



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

Geisiane Xavier de Matos Vasconcelos

**Avaliação qualitativa e quantitativa de agroecossistemas e áreas degradadas da
Caatinga por meio de atributos do solo**

MOSSORÓ

2024

Geisiane Xavier de Matos Vasconcelos

**Avaliação qualitativa e quantitativa de agroecossistemas e áreas degradadas da
Caatinga por meio de atributos do solo**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Jeane Cruz Portela

MOSSORÓ

2024

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade da autora, sendo a mesma, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e sua respectiva autora seja devidamente citada e mencionado os seus créditos bibliográficos.

V331a Vasconcelos, Geisiane Xavier de Matos.
Avaliação qualitativa e quantitativa de
agroecossistemas e áreas degradadas da Caatinga
por meio de atributos do solo / Geisiane Xavier
de Matos Vasconcelos. - 2024.
61 f. : il.

Orientadora: Jeane Cruz Portela.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Agrícola e Ambiental, 2024.

1. Degradação do solo. 2. Matéria orgânica. 3.
Multivariada. 4. Micromorfologia. 5. Metodologia
participativa. I. Portela, Jeane Cruz, orient.
II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pela autora. Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Geisiane Xavier de Matos Vasconcelos

**Avaliação qualitativa e quantitativa de agroecossistemas e áreas degradadas da
Caatinga por meio de atributos do solo**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido como requisito
para obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Agrícola e Ambiental.

Defendida em: 23 / 10 / 2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



JEANE CRUZ PORTELA

Data: 31/10/2024 08:14:47-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^ª. Dr^a. Jeane Cruz Portela
Presidente

Documento assinado digitalmente



JOAQUIM EMANUEL FERNANDES GONDIM

Data: 31/10/2024 13:13:40-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Joaquim Emanuel Fernandes Gondim (UVA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente



GABRIELA CARVALHO MAIA DE QUEIROZ

Data: 01/11/2024 12:29:04-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ms. Gabriela Carvalho Maia De Queiroz (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente



PAULO JARDEL MOTA

Data: 24/10/2024 07:48:12-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng. Agrônomo Paulo Jardel Mota (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

Mais um ciclo finaliza e assim como os outros até aqui trago no coração um misto de sentimentos e na mente muitos aprendizados, pois foram anos de muitos desafios, mas sempre com a certeza de que a vitória era certa. Obrigada Deus por me colocar em bom caminho e por preencher ele de pessoas especiais!

Aos meus pais, Iranisa Xavier da Silva (dona mamãe) e Gescildo Lourenço de Matos (dono papai), pelo apoio e motivação desde sempre, mesmo com a distância vocês se fizeram presentes todos os dias, sei das dificuldades e isso só aumenta minha gratidão, que levarei comigo como ensinamento eterno. Aos familiares que acreditaram no meu potencial e me fizeram forte, especialmente meu irmão Messias da Silva Matos.

Ao meu esposo, Arthur Lira Vasconcelos de Sousa Xavier, meu companheiro de curso e de vida, muita mais que um diploma a universidade me proporcionou um encontro de almas, a maior recompensa da minha vida é te ter ao meu lado, encerramos nosso primeiro ciclo e espero te encontrar em todos os outros.

A minha orientadora Jeane Portela, que se tornou muito mais do que uma professora, espero tê-la sempre como amiga, meu coração está cheio de admiração pelo seu jeito único e especial, cheio de bondade e amorosidade por onde quer que vá. Digo sem medo, será sempre fonte de inspiração. Gratidão!

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em especial o Laboratório de Física Manejo e Conservação do Solo e o Prédio Construções Rurais pelos momentos únicos, devo estender meus agradecimentos aos professores tão valorosos Rafael Batista, Marineide Jussara, Joaquim Odilom e todos os outros que estiveram comigo nessa caminhada, sua bondade, gentileza e ensinamentos levo para onde eu for.

Ao Complexo de Laboratórios de Análise de Solo, Água e Planta (LASAPSA/UFERSA), bem como os técnicos Antônio, Valdete, Paula e Kaline. Aos professores José Francismar e Eulene pelo apoio nas análises. Os colegas de laboratório Joaquim Emanuel, Wandson Vieira, Weverton Andrade, Isaque Leite, Paulo Jardel, Davison Gomes, Eliane Gurgel, Diego José, Antônio Genilson, Éder Rodrigues e aos demais, agradeço de todo meu coração pelo apoio nos momentos de aprendizado.

Aos agricultores (as) mais do que especiais da comunidade rural Piracicaba/Upanema RN, Seu João Mariano, Dona Ana Maria, Seu Ademar, Dona Josefa, Júnior e Seu Geni, suas vivências são fontes inesgotáveis de conhecimento. Agradeço também a receptividade de Seu Antônio, Dona Francisca e Uelson Alves da Comunidade Bela Vista/Martins-RN.

Aos membros da Banca Examinadora, pelo tempo dedicado e por todas as contribuições, que tornaram esse trabalho ainda melhor.

Aos amigos (a lista é longa), a convivência foi parte fundamental para meu desenvolvimento humano e acadêmico, meu sincero obrigada a Sara Martins, Ana Candida, Leandra Karla, Samara Nascimento, Isadora Rodrigues, Carla Natanielli, Vêritas Rodrigues, Thiago dos Reis, Bruno Carneiro. Aqueles que fico tão feliz em reencontrar e focar sobre nossas vidas Natália Lilian, Eveliny Sombra e Francisco Dionísio, obrigada por sempre renovarem minhas energias.

Meu coração tem muitos outros agradecimentos a tratar, carrego todos comigo como forma de lembrar o que já fui e o que quero me tornar.

EPIÍGRAFE

Acabe com essas tolas exigências a si mesmo de perfeição em tudo o que faz e de exigí-la também em seus entes amados. Permita-se o prazer de simplesmente fazer. Pinte um quadro apenas para se divertir. Não se preocupe em “não ser pintor”, simplesmente divirta-se pintando.

Wayne Dyer

RESUMO

O bioma Caatinga é marcado por série de fatores que culminam para degradação das áreas produtivas, sejam eles de ordem natural ou antrópica, sendo necessário o estudo das particularidades locais dos solos na paisagem para manutenção dos agroecossistemas. Objetivou-se avaliar as inter-relações entre áreas com estágios de degradação, tendo como referência a mata nativa e áreas produtivas, por meio de análises qualitativas e quantitativas, utilizando metodologia participativa e fotomicrografias, em comunidade rural. Coletou-se amostras deformadas e indeformadas na camada superficial para análises quantitativas físicas-estruturais, químicas, hídricas e e microscopia eletrônica de varredura (MEV), nas três áreas degradadas dispostas da porção superior, intermediária e inferior da paisagem, sendo elas os Pontos 1, 2 (Argissolo) e 3 (Vertissolo), bem como na Mata Nativa (Latossolo) e usos de Acerola e Consórcio de Mamão-Banana (Cambissolo). As análises qualitativas deram-se pela aplicação formulário em campo, para estudantes de agrárias e os agricultores da comunidade rural Piracicaba. Os resultados médios das análises quantitativas foram submetidos a técnica estatística multivariada. Formou-se três fatores, com 86,97% da variância total acumulada. A análise de componentes principais explicou 71,76% dos resultados obtidos, Mata Nativa foi discriminada pelo diâmetro médio ponderado (DMP), magnésio (Mg^{2+}) e acidez potencial ($H+Al$), os Pontos 1 e 2 pela microporosidade, já Ponto 3 pelo silte, argila, sódio (Na^+) e atributos hídricos indicando restrições. A Acerola e o Consórcio foram discriminados pelos atributos físicos-estruturais, químicos e água disponível. A curva de retenção de água no solo (CRS) revelou maior conteúdo de água para os usos e o Ponto 3, em função das frações silte e argila e a microporosidade. A metodologia participativa apontou maior média para os indicadores avaliados no consórcio Mamão-Banana (9,4), Mata Nativa (9,1) e Acerola (8,4), as áreas erosionais apresentaram médias inferiores a 5,0. As fotomicrografias revelaram estrutura granular e pouca evidência de agregados maiores para os Pontos 1, 2 e 3, indicando degradação estrutural. A Mata Nativa apresentou matriz mineral com aspecto homogêneo, estrutura irregular para os agregados e abundância de raízes. Portanto, as análises qualitativas e quantitativas apontam a necessidade da adoção de um conjunto de práticas conservacionistas para as áreas erosionais, frente as potencialidades dos cultivos adotados, que apresentaram melhores condições para atributos físicos, estruturais, químicos e hídricos.

