>

LAURENTIIS, V.; SECCHI, M.; BOS, U.; HORN, R.; LAURENT, A.; SALA, S. Soil quality index: Exploring options for a comprehensive assessment of land use impacts in LCA. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 63 – 74, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.238>

LARCHER, W. Utilização de carbono e produção de matéria seca. In: Larcher, W. Ecologia vegetal. São Paulo: EPU, 1986. p.74-160.LCA. **Journal of Cleaner Production**, v. 215, p. 63 – 74, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.238>

LEAL FILHO, W.; NAGY, G. J.; SETTI, A. F. F.; SHARIFI, A.; DONKOR, F. K.; BATISTA, K.; DJEKIC, I. Handling the impacts of climate change on soil biodiversity **Science of the Total Environment**, v. 869, p. 161671, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161671>

LETEY, J.; SOJKA, R. E.; UPCHURCH, D. R.; CASSEL, D. K.; OLSON, K. R.; PAYNE, W. A.; PETRIE, S. E.; PRICE, G. H.; REGINATO, R. J.; SCOTT, H. D.; SMETHURST, P. J.; TRIPLETT, G. B. Deficiencies in the soil quality concept and its application. **Journal of soil and water conservation**, v. 58, n. 4, p. 180 -187, 2003.

LI, R.; KAN, S.; ZHU, M.; CHEN, J.; AI, X.; CHEN, Z.; ZHANG, J.; AI, Y. Effect of different vegetation restoration types on fundamental parameters, structural characteristics and the soil quality index of artificial soil. **Soil & Tillage Research**, v. 184, p. 11 – 23, 2018a. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.06.010>

LI, Z.; ZENG, Z.; SONG, Z.; WANG, F.; TIAN, D.; MI, W.; XIN, H.; WANG, J.; SONG, L.; YANG, Z.; WANG, J.; FENG, H.; JIANG, F.; YE, C.; NIU, S. Vital roles of soil microbes in driving terrestrial nitrogen immobilization. **Global change biology**, v. 27, n. 9, p. 1848-1858, 2021. <https://doi.org/10.1111/gcb.15552>

LIMA, R. P.; ROLIM, M. M.; TOLEDO, M. P. S.; TORMENA, C. A.; SILVA, A. R.; SILVA, I. A. C.; PEDROSA, E. M. R. Texture and degree of compactness effect on the pore size distribution in weathered tropical soils. **Soil and Tillage Research**, v. 215, 2022a. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105215>

LIMA, F. F.; DUDA, G. P. MEDEIROS, E.; MARQUES, M. C.; COSTA, D. P.; HAMMECHER, C.; SANTOS, U. J. Land use regulates microbial biomass and activity in highly degraded soil from Brazilian dry tropical forest. **Archives of Agronomy and Soil Science**, p. 1-16, 2022b. <https://doi.org/10.1080/03650340.2022.2099845>

LINS, C. M. T.; SOUZA, E. R.; SOUZA, T. E. M. S.; PAULINO, M. K. S. S.; MONTEIRO, D. R.; SOUZA-JÚNIOR, V. S.; DOURADO, P. R. M.; REGO JÚNIOR, F. E. A.; SILVA, I. J. A.; SCHAFFER, B. Influence of vegetation cover and rainfall intensity on soil attributes in an area undergoing desertification in Brazil. **Catena**, v. 221, p. 106751, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106751>

LOPEZ-ALVAREZ, B.; RAMOS-LEAL, J. A.; MORÁN-RAMÍREZ, J.; ARANGO-GALVAN, C. Edaphological and water quality conditions that limit agricultural development in semi-arid zones of Northeastern Mexico. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, p. 1-17, 2021.

LOPES, R. D.; VEZZANI, F. M.; PARAGUAIO, E. V.; Abordagem da Qualidade do Solo nos trabalhos publicados no Brasil. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 11, n. 1, p. 087 – 105, 2023.

LOSS, A.; FERREIRA, G. W.; COMIN, J. J.; PEREIRA, M. G.; FREO, V. A.; PICCOLO, M. C.; BRUNETTO, G. Carbono orgânico total e oxidável em agregados de um argissolo adubado com dejetos suínos. **Ciencia Suelo**, v. 38, n. 1, p. 12 - 20, 2020.

LUCENA, L. R. Semiaridity and rainfall variability in Northeastern Brazil. **International Journal Semiarid**, v. 6, p. 87 – 97, 2023. <https://orcid.org/0000-0003-4670-265X>

LULL, C.; BAUTISTA, I.; LIDÓN, A.; CAMPO, A. D.; GONZÁLEZ-SANCHIS, M.; GARCÍA-PRATS, A. Temporal effects of thinning on soil organic carbon pools, basal respiration and enzyme activities in a Mediterranean Holm oak forest. **Forest Ecology and Management**, v. 464, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118088>

MA, R.; HU, F.; XU, C.; LIU, J.; ZHAO, S. Response of soil aggregate stability and splash erosion to different breakdown mechanisms along natural vegetation restoration. **Catena**, v. 208, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105775>

MACEDO, R. S., MORO, L., LAMBAIS, E. O., LAMBAIS, G. R., BAKKER, A. P. Effects of degradation on soil attributes under caatinga in the brazilian semi-arid. **Revista Árvore**, v. 47, 2023. <https://doi.org/10.1590/1806-908820230000002>

MACIEL, L. M.; TUNES, L. V. M. A importância dos fertilizantes para a agricultura. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 6, p. 58647 – 58658, 2021. <https://10.34117/bjdv7n6-319>

MAIOL, M. M.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; PRATES, F. B. S.; RODRIGUES, M. N.; SILVA, H. P.; DIAS, A. N.; FREITAS, C. E. S. Atributos físicos do solo, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. *Revista Ceres*, v. 58, n. 6, p. 823-830, 2011.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; SANTOS JUNIOR, J. D. G.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L.; BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 6, p. 873 - 882, 2007.

MARTINS, M. V. E.; SILVA, M. L. N. Propriedades físico-estruturais do solo em área sob processo de degradação próximo às margens do rio Balsas-MA. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 1, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i1.25106>

MATOS, A. T. **Poluição ambiental: Impactos no meio físico**. Viçosa: UFV, 2010. 260p

- MATOS, A. M.; ALMEIDA NETO, O. B.; MATOS, M. P. Saturação do complexo de troca de solos oxídicos com sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 5, p.501 – 506, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000500006>
- MAZURANA, M.; FINK, J. R.; SILVEIRA, V. H.; LEVIEN, R.; ZULPO, L.; BREZOLIN, D. Propriedades físicas do solo e crescimento de raízes de milho em um argissolo vermelho sob tráfego controlado de máquinas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1185 - 1195, 2013.
- MEENA, M. D.; YADAV, R. K.; NARJARY, B.; YADAV, G.; JAT, H. S.; SHEORAN, P.; MEENA, M. K.; ANTIL, R. S.; MEENA, B. L.; SINGH, H. V.; MEENA, V. S.; RAI, P. K.; GHOSH, A.; MOHARANA, P. C. Municipal solid waste (MSW): Strategies to improve salt affected soil sustainability: A review. **Waste Management**, v. 84, p. 38 – 53, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.020>
- MEDEIROS, T. S.; GOMES, A. R. M. G.; ALVES, M. P. B.; MARCELINO, A. S.; SANTOS, D.M.; GIONGO, A. M. M.; COSTA, A. R. Produção de rabanete (*Raphanus sativus* L.) cultivado sob níveis de esterco bovino e respiração basal do solo. **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n. 2, p. 1348 - 1357, 2019. <https://doi.org/10.34115/basr.v3i2.1424>
- MEDEIROS, A. S.; MAIS, S. M. F.; SANTOS, T. C.; GOMES, T. C. A. Losses and gains of soil organic carbon in grasslands in the Brazilian semi-arid region. **Scientia Agricola**, v. 78, n. 3, 2020. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0076>
- MEDEIROS, I. J. N.; MOREIRA, L. N. R.; LOIOLA, A. T.; OLIVEIRA, A. M.; DIAS, N. S. Caracterização das fontes hídricas de estações de dessalinização e impactos do descarte do rejeito salino no solo: estudo de caso na Comunidade de Governador Dix-Sept Rosado, RN. **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n. 6, p. 37868-37878 jun. 2020. <https://10.34117/bjdv6n6-362>
- MELLONI, R.; MELLONI, E.G.P.; ALVARENGA, M.I.N.; VIEIRA, F.B. Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 2461-2470, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000600023>
- MELONI, F.; NAKAMURA, G. M.; GRANZOTTI, C. R. F.; MARTINEZ, A. S. Vegetation cover reveals the phase diagram of patch patterns in drylands. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 534, p. 01 – 09, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.122048>
- MENDES, I. C.; FERNANDES, M. F., CHAER, G. M.; REIS JUNIOR, F. B. Biological functioning of Brazilian Cerrado soils under different vegetation types. **Plant and Soil**, v. 359, p. 183 - 195, 2012. <https://10.1007/s11104-012-1195-6>
- MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; GIONGO, V.; PÉREZ – MARIN, A. M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, v. 72, p. 643-653, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842012000400004>

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria Orgânica do Solo: Métodos de Análises**, Viçosa, UFV, 2017.

MESQUITA, M. G. B.; MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciência Rural**, v. 34, n. 3, p. 963 - 969, 2004.

MONÇÃO, F. P.; OLIVEIRA, E. U.; TONISSI, R. H.; GOES, B. O capim-buffel. **Revista Agrarian**, v. 4, n. 11, p. 258 - 264, 2011.

MONDAL, S.; CHAKRABORTY, D. Global meta-analysis suggests that no-tillage favourably changes soil structure and porosity. **Geoderma**, v. 405, p. 115 – 443, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115443>

MOREIRA, J. N.; LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; ARAÚJO, G. G. L.; SILVA, G. C. Potencial de produção de capim buffel na época seca no semi-árido pernambucano. **Caatinga**, v. 20, n. 3, p. 20 – 27, 2007.