Palavras-chave: Degradação do solo. Matéria orgânica. Multivariada. Micromorfologia. Metodologia participativa.

ABSTRACT

The Caatinga biome is marked by a series of factors that culminate in the degradation of productive areas, whether natural or anthropogenic, requiring the study of local soil characteristics in the landscape to maintain agroecosystems. The objective was to evaluate the interrelationships between areas with stages of degradation, taking native forest and productive areas as reference, through qualitative and quantitative analyses, using participatory methodology and photomicrographs, in a rural community. Disturbed and undisturbed samples were collected in the surface layer for quantitative physical-structural, chemical, water and scanning electron microscopy (SEM) analyses, in the three degraded areas located in the upper, intermediate and lower portions of the landscape, namely Points 1, 2 (Argisol) and 3 (Vertisol), as well as in the Native Forest (Latosol) and uses of Acerola and Papaya-Banana Consortium (Cambisol). Qualitative analyses were performed by applying a form in the field to agricultural students and farmers in the rural community of Piracicaba. The average results of the quantitative analyses were submitted to multivariate statistical techniques. Three factors were formed, with 86.97% of the total accumulated variance. Principal component analysis explained 71.76% of the results obtained. Native Forest was discriminated by the weighted mean diameter (WMD), magnesium (Mg^{2+}) and potential acidity ($H+Al$), Points 1 and 2 by microporosity, and Point 3 by silt, clay, sodium (Na^{+}) and water attributes indicating restrictions. Acerola and Consortium were discriminated by physical-structural, chemical and available water attributes. The soil water retention curve (SWC) revealed higher water content for the uses and Point 3, as a function of the silt and clay fractions and microporosity. The participatory methodology indicated a higher average for the indicators evaluated in the Papaya-Banana consortium (9.4), Native Forest (9.1) and Acerola (8.4), while the erosional areas presented averages below 5.0. The photomicrographs revealed a granular structure and little evidence of larger aggregates for Points 1, 2 and 3, indicating structural degradation. The Native Forest presented a mineral matrix with a homogeneous appearance, irregular structure for the aggregates and abundance of roots. Therefore, the qualitative and quantitative analyses indicate the need to adopt a set of conservation practices for the erosional areas, given the potential of the crops adopted, which presented better conditions for physical, structural, chemical and water attributes.

Keywords: Soil degradation. Organic matter. Multivariate. Micromorphology. Participatory methodology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 . Disposição das áreas no relevo, na Comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.	25
Figura 2 . Curvas de retenção de água para áreas erosionais, mata nativa e sistemas de cultivo, Upanema-RN.....	34
Figura 3 . Distribuição das variáveis físicas, estruturais, químicas e hídricas no círculo de correlação e distribuição da nuvem de pontos que representam os usos da terra, Upanema-RN.....	38
Figura 4 . Condições do solo para os ponto 1 (A e B) e ponto 2 (C e D), com comprimento e grau do declive acentuado na comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.....	40
Figura 5 . Fotomicrografias da Mata Nativa e áreas erosionais da comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.....	42
Figura 6 . Representação esquemática dos indicadores de qualidade do solo na comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 . Caracterização das áreas de estudo, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN	25
Tabela 2 . Atributos físicos e estruturais para as áreas estudadas na camada 0,00-0,05m, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN	30
Tabela 3 . Atributos químicos para as áreas estudadas, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.....	31
Tabela 4 . Atributos hídricos para as áreas estudadas, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.....	33
Tabela 5 . Matriz de correlação de Pearson para os atributos avaliados na comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.....	36
Tabela 6 . Análise fatorial para os atributos avaliados na comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.....	37
Tabela 7 . Média das notas para os indicadores de qualidade do solo obtidas por metodologia participativa, na comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	Água disponível
AF	Análise fatorial
Ca ²⁺	Cálcio trocável
CC	Capacidade de campo
CE	Condutividade elétrica
COT	Carbono orgânico total
CRS	Curva de retenção de água no solo
CTC	Capacidade de troca catiônica
DMP	Diâmetro médio ponderado
Ds	Densidade do solo
FAO	Organização das nações unidas para a alimentação e a agricultura
H+Al	Acidez potencial
IBGE	Instituto brasileiro de geografia e estatística
ILPF	Integração lavoura pecuária floresta
K ⁺	Potássio
kPa	Quilopascal
LASAPSA	Laboratório de análise de solo, água e planta
Macro	Macroporosidade
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
Mg ²⁺	Magnésio trocável
Micro	Microporosidade
MN	Mata nativa
Ms	Massa seca
Na ⁺	Sódio
P	Fósforo
Paer	Porosidade de aeração
Pan-Brasil	Programa de ação nacional de combate à desertificação
PCA	Análise de componentes principais
pH	Potencial hidrogeniônico
PMP	Ponto de murcha permanente
PST	Percentagem de sódio trocável

Pt	Porosidade total
SB	Soma de bases
SiBCS	Sistema brasileiro de classificação de solos
SUDENE	Superintendência do desenvolvimento do nordeste
TFSA	Terra fina seca ao ar
UFERSA	Universidade federal rural do semi-árido
U	Umidade gravimétrica
V	Saturação por bases
WRB	World reference base

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 Geral.....	17
2.2 Específicos.....	18
3 REFERENCIAL TÓRICO	18
3.1 Cenário Brasileiro	18
3.2 Qualidade do Solo	20
4.3 Degradação do Solo.....	23
4 METODOLOGIA	24
4.1 Caracterização Local.....	24
4.2 Análises Quantitativas	26
4.2.1 Físicas e Estruturais	27
4.2.2 Hídricas.....	28
4.2.3 Químicas	28
4.2.5 Interpretação dos Resultados	28
4.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura	29
4.3 Análises Qualitativas.....	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Análises Quantitativas	30
5.1.1 Matriz de Correlação.....	35
5.1.2 Análise Fatorial.....	37
5.1.3 Análise de Componentes Principais.....	38
5.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura	41
5.2 Análise Qualitativa.....	44
5.2.1 Metodologia Participativa	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46

REFERÊNCIAS.....	48
-------------------------	-----------

ANEXO A - FORMULÁRIO APLICADO PARA AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO	64
--	-----------

1 INTRODUÇÃO

Aproximadamente 95% da produção de alimentos do mundo depende do solo. Considerando que um terço dos solos mundiais já apresentam degradação e que se estima uma perda de 10% da produção agrícola até 2025 em virtude da erosão, a aplicação de técnicas sustentáveis tornou-se essencial para sobrevivência humana (FAO, 2021).

A degradação acelerada dos solos mundiais decorre da mudança dos usos da terra, sem considerar sua aptidão agrícola, que é o princípio básico da conservação do solo e da água, como também não leva em consideração a cobertura do solo e práticas conservacionistas de acordo com as particularidades locais (Cassol e Lima, 2003; Bertol *et al.*, 2010; Santos, Griebeler e Oliveira, 2010). Dentre as formas de degradação do solo no planeta estão a erosão hídrica (55,6%), eólica (27,9%), degradação química (12,2%) e física (4,2%). A degradação biológica, salinização, desertificação e as atividades ligadas a escavação da terra (mineração, pedreira, terraplenagem, aterro, construção de obras de engenharia e outros) possuem menor percentual (Hudson, 1995; Portela, 2009; Alves, 2021).