MOREIRA, V. O. G.; ASSISJÚNIOR, R. N.; ARAGÃO, T. C. Crescimento e fotossíntese do milho cultivado sob estresse salino com esterco e polímero superabsorvente Irriga, v. 25, n. 3, p. 603 - 616, 2020. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2020v25n3p603-616>

MOTA, J. C. A.; FREIRE, A. G.; ASSIS JÚNIOR, R. N. Qualidade física de um cambissolo sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1196 - 1206, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500009>

MUKHOPADHYAY, S.; MASTO, R. E.; TRIPATHI, R. C.; SRIVASTAVA, N. K. Application of soil quality indicators for the phytoremediation of mine spoil dumps. **Phytomanagement of polluted sites**, p. 361 - 388, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00014-4>

MUKHERJEE, A.; LAL, R. Comparison of soil quality index using three methods. **PloS one**, v. 9, n. 8, p. e105981, 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105981>

MUNIZ, L. C.; MADARI, B. E.; TROVO, J. B. F.; CANTANHÊDE, I. S. L.; MACHADO, P. O. L. A.; COBUCCI, T.; FRANÇA, A. A. F. S. Soil biological attributes in pastures of different ages in a crop-livestock integrated system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1262 - 1268, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000021>

NEVES, L. V. M. W.; SOUSA, J. E. S.; SANTOS, J. C. B.; ARAÚJO FILHO, J. C.; CORRÊA, M. M.; SOUSA, M. G.; FRACETTO, F. J. C.; FRACETTO, G. G. M.; ARAÚJO, J. K. S.; FREIRE, G. A. P.; FERREIRA, T. O.; SOUZA JÚNIOR, V. S. Weathering of gneiss saprolites and formation of Planosols under semiarid climate (NE Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, p. 104206, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104206>

NORONHA, C. R. B. **Resiliência de solos do agreste pernambucano com pastagem sob ação de poliácridamida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, p. 74, 2018.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; MENEZES, R. I. Q. Impacto da queimada e do pousio sobre a qualidade de um solo sob caatinga no semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 2, p.200-208, 2006

NUNES, L. A. P.L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; HOLANDA JÚNIOR, E. V.; MENEZES, R. I. Q. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob caatinga no semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 01, p. 131 – 140, 2009. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=117625017>

OLIVEIRA, J. F.; FIA, R.; FIA, F. R. L.; RODRIGUES, F. N.; OLIVEIRA, L. F. C.; LEMOS FILHO, L. C. A. Effects of dairy industry wastewater on basal soil respiration, productivity, and nutrient removal by Tifton 85 grass (*Cynodon sp.* **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 155 – 165, 2019. <https://doi.org/10.19084/RCA18015>

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

OLIVEIRA, G. C.; ARRUDA, D. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; VELOSO, G. V.; FRANCELINO, M. R.; SCHAEFER, C. E. G. R. Soil predictors are crucial for modelling vegetation distribution and its responses to climate change. **Science of the Total Environment**. v. 780, p. 146680, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146680>

OLIVEIRA, L. B.; FONTES, M. P. F.; RIBEIRO, M. R.; KER, J. C. Morfologia e classificação de luvisolos e planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no Semiárido do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1333-1345, 2009.

OLIVEIRA, P. C. P.; GLOAGUEN, T. V.; GONÇALVES, R. A. B.; SANTOS, D. L.; COUTO, C. F. Soil Chemistry after Irrigation with Treated Wastewater in Semiarid Climate. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 01 – 13, 2016. <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20140664>

OSAKO, L. S.; CASTRO, D. L.; FUCK, R. A.; CASTRO, N. A.; PITOMBEIRA, J. P. A. Contribuição de uma seção gravimétrica transversal ao estudo da estruturação litosférica na porção setentrional da Província Borborema, NE do Brasil. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 29, n. 02, p. 309 – 329, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2011000200008>

O'SULLIVAN, LILIAN, CREAMER, R. E.; FEALY, R.; LANIGAN, G.; SIMO, I.; FENTON, O.; CARFRAE, J.; SCHULTE, R. P. O. Functional Land Management for managing soil functions: A case-study of the trade-off between primary productivity and carbon storage in response to the intervention of drainage systems in Ireland. **Land use policy**, v. 47, p. 42-54, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.03.007>

PACHECO, L. P.; MIGUEL, A. S. D. C. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; SOUZA, E. D.; SILVA, F. D. Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 464 - 472, 2015. <http://www.agro.ufg.br/pat>

PANCHAL, P.; PREECE, C.; PEÑUELAS, J.; GIRI, J. Soil carbon sequestration by root exudates. **Trends in Plant Science**, v. 8, p. 749 – 757, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.04.009>

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um Argissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 713 - 720, 2002.