Os processos erosivos nos ambientes são provenientes de um conjunto de ações naturais e antrópicas, capazes de modificar a biosfera, litosfera, atmosfera e a hidrosfera, com isso alteram-se as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, comprometendo toda forma de vida no planeta (Karlen *et al.*, 1997; Theodoro *et al.*, 2021; Kooch *et al.*, 2024). Quanto as propriedades físicas há perda da estrutura, que compromete o espaço poroso. Já a química está inter-relacionada a redução da capacidade de troca catiônica e ciclagem de nutrientes. Por último, a degradação biológica leva a perda de biodiversidade e esgotamento do carbono orgânico do solo (Luján Soto *et al.*, 2021; Çakir *et al.*, 2023).

As áreas caracterizadas pelos climas áridos, semiáridos e subúmidos são particularmente sensíveis ao processo de degradação, essa condição provoca redução ou perda da produtividade das culturas nativas e plantadas, sejam sob irrigação ou sequeiro, com impactos negativos diretos no contexto ambiental, social e econômico (Macedo *et al.*, 2021). No semiárido nordestino essa sensibilidade tem sido motivada pela interferência antrópica sobre os agroecossistemas, caracterizada pela retirada da vegetação nativa da caatinga, junto aos longos períodos de estiagem e altas temperaturas (Martins *et al.*, 2010; Macedo *et al.*, 2023).

Os atributos do solo são importantes indicadores da sua qualidade, refletindo o impacto dos usos ao qual estão submetidos. Sabendo disso é possível promover o manejo sustentável dos agroecossistemas, assim como em ambientes preservados há manutenção da

capacidade produtiva, por meio da adição de resíduos vegetais e animais, ciclagem de nutrientes, atividade microbiana e enzimática (Xu *et al.*, 2020; Kooch *et al.*, 2024).

Dentre esses indicadores estão os químicos, destaca-se os parâmetros de carbono orgânico total, complexo sortivo e potencial hidrogeniônico, que estão diretamente ligados a disponibilidade de nutrientes às plantas garantindo a produtividade das culturas agrícolas. Quanto aos atributos físicos estão as análises granulométricas, densidade e porosidade do solo, estabilidade de agregados, estrutura do solo e água disponível, essa estruturação do solo é fundamental para o fluxo de água, aeração e desenvolvimento de raízes. Já os atributos biológicos podem ser obtidos por meio da biomassa microbiana, com auxílio das fotomicrografias, bem como análise visual (Rabot *et al.*, 2018; Cui *et al.*, 2019).

A obtenção desses atributos ocorre a partir de diferentes metodologias, sendo elas quantitativas e/ou qualitativas, as mesmas se complementam, a primeira se trata de técnicas laboratoriais, enquanto a segunda parte da percepção do avaliador, a partir das condições de campo. Pode reunir a comunidade acadêmica e o agricultor(a), funciona como ferramenta para unir essas duas vertentes de conhecimento (Altieri e Nicholls, 2002; Hopkins, Semenova-Nelsen e Sikes, 2023).

Embora os métodos laboratoriais se constituam como mais precisos e exatos, o custo e tempo necessário para obtenção de informações tornam esses métodos de difícil aplicação para os agricultores(as), refletindo em um planejamento agrícola inadequado das terras (Amado *et al.*, 2007; Niero *et al.*, 2010). Sabendo disso desenvolveu-se metodologias participativas para avaliação visual da qualidade do solo, baseada em atributos sensíveis às alterações do manejo, sua aplicação necessita do conhecimento prático construído pelo agricultor(a) ao longo do tempo, tornando-se ferramenta indispensável para o diagnóstico rápido e posterior aplicação de técnicas de manejo e conservação do solo e da água (Eurich *et al.*, 2014; Souza *et al.*, 2014).

Nesse sentido, a partir do conhecimento dos atributos do solo sob diferentes usos, pode-se definir o conjunto de práticas de manejo do solo e dos cultivos agrícolas, que são essenciais para recuperação e manutenção da capacidade produtiva, dos recursos hídricos e a garantia de terras agricultáveis, a partir do conhecimento qualitativo e quantitativo (Anning *et al.*, 2023).

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Objetivou-se avaliar as inter-relações entre áreas com estágios de degradação, tendo como referência a mata nativa e áreas produtivas, por meio de análises qualitativas e quantitativas, utilizando metodologia participativa e fotomicrografias e os resultados médios dos atributos do solo foram interpretados por meio da técnica estatística multivariada, em comunidade rural.

2.2 Específicos

Analisar os atributos físicos-hídricos (granulometria, densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e diâmetro médio ponderado), químicos (pH, condutividade elétrica, complexo sortivo e carbono orgânico total) e a microestrutura superficial dos solos de forma quantitativa, para uma melhor compreensão das inter-relações nos agroecossistemas estudados.

Aplicar metodologia participativa ao grupo de pesquisa e os agricultores da comunidade, por meio de formulário para o estudo dos indicadores de qualidade do solo.

3 REFERENCIAL TÓRICO

3.1 Cenário Brasileiro

O uso da terra que era essencialmente familiar até a década de 1950 passou por intensa modernização aliada ao crescimento populacional, considerando o aumento populacional de 33 milhões no intervalo de 2000 a 2022 (IBGE, 2024). A adoção de máquinas pesadas, agroquímicos e superpastejo das áreas, característicos dos cultivos convencionais, promoveram a máxima exploração dos recursos naturais e consequentemente, alterações das paisagens. Visto que esse contingente populacional demanda por grandes áreas para moradia e produção de alimentos, causando desmatamentos e queimadas da vegetação nativa, bem como a superexploração do sistema solo-água-plantas (Mariano, Aquino e Junior, 2022).

No entanto, vale ressaltar que o aumento da produção agropecuária do país devido a modernização de tecnologias garantiu lugar de destaque nas exportações de soja, café, açúcar, milho, algodão, suco de laranja, carnes bovina e de frango. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, de 2000 a 2020 a silvicultura, áreas agrícolas e pastagens conduzidas cresceram 36 mil km², 229,9 mil km² e 247 mil km², respectivamente, associado a

redução de 513,1 mil km² de vegetação campestre e florestal (IBGE, 2022; Pereira e de Castro, 2022).

Diante disso, a exploração agropecuária convencional intensificou os processos de degradação dos solos brasileiros, potencializando a erosão, salinização, compactação, acidificação e a desertificação (Alves, 2021). Segundo Bolfe *et al.*, (2024) o país possui cerca de 28 milhões de hectares de pastagens plantadas degradadas, em nível intermediário e severo, essas áreas apresentam reduzida capacidade de suporte e produtividade. O estudo aponta ainda a necessidade da adoção de sistemas conservacionistas como preparo mínimo, semeadura direta, agroflorestas e sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF).

O bioma Caatinga presente no nordeste brasileiro, marcado pelo clima tropical semiárido apresenta uma série de fatores que corroboram com o processo de degradação das áreas produtivas, sejam eles de ordem natural ou antrópica (Brasileiro, 2009). No Nordeste apresenta uma área de 1.552.175,4 km², corresponde a aproximadamente 18% do território nacional, onde estão inseridos os espaços climaticamente tidos como semiáridos e subúmidos secos, susceptíveis ao processo de desertificação, neles estão os estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e norte de Minas Gerais (PAN-Brasil, 2005; IBGE, 2022).

O Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação PAN-Brasil (2005) aponta o processo de desertificação a consequência última da degradação dos solos, causado pelas condições climáticas e é potencializada pelas atividades humanas, com prejuízos ambientais, econômicos e sociais. Os principais fatores que intensificam a erosão no semiárido são o baixo regime de precipitação pluvial, estima-se uma média anual de menor ou igual a 800,00 mm e a alta evaporação, que resultam em um desequilíbrio do balanço hídrico, proporcionando um percentual diário de déficit hídrico maior que 60%. Além disso há uma irregularidade em sua distribuição acompanhado de longos períodos de estiagem (SUDENE, 2021; Araújo *et al.*, 2024).