PINHEIRO JÚNIOR, C. R.; SALVADOR, C. A.; TAVARES, T. R.; ABREU, M. C.; FAGUNDES, H. S.; ALMEIDA, W. S.; SILVA NETO, E. C.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Lithic soils in the semi-arid region of Brazil: edaphic characterization and susceptibility to erosion. **Journal of Arid Land**, v. 14, n. 1, p. 56-69, 2022. <http://jal.xjegi.com/>

PESSÔA, G. C. M.; PISCOYA, V. C.; ROLIM NETO, F. C.; ARAÚJO FILHO, R. N.; MELO, R. C. P.; PESSÔA, U. C. M.; SILVA, L. J. S.; CUNHA FILHO, M.; ALMEIDA, R. C. S.; PISCOYA, T. O. F.; MORAES, A. S.; GOMES FILHO, R. R.; MEDEIROS, R. M.; SABOYA, L. M. F.; PEDROTTI, A.; F. S. R.; FERNANDES, H. M. M. SANTOS, L. D. V. Carbon and Nitrogen Stocks and Microbiological Activity Under Forest-Pasture System and Traditional Pasture in Pernambuco, **Floresta e Ambiente**, v. 29, n. 2, 2022. <https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2021-0068>

PEREZ-MARIN, A. M.; CAVALCANTE, A. M. B.; MEDEIROS, S. S.; TINÔCO, L. B. M.; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parcerias estratégicas**, v. 17, n. 34, p. 87 – 106, 2012.

PEREZ-MARIN, A. M.; VENDRUSCOLO, J.; ZÁRATE-SALAZAR, J. R.; QUEIROZ, H. A. A.; MAGALHÃES, D. L.; MENEZES, R. S. C.; FERNANDES, I. M. Monitoring Desertification Using a Small Set of Biophysical Indicators in the Brazilian Semiarid Region. **Sustainability**, v. 14, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14159735>

PIRES, L. F.; ROSA, J. A.; TIMM, L. C. Comparação de métodos de medida da densidade do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 1, p. 161-170, 2011. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i1.5507>

PISTOCCHI, C.; RAGAGLINI, G.; COLLA, V.; BRANCA, T.A.; TOZZINI, C.; ROMANIELLO, L. Exchangeable Sodium Percentage decrease in saline sodic soil after Basic Oxygen Furnace Slag application in a lysimeter trial. **Journal of Environmental Management**, v. 203, n. 1, p. 896 - 906, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.05.007>

POLICH, N. G.; LOZANO, L. A.; VILLAREAL, R.; SALAZAR, M. P.; MELANI, E. M.; SORACCO, C. G. Cover crops effects on anisotropy of unsaturated soil hydraulic properties. **Soil and Tillage Research**, v. 227, p. 106601, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105601>

PRADO, R. M. A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: revisão de literatura. **Revista de Biociências**, v. 9, n. 3, p. 7 - 16, 2003.

PRAVALIE, R.; PATRICHE, C.; BORRELLI, P.; PANAGOS, P.; ROȘCA, B.; DUMITRAS, M.; NITA, ION-ANDREI, SAVULESCU, IONUT.; MARIUS-VICTOR, BIRSAN.; GEORGETA, B. Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective. **Environmental Research**. v. 194, p. 110697, 2021a. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110697>

PRAVALIE, R.; NITA, I. A.; PATRICHE, C.; NICULIȚA, M.; BIRSAN, M. V.; ROȘCA, B.; BANDO, G. Global changes in soil organic carbon and implications for land degradation neutrality and climate stability. **Environmental Research**. v. 201, p. 111580, 2021b. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111580>

PRESTON, W.; NASCIMENTO, C. W. A.; SILVA, I. J. A. B.; SILVA, D. J.; FERREIRA, H. A. Soil fertility changes in vineyards of a semiarid region in Brazil **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 17, n. 3, p. 672 – 685, 2017. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000300010>

PULIDO-MONCADA, M.; PETERSEN, S. O.; MUNKHOLM, L. J. Soil compaction raises nitrous oxide emissions in managed agroecosystems. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, n. 03, p. 38 – 64, 2022. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00773-9>

RAFAEI, M.; BASHARI, H.; MOSADDEGHI, M. R.; JAFARI, R. Assessing the impacts of land use and land cover changes on soil functions using landscape function analysis and soil quality indicators in semi-arid natural ecosystems. **Catena**, v. 177, p. 260-271, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.02.021>

RAHMANI, S. R.; ACKERSON, J. P.; SCHULZE, D.; ADHIKARI, K.; LIBOHOVA, Z. Digital Mapping of Soil Organic Matter and Cation Exchange Capacity in a Low Relief Landscape Using LiDAR Data. **Agronomy**, v. 12, n. 6, p. 1338, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12061338>

RAIESI, F.; SALEK-GILANI, S. Development of a soil quality index for characterizing effects of land-use changes on degradation and ecological restoration of rangeland soils in a semi-arid ecosystem. **Land Degradation & Development** v. 31, n.12, p. 1533 – 1544, 2020. <https://doi.org/10.1002/ldr.3553>

RAMOS, A. M. R.; AMORIM, B. M. B.; FREIRE, C. T. M.; LIMA, D. F. A. L. Atributos físicos do solo em sistema consorciado e monocultivo do maracujá (*Passiflora edulis*). **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 13, n. 1, p. 80 – 87, 2019.

REIS, L. S.; SILVA, E. D.; BARROS, B. G. A.; OLIVEIRA, F. J. V. Compactação do Solo: Uma visão Agrônômica e Ambiental. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28487>

RESENDE, R. S.; AMORIM, J. R.; CRUZ, M. A.; MENESES, T. N. Distribuição espacial e lixiviação natural de sais em solos do Perímetro Irrigado Califórnia, em Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 46 – 52, 2014. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsuppS46-S52>

REZENDE, J. S.; FREIRE, F. J.; ARAÚJO FILHO, J. C.; FREIRE, M. B. G. S.; ALMEIDA, B. G.; SANTOS, L. R. C. Impact of deforestation on the soil physical and chemical attributes, and humic fraction of organic matter in dry environments in Brazil. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, v. 15, p. 465 – 475, 2022. <https://doi.org/10.3832/ifor4016-015>

REZAPOUR, S.; NOURI, A.; JALIL, H. M.; HAWKINS, S. A.; LUKAS, S. B. Influence of Treated Wastewater Irrigation on Soil Nutritional-Chemical Attributes Using Soil Quality Index. **Sustainability**, v. 13, n. 4, p. 1952 – 1972, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13041952>

RIBEIRO, P. G.; MARTINS, G. C.; GASTAUER, M.; SILVA JUNIOR, E. C.; SANTOS, D. C.; CALDEIRA JÚNIOR, C. F.; CAVALCANTE, R. B. L.; SANTOS, D. S.; CARNEIRO, M. A. C.; VALADARES, R. B. S.; NASCIMENTO JUNIOR, W. R.; OLIVEIRA, G.; SOUZA FILHO, P. W. M.; JUNIO RAMOS, S. Spectral and Soil Quality Index for Monitoring Environmental Rehabilitation and Soil Carbon Stock in an Amazonian Sandstone Mine. **Sustainability**, v. 14, n. 2, 597, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14020597>

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: US Department of Agriculture, 1954.

ROCHA, A. F. B.; SIQUIEROLI, A. C. S.; SILVA, A. A.; CARNEIRO, A. M. L.; VASCONCELOS, B. N. F.; GONDIM, D. V. R. Indicadores de Qualidade do Solo em Sistemas Agroecológicos no Cerrado Mineiro. *Sociedade e Natureza* v.34, 2022. <https://doi.org/10.14393/SN-v34-2022-62940>

RODRIGUES, L. G.; SILVA, R. P.; MEIRELES, A. C. M.; OLIVEIRA, C. W.; SOUZA, F. L. M. Desenvolvimento de software para o manejo da irrigação utilizando a evapotranspiração da cultura. **Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar** v. 7, n. 1, p. 66 – 90, 2021.

RODRIGUES PINTO, L. A. S.; MORAIS, I. S.; OZÓRIO, J. M. B.; MELO, T. R.; ROSSET, J. S.; PEREIRA, M. G. Soil aggregation and associated organic matter under management systems in sandy-textured soils, subtropical region of Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 195, n. 01, p. 253, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10892-1>

SÁ, L. C.; LAZAROTTO, M.; AVRELLA, E. D.; HILGERT, M. A.; FIOR, C. S. Estresse hídrico e salino no crescimento inicial de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 43, p. 1 - 11, 2023. <https://doi.org/10.4336/2023.pfb.43e202002108>

SABINO, F. C.; SOUZA, L. S. B.; SOUZA, M. A. G.; BARROS, J. P. A.; LUCENA, L. R. R.; JARDIM, A. M. R. F.; ROCHA, A. K. P.; SILVA, T. G. F. Morphological characteristics, biomass accumulation and gas exchange of an important species native for restoration in Semi-arid Brazilian areas affected by salt and water stress. **Plant stress**, v. 2, p. 100021, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100021>

SAFAEI, M.; BASHARI, H.; MOSADDEGHI, M. R.; JAFARIA, R. Assessing the impacts of land use and land cover changes on soil functions using landscape function analysis and soil quality indicators in semi-arid natural ecosystems. **Catena**, v. 177, p. 260 – 271, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.02.021>

SALOMÃO, P. E. A.; KRIEBEL, W.; SANTOS, A. A.; MARTINS, A. C. E. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. *Research, Society and Development*, v. 9, n.1, 2020. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i1.1870>

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 11 - 21, 2008.

SALTON, J. C.; SILVA, W. M.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.. Determinação da agregação do solo Metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste. Dourados: Embrapa, dez 2012. Comunicado Técnico 184:

SALVADOR, K. R. S.; JARDIM, A. M. R. F.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; ALVES, C. P.; PINHEIRO, A. G.; PEREIRA, R. C. G.; SOUZA, L. S. B.; SILVA, T. G. F. Intensificação de sistemas de produção de palma forrageira por meio de consorciação rotativa com gramíneas, leguminosas e oleaginosas: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, p. 2322 – 2343, 2021. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

SANTOS, E. J.; FERREIRA, C. A. Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba. 2002a.