Aliado às condições inerentes do padrão climático, os sistemas produtivos intensivos da região intensificam o processo de degradação dos solos, isso se deve pela retirada da vegetação nativa da caatinga para instalação de pastagens plantadas mal conduzidas para pecuária e/ou plantio de culturas comerciais não adaptadas a região, seja para agricultura familiar ou industrial. Essas práticas reduzem a camada superficial, onde há maior concentração de matéria orgânica, componente importante para ciclagem de nutrientes e fertilidade (Brasileiro, 2009; Araújo *et al.*, 2024; Melo e Rocha, 2024).

3.2 Qualidade do Solo

O debate acerca da qualidade do solo iniciou-se na década de 1990, em função da degradação física, química e biológica, desde então tornou-se um conceito controverso, dada sua dimensão, ainda hoje não possui definição concreta e consensual. O conceito mais aceito foi estabelecido como a capacidade do solo funcionar, isto é, fornecer meios para sobrevivência das plantas e dos animais, mantendo sua capacidade de regeneração, mesmo quando submetido ao manejo antrópico e ainda, sem comprometer a biodiversidade, a qualidade do ar e dos recursos hídricos (Lal e Pierce, 1991; Doran e Parkin, 1994; Karlen *et al.*, 1997; Vezzani e MielniczuK, 2009).

Karlen *et al.*, (1997) apontam o caráter vivo, dinâmico e sistêmico do solo, que funciona a partir do equilíbrio físico, químico e biológico. Compreender a qualidade desse sistema demanda uma interpretação ampla sobre o impacto da sazonalidade climática, variável para uma mesma terra e uso e variável também como o manejo do solo adotado, seja ele convencional ou conservacionista, além disso, é influenciado pelos sistemas de cultivo e a possibilidade de pragas ou doenças incidentes (Sojka e Upchurch, 1999; Araújo *et al.*, 2012).

Sabendo dessa dificuldade em definir a qualidade do solo surgem os atributos do solo, responsáveis por estabelecer meios para sua quantificação, dentre eles: textura, densidade do solo (Ds), porosidade, estabilidade dos agregados, capacidade de armazenamento e retenção de água, umidade, pH, condutividade elétrica (CE), micronutrientes, carbono orgânico total (COT) e atividade biológica (Doran e Parkin, 1994; Larson e Pierce 1994).

As características físicas do solo estão diretamente relacionadas com a capacidade de suporte para desenvolvimento radicular, armazenamento de água, oferta de nutrientes, trocas gasosas e atividade biológica. A textura se apresenta como atributo estável pois envolve o intemperismo, porém, pode ser modificada quando ocorre perda das partículas pelos processos erosivos (Araújo *et al.*, 2012; Machado *et al.*, 2023).

Já a densidade e porosidade do solo estão diretamente relacionadas com a compactação, com consequente impedimento físico para o crescimento radicular, em função do aumento da resistência à penetração de raízes, suprimento de água, oxigênio e nutrientes. Embora a Ds, trata-se de um atributo físico variável com as ações desenvolvidas, dentre elas os sistemas agropecuários e tráfego de máquinas e implementos agrícolas, ou ainda as condições da paisagem. Esse atributo está interligado as características inerentes da rocha, como a textura, mineralogia, área superficial específica, características dos argilo-minerais,

dentre outros (Spera *et al.*, 2009; Mendes *et al.*, 2022; Freire *et al.*, 2023; Machado *et al.*, 2023).

A porosidade do solo divide-se em macroporosidade e microporosidade, a primeira é responsável pelo movimento de ar, água e crescimento radicular, enquanto a segunda garante a retenção e armazenamento de água no solo. Assim como a D_s , é variável com a pressão mecânica imposta pelo sistema convencional, pelos ciclos de umedecimento e secagem, impacto das gotas de chuva sobre superfícies descobertas e o conteúdo de matéria orgânica (Araújo *et al.*, 2012).

Quanto à estabilidade dos agregados do solo, vale salientar sua importância para manutenção da porosidade e resistência as pressões exercidas por forças externas. Os agregados são formados a partir da união entre as partículas primárias e os agentes cimentantes, sendo orgânicos ou inorgânicos. A estabilidade dos agregados é maior em microagregados de até 0,25 mm, enquanto os macroagregados, maiores do que 0,25 mm, são mais instáveis e possuem menor coesão, sendo necessário suporte energético da matéria orgânica para ação dos microrganismos (Santos, Figueiredo e Fonseca, 2023).

Os agregados refletem a estrutura do solo do ponto de vista da gênese, que é descritiva e influencia na dinamicidade do espaço preenchido por água e ar, como também na erodibilidade (capacidade do solo em resistir ao processo erosivo), infiltração e retenção de água, que por sua vez, são atributos fundamentais na qualidade dos agroecossistemas. A retenção de água se trata do processo e capacidade do solo em reter água na condição de solo úmido, onde as forças capilares vão atuar, bem como infiltrar e armazenar água no sistema, depende das condições climáticas, hidrológicas, presença de cobertura vegetal, solos na paisagem e as demais propriedades físicas do solo (Ngo, Mori e Bui, 2024; Xie *et al.*, 2024).

A curva de retenção de água no solo (CRS) expressa conteúdo de água no solo, que é representada pelo potencial matricial versus a umidade volumétrica. Sendo que duas forças são as principais responsáveis pelo potencial matricial, as forças capilares e de adsorção, na condição de solo úmido e seco, respectivamente (Libardi, 2012).

Quanto aos atributos químicos, a quantificação dos nutrientes permite a obtenção da saturação de bases e de alumínio, capacidade de troca catiônica (CTC) e percentagem de sódio trocável (PST), elementos importantes para o desenvolvimento da planta, pois refletem a fertilidade do solo, como também a presença de elementos tóxicos. Em geral a quantificação dos macronutrientes é fundamental para verificação da qualidade do solo sob diferentes manejos do solo e culturas adotadas (Cavalcante *et al.*, 2007).

A salinização, por exemplo, é um problema decorrente do conteúdo de sais solúveis, principalmente o sódio, que prejudica o crescimento e produção das culturas, além de causar a dispersão das argilas. Já o alumínio representa um problema para os solos agrícolas, visto que as culturas podem apresentar fitotoxidez por alumínio em solos com pH abaixo de 5,5. O pH que indica acidez ou alcalinidade possui papel fundamental na interpretação das condições locais, pois indica a solubilidade dos nutrientes, com faixa ideal de 6,0 a 6,5 para as culturas (Araújo *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2024).

O carbono orgânico pode ser considerado base para manutenção das propriedades do solo, contribui com a fertilidade, produtividade e proteção ambiental. Sua ocorrência se deve a decomposição dos resíduos vegetais e animais, bem como exsudatos de raízes, atributo variável com as ações desenvolvidas nos agroecossistemas. Devido a sua inter-relação com as frações inorgânicas formam os agregados, que influenciam na distribuição do tamanho dos poros, infiltração e retenção de água, como também o escoamento superficial e atividade biológica (Araújo *et al.*, 2012; Sekaran, Sagar e Kumar, 2021).

Já os atributos biológicos permitem inferir sobre as alterações do solo pelo uso agrícola de acordo com atividade enzimática, respiração e biomassa microbiana, são os principais responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e posterior disponibilidade de nutrientes. Logo, as propriedades biológicas oferecem informações sobre os agroecossistemas (Esmaeilizad *et al.*, 2024).

Além da quantificação dos atributos do solo existem técnicas de imageamento da qualidade do solo, uma delas é a microscopia eletrônica de varredura (MEV). O MEV permite compreender a condição estrutural, onde é possível visualizar o formato, tamanho e arranjo dos poros, além da associação de raízes e a atividade microbiana (Pires *et al.*, 2008; Védère *et al.*, 2022). Logo, a micromorfologia do solo tornou-se uma alternativa para interpretação das mudanças provenientes dos usos da terra, visto que reflete características estruturais e biológicas importantes para gestão dos solos agrícolas (Gargiulo, Mele e Terribile, 2013).