SANTOS, T. E. B.; MELO, M.; RAMOS, T. V.; SOUZA, A. G. V.; BRANDÃO, T. P. Comportamento da comunidade microbiana no sistema silviagrícola na região de cerrado. *Revista Agrotecnologia*, v. 9, n. 2, p. 18 - 27, 2019b. <https://doi.org/10.12971/2179-5959/>

SARAIVA, S. M.; FRAGA, V. S.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SANTOS, R. F.; FELIX, E. S.; KARNEIRO, K. A. A. Mineralogia de luvisolos formados sob gradiente pluviométrico no semiárido Paraibano. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**. v. 3, n. 4, p. 4416 - 4433, 2020. <https://10.34188/bjaerv3n4-142>

SHOKR, M. S.; ABDELLATIF, M. A.; BAROUDY, A. D. E.; ELNASHAR, A.; ALI, E. F.; BELAL, A. A.; ATTIA, W.; AHMED, M.; ALDOSARI, A. A.; SZANTOI, Z.; JALHOUM, M. E.; KHEIR, A. M. S. Development of a Spatial Model for Soil Quality Assessment under Arid and Semi-Arid Conditions. **Sustainability**, v. 13, n. 5, p. 2893, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13052893>

SALES, R. P.; PORTUGAL, A. F.; MOREIRA, J. A. A.; KONDO, M. K.; PEGORARO, R. F. Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 3, p. 429 - 438, 2016. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160052>

SANTOS, F.; SOARES, S. C.; SILVA, T. C.; SOUSA, G. G.; ZULIANI, D. Q.; BLUM, S. C. Queimada e usos do solo na atividade e biomassa microbiana. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 14. S. 02, 2019a. <https://10.17765/21769168.2021v14Supl.2.e8742>

SANTOS, L. N. S.; PASSOS, R. R.; SILVA, L. V. M.; OLIVEIRA, P. P.; GARCIA, G. O.; CECÍLIO, R. A. Avaliação de alguns atributos físicos de um Latossolo Vermelho-amarelo sob diferentes coberturas vegetais. *Bioscience Journal*, v.26, p.940-947, 2010.

SANTOS, L. R.; LIMA, A. M. N.; CUNHA, J. C.; RODRIGUES, M. S.; SOARES, E. M. B.; SANTOS, L. P. A.; SILVA, A. V. P.; FONTES, M. P. F. Does irrigated mango cultivation alter organic carbon stocks under fragile soils in semiarid climate? *Scientia Horticulturae*, v. 255, p. 121 – 127, 2019b. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.015>

SANTOS, W. S.; GANDRA, L. C.; SANTOS, C. R.; OLIVEIRA, F. S.; SANTOS, E. M. S. Milho com capim-buffel e tifton-9 em consórcio: uma análise descritiva. *Research, Society and Development*, v. 11, n.14, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i14.34650>

SALTON, J. C.; SILVA, W. M.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C. Agregação do solo e estabilidade de agregados. In: TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2017. cap. 13, p. 129-138.

SAMPAIO, E.V.S.B.; MENEZES, R.S.C. Perspectivas de uso do solo no semi-árido nordestino. In: ARAÚJO, Q.R. (ED.) 500 anos de uso do solo no Brasil. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p.339-363

SILVA, G. L.; LIMA, H. V.; CAMPANHA, M. M.; GILKES, R. J. OLIVEIRA, T. S. Soil physical quality of Luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. *Geoderma*, v. 167, p. 61 – 70, 2011a. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.09.009>

SILVA, J. L. B., MOURA, G. B. A., SILVA, M. V., LOPES, P. M. O., GUEDES, R. V. S., SILVA, Ê. F. D. F., RODRIGUES, J. A. M. Changes in the water resources, soil use and spatial dynamics of Caatinga vegetation cover over semiarid region of the Brazilian Northeast. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, n. 20, p. 01 – 12, 2020b. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100372>.

SILVA, T. C.; VIANA, T. V. A.; SOUSA, G. G.; BLUM, S. C.; SOUSA, A. M.; AZEVEDO, B. M. Atributos químicos e atividade microbiana em Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes sistemas de manejo com e sem queima em condições de semiárido. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 7, n. 16, p. 575 – 588, 2020c. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071608](https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071608)

SILVA, E. E.; AZEVEDO, PHS; DE-POLLY, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico (INFOTECA-E), Seropédica, 2007d.

SILVA, A. J. **Índices de agregação de solos: influência da fração areia**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Recife-PE, p. 65. 2022e.

SILVA, J. H. C.; BARBOSA, A. S.; GOMES, D. S.; ARAÚJO, M. B. Basal soil respiration in land use and cover systems in a caatinga enclaves moist forest. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 43, n. 4, p. 1849-1858, 2022f. <https://10.5433/1679-0359.2022v43n4p1849>

SILVA, J. O. N.; SANTOS, J.P. A. S.; SALVADOR, K. R. S.; LEITE, R. M. C.; AVIZ, R. O.; SILVA, N. S. G.; AMARAL, E. M. LEITE, M. L. M. V. O uso da irrigação com água salina pode reduzir o déficit de forragem no Semiárido brasileiro? **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5., 2022g. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i5.28357>

SILVA, T. J. A.; SANTOS, M. N. F.; PACHECO, A. B.; BONFIM-SILVA, E. M.; DUARTE, T. F. Avaliação de método alternativo e de condutivímetros na determinação da condutividade elétrica do solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 2, p. 3987 - 3996, 2020h. <http://www.inovagri.org.br/>

SILVA, M. D. P.; DINIZ NETO, M. A.; RUFINO, D. C.; MELO, T. S.; BULHÕES, L. A.; DINIZ, L. M. T.; MESQUITA, E. F. Nutrientes no solo e em coprólitos de minhocas nativas sob sistemas de produção convencional e agroecológico **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, e530111133843, 2022i. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i11.33843>