Aliado a essas análises quantitativas dos atributos do solo a adoção de metodologia participativa se mostra como complemento importante para a boa interpretação dos resultados, colaborando para o desenvolvimento de índices de qualidade, bem como valorização o agricultor como parte do sistema solo-homem (Altieri e Nicholls, 2002; Braidotti, Nobili e Piani, 2021; Barbosa *et al.*, 2023). Sua aplicação consiste no respeito a heterogeneidade dos agroecossistemas, visto que estão submetidos a interação entre a

paisagem e as técnicas da manejo do solo adotadas, é uma análise visual do ambiente com caráter simples e economicamente viável (Arruda *et al.*, 2012).

4.3 Degradação do Solo

Existem cinco fatores principais responsáveis pela degradação das terras, agindo de forma integrada, são eles: erosividade (padrão climático); relevo (comprimento e grau do declive); erodibilidade (características do solo em resistir, ou não, ao processo erosivo); cobertura vegetal e práticas conservacionistas para manutenção dos agroecossistemas (Volk e Cogo, 2009; Moraes e Cavichioli, 2022; Sklenicka *et al.*, 2022; Yang *et al.*, 2023).

Os processos que ocasionam a erosão do solo provocam a desagregação, transporte e deposição das partículas para fora do local de origem, até as porções mais baixas da paisagem em função do comprimento e grau do declive, os principais agentes ativos são a água, o vento e a gravidade. Esse movimento de sedimentos ocorre por perturbações naturais como ação da água e o vento, de forma gradual ao longo do tempo, moldando o relevo de forma lenta. A erosão é acelerada quando há interferência humana nos ambientes tornando a reestruturação da paisagem insuficiente para reestabelecer o equilíbrio do solo (Liou *et al.*, 2022; Thoma *et al.*, 2020).

A erosão hídrica pluvial ocorre pelo impacto das gotas de chuvas sobre a superfície, intensificado quando o solo não apresenta cobertura vegetal, o solo desagregado fica suspenso em água, tornando-o susceptível a degradação e na condição de comprimento e grau do declive acentuado promove o escoamento superficial. A presença de vegetação juntamente com barreiras físicas (terraceamento e curvas de nível) reduz a velocidade do escoamento impedindo a remoção da camada superficial e consequentemente, manutenção dos atributos do solo associado a camada arável, pois é um fenômeno de superfície. Os principais potencializadores da erosão hídrica são o clima, tipo de solo, declividade da paisagem, cobertura e o manejo adotado nos sistemas de cultivo (Lepsch, 2011; Silva *et al.*, 2019).

As chuvas mais intensas e demoradas apresentam alto poder de degradação, especialmente em solos com maior suscetibilidade a erosão, como acontece em solos arenosos rasos ou argilosos descobertos. O impacto da declividade no solo diz respeito ao ganho de energia cinética em função do aumento da velocidade, provocando perda e deposição das partículas. Todos esses fatores têm inter-relações com as técnicas agrícolas adotadas, a presença de cobertura causa o amortecimento das gotas de chuvas, por outro lado, a falta dela

intensifica a erosão aliado ao surgimento de caminhos preferenciais do fluxo de água, também conhecido como sulcos (Castro, Cogo e Volk, 2006; Toledo, 2023).

A erosão eólica ocorre principalmente em regiões áridas e semiáridas do mundo, a devido a escassez hídrica pluvial, o vento é o agente mais atuante na remoção e transporte de sedimentos. Esse processo é baseado na erosividade do vento e tipo de solo, assim como a erosão hídrica também depende do manejo adotado (Bezerra, Villela e Furquim, 2024; Sirjani *et al.*, 2024).

A mobilização de sedimentos pelo vento é variável com o seu tamanho, ocorre principalmente em partículas de areia, visto que a argila e o silte possuem maior potencial de agregação a matéria orgânica, ambos formam os agregados do solo. A presença de agregados maiores e mais estáveis reduz consideravelmente a suscetibilidade do solo ao transporte. Outro fator que potencializa a erodibilidade eólica são superfícies nuas, estudos apontam considerável resistência à degradação em paisagens com cobertura vegetal (Chepil, 1953; Shahabinejad *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2021; Xu *et al.*, 2024).

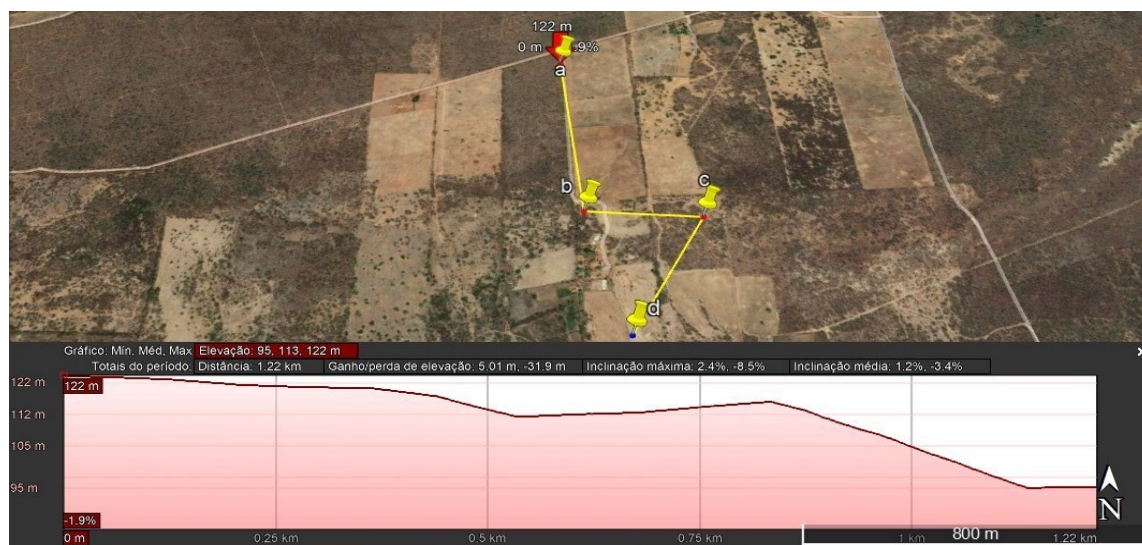
4 METODOLOGIA

4.1 Caracterização Local

A pesquisa foi realizada na comunidade rural Piracicaba, em Upanema-RN (05°38'3" S e 37°15'28" O), o clima foi caracterizado com precipitação pluvial anual de aproximadamente 650,00 mm e temperatura anual média maior que 26,50°C (Dubreuil *et al.*, 2018). Com vegetação típica da Caatinga pertence a um bioma global denominado Florestas e Arbustais Tropicais Sazonalmente Secos (FATSS), com espécies de baixa a média estrutura adaptadas ao semiárido, dentre elas: Angico (*Anadenanthera colubrina*); Aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius*); Mandacaru (*Cereus jamacaru*); Juazeiro (*Ziziphus joazeiro*); Maniçoba (*Manihot esculenta*) (Melo *et al.*, 2023).

O estudo foi realizado na Mata Nativa (MN) da Caatinga, tomada como referência, junto a áreas que apresentam degradação nomeadas como Pontos 1, Ponto 2 e Ponto 3, divididas de acordo com as condições do relevo em que estão inseridas, conforme Figura 1. Foram selecionados os usos de Acerola (*Malpighia emarginata*) e Consórcio de Mamão-Banana (*Carica papaya* e *Musa spp*), que apresentam manejo conservacionista, localizados após o Ponto 3, em uma porção mais baixa do relevo.

Figura 1. Disposição das áreas no relevo, na Comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.



a: Ponto 1 (cota mais alta); b: Ponto 2 (cota intermediária); c: Cota intermediária ; d: Ponto 3 (cota mais baixa com deposição de sedimentos).

Os solos foram classificados no primeiro nível categórico, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) e World Reference Base (WRB), publicado pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), conforme mostra a Tabela 1, obteve-se as coordenadas geográficas e histórico de cada uma das áreas (FAO, 2015; Santos *et al.*, 2018).

Tabela 1. Caracterização das áreas de estudo, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.

CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO:



Mata Nativa - Latossolo/Ferralsol
05° 35' 54,2'' S 37° 22' 41'' W

Vegetação típica da Caatinga como mofumbo (*Combretum leprosum* L.), juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.), jurema preta (*Mimosa hostilis* Benth.) e sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), possui ainda serapilheira em toda sua área.



Ponto 1 - Argissolo/Acrisol
05° 36' 11,47'' S 37° 22' 38,99'' W

Localizado na cota mais alta da paisagem, com vegetação rasteira escassa e caminhos preferências para o escoamento superficial da água de chuva.



Ponto 2 - Argissolo/Acrisol

5° 36' 12,24'' S 37° 22' 39,39'' W

Localizado na cota intermediária da paisagem, com vegetação rasteira escassa e caminhos preferências para o escoamento superficial da água de chuva.



Ponto 3 - Vertissolo/Vertisol

5° 36' 23,06'' S 37° 22' 35,55'' W

Localizado na cota mais baixa da paisagem, com vegetação rasteira escassa e deposição de sedimentos.

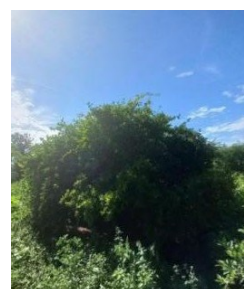


Consórcio de Mamão-Banana -

Cambissolo/Cambisol

05° 36' 28,3'' S 37° 22' 34,5'' W

Apresenta cobertura vegetal oriunda das culturas, foi utilizada anteriormente com o cultivo de hortaliças, além da aplicação de adubo orgânico animal e vegetal proveniente da propriedade.



Acerola - Cambissolo/Cambisol

05° 36' 22,9'' S 37° 22' 40,4'' W

Apresenta cobertura vegetal oriunda da vegetação rasteira e dos resíduos vegetais da cultura, além da adubação orgânica animal e vegetal proveniente da propriedade.

Em cada uma das áreas foram coletados blocos de solo com auxílio de pá reta para verificação visual e posteriores análises laboratoriais com amostras deformadas e indeformadas, acondicionados em sacos plásticos transparentes com a devida identificação. Após serem levadas para o Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (LASAPSA/UFERSA) foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras de 2,00 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

Para verificação de atributos hídricos foram coletadas 10 amostras indeformadas em cada um das áreas, na camada de 0,00-0,05 m, com auxílio de anéis volumétricos de dimensões 0,05 m de altura por 0,05 m de diâmetro, acondicionados em papel alumínio e bandejas plásticas para limpeza em laboratório, onde passaram por beneficiamento, conhecido como toalete, para que fossem analisados.

4.2 Análises Quantitativas

4.2.1 Físicas e Estruturais

Para as análises físicas e estruturais, foi possível realizar a análise textural e sua classificação textural utilizando a TFSA, adotou-se o método da pipeta, com auxílio do dispersante químico hexametáfosfato de sódio e do agitador mecânico tipo Wagner com velocidade de 50 rpm, por 16 horas. Após esse processo as frações obtidas foram argila ($<0,002$ mm) por sedimentação considerando a Lei de Stokes, areia (2,00-0,05 mm) por peneiramento e silte (0,05–0,002 mm) por diferença (Teixeira *et al.*, 2017).

Os blocos de solos foram desagregados por unidade de fraqueza, para conservação da estrutura natural, em seguida passados pelo conjunto de peneiras 4,00 e 2,00 mm, o que ficou retido na peneira de 2,00 mm foi posto de potes plásticos para análise de agregados via úmida. Para determinação dos agregados retirou-se duas amostras de 25 g (duas repetições), pré-umedecidas e postas em um conjunto de 4 peneiras de malhas: 2,00; 1,00; 0,50 e 0,25 mm. A separação dos agregados ocorreu por meio da oscilação vertical em água (42 oscilações/minuto), após a oscilação os materiais retidos em cada peneira foram postos em becker e levados à estufa para secagem a 105°C (Yoder, 1936).

Sabendo o teor de matéria seca, descontou-se o teor de areia dos agregados por meio do peneiramento (malha de 0,052 mm), esse peneiramento ocorreu após dispersão do material com hexametáfosfato de sódio e água destilada, seguido de agitação por dois minutos em agitador tipo Wagner. O diâmetro médio ponderado por via úmida (DMP) foi determinado pelo diâmetro médio de cada classe de peneira, multiplicado pela proporção de agregados em cada classe/peneira, sendo a soma dos produtos para todos os tamanhos de frações chamado de DMP.

A densidade do solo (D_s) foi obtida com anel volumétrico, por meio da relação massa de solo seco e volume do anel. A massa seca (M_s) foi obtida em estufa a 105 °C e o volume do total com paquímetro. A umidade gravimétrica (U) foi obtida pela razão entre a massa de água das amostras e suas respectivas massas secas. De posse disso, foi possível obter a umidade por base de volume (θ) pelo produto entre umidade gravimétrica e densidade do solo (Teixeira *et al.*, 2017).

Já a porosidade total (P_t) foi determinada com auxílio das amostras indeformadas saturadas por 48 horas, obtendo-se a diferença entre massa seca e massa saturada dividido pelo volume total da amostra. A microporosidade foi obtida com auxílio da mesa de tensão a 6 kPa e a macroporosidade por diferença (Teixeira *et al.*, 2017).

4.2.2 Hídricas

A curva de retenção de água no solo (CRS) foi determinada com auxílio das seguintes tensões: 0, 2, 6, 10 e 33 kPa na mesa de tensão e 100, 200, 300, 500 e 1500 kPa nas câmaras de Richards de médias e altas tensões. O ajuste das curvas de retenção foi realizado pela Equação de van Genuchten (1980) no programa RETC (van Genuchten *et al.*, 2009). A Equação 1 apresenta o ajuste aplicado:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\phi_m|)^n]^m} \quad 1$$

Sendo:

θ_r - umidade volumétrica residual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_s - umidade volumétrica saturada ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

$|\phi_m|$ - potencial mátrico (kPa);

α , m , n - parâmetros empíricos da equação.

4.2.3 Químicas

Para as análises químicas foi utilizada a TFSA, obtendo-se: potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE) em água, macronutrientes: cálcio trocável (Ca^{2+}) e magnésio trocável (Mg^{2+}) com extrator cloreto de potássio, análise do fósforo (P), sódio (Na^+) e potássio (K^+) e acidez potencial (H+Al) com extrator Mehlich-1, foi calculada a capacidade de troca de cátions (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V) e percentagem de sódio trocável (PST) (Teixeira *et al.*, 2017), com interpretação dos resultados, conforme Manual de recomendações para uso de corretivos e fertilizantes de Minas Gerais (Ribeiro; Guimarães; Alvarez, 1999).

As amostras de TFSA foram maceradas em almofariz de porcelana e passadas em peneira de 0,210 mm (60 mesh) para a determinação do carbono orgânico total (COT) pelo método da oxidação úmida com aquecimento externo, que consiste na oxidação do carbono orgânico com dicromato de potássio e posterior titulação com sulfato ferroso amoniacal (Yeomans e Bremner, 1988).

4.2.5 Interpretação dos Resultados

Os resultados médios serão interpretados por meio da técnica estatística multivariada para diferenciação dos ambientes, sendo padronizado pela matriz de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) e submetidos às análises de componentes principais (ACP) e fatorial (AF). Os fatores extraídos por meio das componentes principais com eixos rotacionados pelo método Varimax, considerando autovalores acima de 1. Para as cargas fatoriais significativas considera-se o valor de 0,70 (Hair *et al.*, 2009).

4.2.6 Microscopia Eletrônica de Varredura

Para análise biológica utilizando a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi possível verificar a microestrutura do solo na camada de 0,00-0,05 m, onde há acúmulo de matéria orgânica, além da presença de organismos e transformações em função do manejo agrícola.