SILVEIRA, A. R.; ROCHA, W. W.; LEITE, A. M. P.; SANTOS, J. J.; DIAS JÚNIOR, M. S. Capacidade de suporte de cargas de um Latossolo submetido a duas alternativas de uso do solo e sob Floresta Nativa. **Scientia Forestalis**, v. 50, 2022. <https://doi.org/10.18671/scifor.v50.05>

SIMPLÍCIO, A. A. F.; COSTA, C. A. G.; NAVARO-HEVIA, J.; ARAÚJO, J. C. Erosion at hillslope and micro-basin scales in the Gilbués desertification region, Northeastern Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 32. N. 3, p. 1487-1499, 2021. <https://10.1002/ldr.3809>

SCHOENHOLTZ, S. H.; VAN MIEGROETB, H.; BURGERC, J. A. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, v. 138, p. 335 – 356, 2000. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00423-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00423-0)

SINGH, A. K.; ZHU, X.; CHEN, C.; WU, J.; YANG, B.; ZAKARI, S.; JIANG, X. J.; SINGH, N.; LIU, W. The role of glomalin in mitigation of multiple soil degradation problems. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**. v. 52, n. 09, p. 1604 – 1638, 2022. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1862561>

SILVEIRA, H. L. F.; GALVÃO, L. S.; SANCHES, I. D.; SÁ, I. B.; TAURA, T. A. Use of MSI/Sentinel-2 and airborne LiDAR data for mapping vegetation and studying the relationships with soil attributes in the Brazilian semi-arid region. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p. 179-190, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.016>

SOARES, W. A.; SILVA, S. R.; LIMA, J. R. S. Land-use change effect on the hydro-dynamic characteristics of soil in the Brazilian semi-arid region. **Revista Ambiente e Água**, v. 15, 2020.

SOARES, S. C.; SOUSA, G. G.; SILVA, T. C.; SANTOS, R. A. F.; BLUM, S. C.; VIANA, T. V. A. Atributos químicos de um argissolo vermelho-amarelo influenciado pela queimada após nove anos de pousio no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 09 – 17, 2019

SOUSA, J. S.; SANTOS, M. M.; SANTOS, B. N.; SANTOS, N. M. M.; PINTO, L. C. Agricultura em Áreas Industriais e Contaminação por Metais Pesados: Estratégias para redução deste Impacto Ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 01, p. 322 – 331, 2021. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

SOBRAL, L. F., BARRETO, M. D. V., DA SILVA, A. J.; DOS ANJOS, J. L. (2015). Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos.

SOUSA, M. G.; ARAUJO, J. K. S.; FERREIRA, T. O.; ANDRADE, G. R. P.; ARAÚJO FILHO, J. C.; FRACETTO, G. G. M.; SANTOS, J. C. B.; FRACETTO, F. J. C.; LIMA, G. C.; SOUZA JUNIOR, V. S. Long-term effects of irrigated agriculture on Luvisol pedogenesis in semi-arid region, northeastern Brazil. **Catena**, v. 206, 2021b. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105529>

SOUSA, M. G.; ARAUJO, J. K. S.; FRACETTO, G. G. M.; FERREIRA, T. O.; FRACETTO, F. J. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OTERO, X. L.; SANTOS, J. C. B.; SILVA, A. H, N; SOUZA JÚNIOR, V. S. Changes in organic carbon and microbiology community structure due to long-term irrigated agriculture on Luvisols in the Brazilian semi-arid region. **Catena**, v. 212, 2022c. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106058>

SOUSA, T. P.; ANJOS, A. R.; ROCHA, M. C.; MORAIS, H. E. L.; ALBUQUERQUE, A. R.; RAIMAM, M. P. Atividade microbiana como indicador de resposta ambiental em área de deposição de resíduo siderúrgico. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 42, p. 1 - 11, 2022d. <https://doi.org/10.4336/2022.pfb.42e202002089>

SOUSA, M. A.; REIS, I. M. S.; ALMADA, A. P.; ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; PINTO, L. A. S. R.; SILVA, C. F.; SANTOS, O. A. Q. Frações da matéria orgânica em agregados em áreas de terra preta arqueológica, Pará, Brasil. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.11, n.7, p.16-23, 2020e. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.007.0002>

SOUZA, P. V.; SILVA, T. C.; TROLEISI, M. J. B.; SENA, K. A.; SILVA, A. C. R.; SANTOS, T. E. B.; MONTANAR, R. Variabilidade espacial da biomassa e atividade microbiana do solo sob sistema de integração lavoura-pecuária-floresta. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 4, p. 1949-1967, 2021 <https://doi.org/10.5902/1980509861902>

SOJKA, R. E.; UPCHURCH, D. R. Reservations Regarding the Soil Quality Concept. **Soil Science Society of America Journal**. v. 63, n. 5, p. 1039 -1054, 1999.