Assim, as amostras provenientes da peneira de 0,210 mm foram colocadas em suporte de metal usando fita condutora de carbono (PELCO Tabs™, Ted Pella, Inc., Redding, CA, EUA) e pulverizadas (Q150R ES, Quorum Technologies Ltd., Laughton, East Sussex, Inglaterra) com uma fina camada de ouro (9 nm de espessura). O procedimento garante a melhor condutividade do material, gerando imagens de qualidade superior. As imagens foram capturadas com um detector de elétrons secundário (SE) em MEV (VEGA 3 LMU, Tescan, República Tcheca), operando com um feixe de elétrons de 20 kV (Fernandes, 2019).

4.3 Análises Qualitativas

Por meio de metodologia participativa, segundo Altieri e Nicholls (2002) foram coletadas informações por meio de formulário sobre as propriedades visuais das áreas, aplicado ao grupo de pesquisa e os agricultores da comunidade. Ocorreu pela atribuição de notas, sendo 0 (menos desejável) a 10 (mais desejável) e os resultados médios expressos em gráfico do tipo radar confrontando-se com os resultados obtidos nas análises quantitativas.

Os atributos avaliados foram: profundidade; estrutura; presença de compactação; estado dos resíduos, cor e odor; matéria orgânica; retenção de água; presença cobertura; erosão; atividade microbiológica e; desenvolvimento de raízes. No anexo 1 está o formulário sugerido pela metodologia participativa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises Quantitativas

Os resultados médios obtidos para as análises físicas e estruturais estão na Tabela 2, revelaram classificação textural: franco argilo arenoso para mata nativa (MN) e Ponto 3 devido a maior quantidade de argila; franco arenoso para Ponto 1 e consórcio mamão-banana (CMB), areia franca para o Ponto 2 e cultivo de acerola (ACE), com maior conteúdo da fração areia.

Quanto ao espaço poroso, a Pt foi superior para as áreas com presença de cultivos, assim como a macroporosidade e a porosidade de aeração (Paer). O DMP apresentou maiores resultados para a MN, seguido dos cultivos de ACE e CMB.

Tabela 2. Atributos físicos e estruturais para as áreas estudadas na camada 0,00-0,05m, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.

	Areia T	Areia F	Silte	Argila	Ds	Micro	Macro	Pt	Paer	DMP
	g/kg				g/cm ³		cm ³ /cm ³			mm
Mata Nativa Latossolo	710,00	325,00	65,00	225,00	1,33	0,225	0,234	0,442	0,297	1,588
Ponto 1 Argissolo	765,00	395,00	60,00	175,00	1,38	0,306	0,231	0,522	0,302	1,119
Ponto 2 Argissolo	810,00	390,00	40,00	150,00	1,43	0,226	0,172	0,439	0,274	1,006
Ponto 3 Vertissolo	620,00	455,00	105,00	275,00	1,44	0,103	0,334	0,447	0,185	1,064
Acerola Cambissolo	830,00	415,00	70,00	100,00	1,39	0,220	0,314	0,534	0,345	1,553
Consórcio Mamão-Banana Cambissolo	805,00	405,00	80,00	115,00	1,45	0,232	0,340	0,572	0,332	1,476

Areia T: Areia total; Areia F: Areia fina; DS: Densidade do solo; Macro: Macroporosidade; Micro: Microporosidade; Paer: Porosidade de aeração; DMP: Diâmetro médio ponderado.

A formação dos microporos está diretamente relacionada com a composição textural, em nossos achados esses atributos apresentaram pequena diferença para os solos avaliados, salienta também o potencial que a matéria orgânica desempenha na estrutura do solo, o que pode ser percebido pelo DMP dos cultivos e MN (Alves *et al.*, 2024). A disposição de

resíduos vegetais e animais nessas áreas garantiu a união dos sedimentos orgânicos e inorgânicos, que por sua vez, garantem proteção contra o impacto direto das gotas de chuva e estimulam à atividade biológica para decomposição dos materiais (Silva *et al.*, 2019; Favaretto *et al.*, 2022).

A adição de material orgânico no solo ao longo do tempo tem efeito sobre os macroporos do solo, esses são responsáveis pela porosidade de aeração, assim como o movimento rápido de água, reduzindo problemas de escoamento superficial e arraste de sedimentos menores e mais férteis. Esses resultados foram expressos para ACE e CMB, que apresentam naturalmente problemas de drenagem em função da presença de microporos, característica da classe de Cambissolo (Soinne *et al.*, 2023; Rasa *et al.*, 2024).

Os atributos químicos, apresentados na Tabela 3 revelaram um pH acima da neutralidade para os cultivos e uma CE de 2,0 dS/m para MN. Os macronutrientes P, K⁺ e Na⁺ foram superiores para os cultivos, enquanto os menores prevaleceram sendo na MN, com exceção do K⁺. A principal razão atrelada a isso pode ser pela classe de solo da MN (Latossolo), estudos sobre os Latossolos da Amazônia e do Oeste da Bahia apontam a fragilidade dessa classe quanto aos atributos químicos, sendo naturalmente ácidos e com baixos valores de CTC. Além disso, são solos profundos e que demandam manejo adequado, para garantir atividade microbiana nos horizontes subsuperficiais, com decomposição da biomassa das raízes e consequente aumento no conteúdo de carbono e manutenção da estrutura do solo (Fontana *et al.*, 2016; Souza *et al.*, 2018).

Tabela 3. Atributos químicos para as áreas estudadas, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.

	pH	CE	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	(H+Al)	CTC	COT	PST
		dS/m		mg/dm ³				cmolc/dm ³		g/kg	%
Mata Nativa Latossolo	6,63	2,00	9,60	157,90	9,50	2,94	3,32	1,70	8,40	15,27	0,00
Ponto 1 Argissolo	6,80	0,02	21,50	135,10	18,40	1,89	2,39	0,74	5,45	7,64	1,00
Ponto 2 Argissolo	6,82	0,03	12,70	174,50	11,60	8,53	2,01	0,51	11,55	5,31	0,00
Ponto 3 Vertissolo	6,64	0,11	27,00	282,10	74,60	5,09	0,80	0,07	7,00	8,17	5,00
Acerola Cambissolo	7,86	0,15	37,50	406,60	64,20	6,93	1,01	0,00	9,26	16,23	3,00
Consórcio	7,51	0,05	46,80	261,40	43,50	8,49	2,13	0,00	11,48	23,54	2,00

Mamão-Banana Cambissolo

CE: Condutividade elétrica; P: Fósforo; K⁺: Potássio; Na⁺: Sódio; Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; (H+Al): Acidez potencial; CTC: Capacidade de troca catiônica; COT: Carbono orgânico total; PST: percentagem de sódio trocável.

No entanto, vale salientar que se tratando de áreas agricultáveis, Latossolos onde o manejo leva em consideração o teor de argila podem apresentar incremento na CTC e no COT (Freitas *et al.*, 2014). Verificando atributos físicos e químicos em Latossolos do Sul do Brasil com diferentes texturas, aliado ao manejo adotado os solos com maiores teores de argila devido a alta precipitação pluvial, apresentaram maior conteúdo COT, bem como incremento na CTC, visto que reduz perdas por lixiviação e aumenta a retenção de cátions. Para a maioria dos solos dessa classe, no Brasil, a matéria orgânica garante a disponibilidade de cargas negativas (Souza *et al.*, 2007). Para as áreas estudadas o COT apresentou aumento considerável nas áreas com presença de cobertura vegetal, devido aos resíduos culturais do CMB e ACE, bem como a serapilheira da Caatinga na MN.

O Ca²⁺ apresentou maiores valores para o Ponto 2 e CMB, o Mg²⁺ para MN e o Ponto 1, os valores de Ca²⁺ contribuíram para uma maior CTC no consórcio, Ponto 2 e acerola. Assim como nos achados de Corrêa *et al.*, (2009) as áreas cultivadas apresentaram maiores teores de P, K⁺ e Ca²⁺, assim como o pH, indicando melhoria na fertilidade do solo em comparação com a MN. O alumínio trocável não foi identificado, visto que em solos do semiárido não são expressivos, principalmente considerando que os valores de pH foram acima de 5,5 (Richards, 1954).