SOTO, R. L.; PADILLA, M. C.; VENDE, J. Participatory selection of soil quality indicators for monitoring the impacts of regenerative agriculture on ecosystem services. **Ecosystem Services**, v. 45, p. 01 – 13, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101157>

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE - SUDENE. Delimitação do semiárido. 2017 [cited 2022 apr 07]. Available from: <http://antigo.sudene.gov.br/delimitacao-do-semi-arido>

STOCKING, M. A. Tropical Soils and Food Security: The Next 50 Years. **Science**, v. 302, n. 5649, p. 1356 – 1359, 2003. <https://10.1126/science.1088579>

SUN, Y.; WANG, C.; YANG, J.; LIAO, J.; CHEN, H. Y. H. RUAN, H. Elevated CO₂ shifts soil microbial communities from K- to r-strategists. **Global Ecol Biogeography**, v. 30, p. 961 – 972, 2021. <https://doi.org/10.1111/geb.13281>

TAVARES FILHO, G. S.; SILVA, D. F.; MASCARENHAS, N. M. H.; LINS, R. C.; OLIVEIRA, F. F.; ARAÚJO, C. A. S.; MATIAS, S. S. R.; ARAÚJO, C. A. F.; FREITAS NETO, J. P. Qualidade da água no semiárido e seus efeitos nos atributos do solo e na cultura da Moringa oleifera Lam. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 43, n. 3, p. 293 – 301, 2020. <https://doi.org/10.19084/rca.20722>

TELES, J. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; ANDOGNINI, J.; WARMLING, M. I.; OLIVEIRA, B. F. Desenvolvimento de Jiggs em solos de Santa Catarina com diferentes graus de compactação Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 7, p. 69655-69670, 2021 <https://10.34117/bjdv7n7-237>

TORRES, J. L. R.; PEREIRA, M. G.; ASSIS, R. L.; SOUZA, Z. M. Atributos físicos de um latossolo vermelho cultivado com plantas de cobertura, em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 428 - 437, 2015. <https://10.1590/01000683rbc20140597>

TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M. S. P.; BARBOSA, A. A.; RODRIGUEZ, D. A.; SANTANA, M. O.; SESTINI, M. F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p. 197–206, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.012>

TURAN, I. D.; DENGIZB, O.; OZKANC, B. Spatial assessment and mapping of soil quality index for desertification in the semi-arid terrestrial ecosystem using MCDM in interval type-2 fuzzy environment. **Computers and Electronics in Agriculture**. v. 164, p. 104 – 933, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104933>.

VARGAS, L. K.; COSTA, P. B.; BENEDUZI, A.; LISBOA, B. B.; PASSAGLIA, L. M. P.; GRANADA, C. E. Soil fertility level is the main modulator of prokaryotic communities in a meta-analysis of 197 soil samples from the Americas and Europe. **Applied Soil Ecology**, v. 186, p. 104811, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104811>

VENÂNCIO, J. B.; DIAS, N. S.; MEDEIROS, J. F.; MORAES, P. L. D.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOUSA NETO, O. N.; SÁ, F. V. S. Production and Morphophysiology of Onion Grown Under Salinity and Fertilization with Silicon. **Available at SSRN 3995168**. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3995168>

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743 - 755, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000400001>

VICENTE, T. F. V.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; OLIVEIRA, A. K. S.; SOUZA, A. M.P. L. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 11, p. 1215 – 1222, 2012.

- VIEIRA, R. M. S. P.; TOMASELLA, J.; Barbosa, A. A.; Martins, M. A.; Rodriguez, D. A.; Rezende, F. S.; Carriello, F.; Santana, M. O. Desertification risk assessment in Northeast Brazil: Current trends and future scenarios. **Land Degradation & Development**, v. 32, p. 224-240, 2021. <https://doi.org/10.1002/ldr.3681>
- VINHA, A. P. C.; CARRARA, B. H.; SOUZA, E. F. S.; SANTOS, J. A. F.; ARANTES, F. A. C. M. Adsorção de fósforo em solos de regiões tropicais. **Nativa**, v. 9, n. 1, p. 30 - 35, 2021. <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i1.10973>
- WENDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J.C.L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, p. 487 - 494, 2005.
- XAVIER, R. A.; DORNELLAS, P. C.; MACIEL, J. S.; BÚ, J. C. Caracterização do Regime fluvial da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba–PB. **Revista Tamoios**, v. 8, n. 2, p. 15 – 28, 2012. <https://doi.org/10.12957/tamoios.2012.4745>
- XING, T. T., CAI, A. D., LU, C. A., YE, H. L., WU, H. L., HUAI, S. C., WANG, J. Y.; XU, M. G., LIN, Q. M. Increasing soil microbial biomass nitrogen in crop rotation systems by improving nitrogen resources under nitrogen application. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 21, n. 5, 1488-1500, 2022. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(21\)63673-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(21)63673-0)
- YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Filadélfia, v. 19, p. 1467-1476, 1988. <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>
- ZHOU, Z.; WANG, C.; LUO, Y. Effects of forest degradation on microbial communities and soil carbon cycling: A global meta-analysis. **Global Ecol Biogeogr.**v. 27, n. 01, p. 110 – 124, 2018. <https://doi.org/10.1111/geb.12663>
- YU, P.; LIU, S.; ZHANG, L. LI, Q.; ZHOU, D. Selecting the minimum data set and quantitative soil quality indexing of alkaline soils under different land uses in northeastern China. **Science of the Total Environment**, v. 616, p. 564 - 571, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.301>