Considerando o limite de 4,0 dS/m e PST de 15% como indicativos de um solo com problema de salinização ou sodicidade, as áreas não apresentam essa característica, com destaque para o Latossolo que apresentou PST zero, em razão da estrutura que permite uma boa drenagem e sua alta profundidade efetiva (Richards, 1954; Souza *et al.*, 2018).

O valor de Na⁺ foi baixo para MN devido a boa drenagem, o mesmo não ocorreu para o Ponto 3, ACE e CMB, em função da deposição de sedimentos, visto que ficam inseridos nas cotas mais baixas da paisagem, bem como pelas características inerentes da classe, com argila de atividade coloidal alta. O Vertissolo, em especial, apresenta risco de sodicidade em razão do alto teor de Na⁺ em comparação com outros elementos ali presentes e a má drenagem natural da classe, podendo ocasionar dispersão da argila e formação de crostas impermeáveis, que refletem em limitação de trocas gasosas e infiltração de água no solo (Pedrotti *et al.*, 2015; Araújo, 2021).

Sabendo que a salinização é um tipo de degradação severa, que remonta a formação do solos, produto do intemperismo das rochas, o excesso de sais limita a produção agrícola principalmente em regiões de déficit hídrico, como o semiárido (Souza *et al.*, 2016). Os Pontos erosionais estudados apresentam condições naturais que propiciam a salinização, aliada a erosão hídrica e eólica, dentre essas condições o elevada evapotranspiração e baixa precipitação pluvial, problemas de drenagem que geram a acumulação de sais solúveis, principalmente o Na^+ na camada superficial, como também por ascensão capilar no período seco (Araújo, 2021).

Dessa forma, o uso de culturas agrícolas para recuperação das áreas estudadas pode representar um problema, visto que a água de irrigação, associada à drenagem ineficiente, potencializam a concentração de sais solúveis do solo, podendo salinizar esses solos a longo prazo (Oliveira, Gomes-Filho e Enéas-Filho, 2010). Como técnica de recuperação dessas áreas o pousio torna-se uma alternativa importante, permitindo a manutenção das propriedades do solo, gerando ainda uma fonte de alimento para os animais da propriedade (Silva *et al.*, 2012; Pedrotti *et al.*, 2015).

Já os atributos hídricos, expressos na Tabela 4 mostraram uma umidade residual (θ_r) maior para os pontos erosionais. A CC e o PMP foram superiores para o Ponto 3 podendo ser justificado pela classe de Vertissolo com predominância da fração argila com atividade coloidal alta e discrepância na proporção de macroporosidade e microporosidade, inferior para MN, o conteúdo de água expresso pela AD teve destaque nos cultivos (Raij, 1969; Souza Junior *et al.*, 2007).

Tabela 4. Atributos hídricos para as áreas estudadas, comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.

	θ_r	θ_s	α	n	m	CC	PMP	AD	R ²
	cm ³ /cm ³		Adimensional			cm ³ /cm ³			
Mata Nativa Latossolo	0,085	0,374	0,026	2,185	0,542	0,157	0,079	0,089	0,992
Ponto 1 Argissolo	0,138	0,519	0,035	1,874	0,466	0,220	0,152	0,119	0,974
Ponto 2 Argissolo	0,100	0,441	0,029	2,177	0,541	0,193	0,100	0,092	0,978
Ponto 3 Vertissolo	0,138	0,469	0,090	1,279	0,218	0,315	0,182	0,133	0,980
Acerola Cambissolo	0,082	0,514	0,040	1,467	0,331	0,275	0,070	0,205	0,991
Consórcio Mamão-Banana	0,094	0,521	0,042	1,428	0,303	0,254	0,090	0,164	0,982

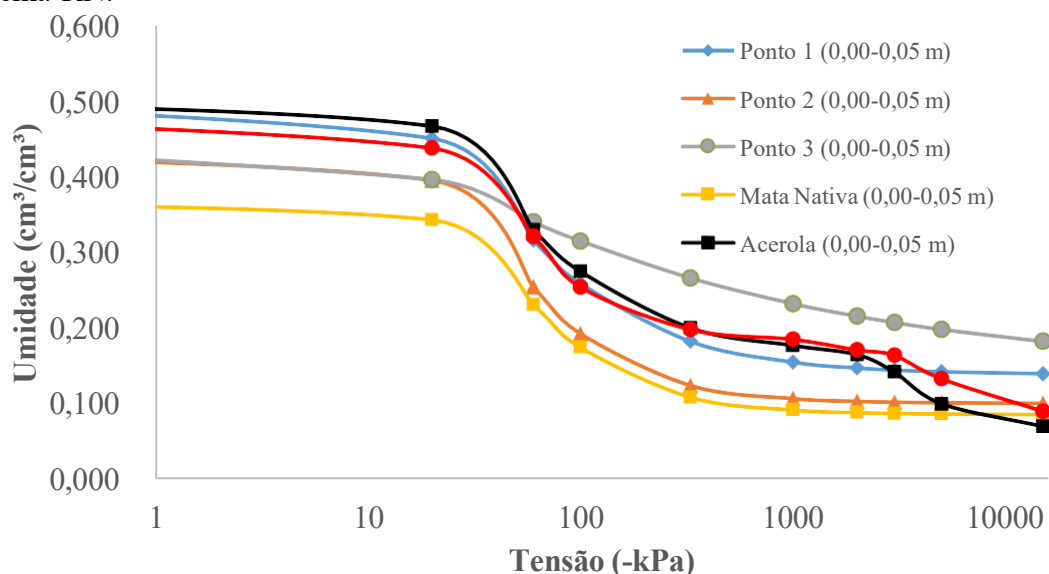
Cambissolo

θ_r : Umidade residual; θ_s : Umidade de saturação; α , n e m : Coeficientes adimensionais; CC: Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente; AD: Água disponível.

Solos com altos teores de areia apresentam limitação hídrica, porém quando há prevalência de areia fina e média ocorre a formação de poros menores, devido esse menor diâmetro garante a retenção de água entre as partículas, reduzindo perda de nutrientes por lixiviação. A retenção de água depende não só da textura e estrutura, mas também o conteúdo de carbono orgânico, principalmente em solos de textura grossa, o que reafirma o motivo da AD ser superior para cultivos. Já para MN, embora apresente aporte de matéria orgânica, trata-se de um solo arenoso, com argila de atividade coloidal baixa, profundo e intemperizado, facilitando a perda de água (Bauer e Black, 1981; Rawls *et al.*, 2003).

A curva e seus parâmetros de ajuste são ferramentas fundamentais para compreensão da dinâmica da água no solo, com a relação entre o conteúdo de água e o potencial matricial em meio poroso (Libardi, 2012; Oliveira *et al.*, 2021). A Figura 2 apresenta as CRS para os sistemas de cultivo, mata nativa e os Pontos 1, 2 e 3, onde pode-se visualizar um maior conteúdo de água para ACE e CMB, devido a proporção de macro e microporos semelhantes, bem como a capacidade de retenção dos Cambissolos e as técnicas de manejo do solo adotadas (Soinne *et al.*, 2023; Rasa *et al.*, 2024).

Figura 2. Curvas de retenção de água para áreas erosionais, mata nativa e sistemas de cultivo, Upanema-RN.



Verificou-se que a maior presença de macroporos para o Ponto 3 e os cultivos garantiu umidade superior para as baixas tensões, visto que se refere ao solo em condição úmido, onde as forças capilares estão presentes. Na condição de solo seco, sob altas tensões, onde as forças de adsorção prevalecem, o PMP foi superior para os Pontos 1, 2 e 3, onde a fração argila influenciou nos resultados obtidos, principalmente para o Vertissolo (Tomena e Silva, 2002; Melo Filho, Sacramento e Conceição, 2015; Pečan *et al.*, 2023).

5.1.1 Matriz de Correlação

A partir dos resultados médios dos atributos físico-estruturais, químicos e hídricos elaborou-se a matriz de correlação de Pearson, para verificar o grau de associação entre as variáveis, possibilitando a realização das demais análises multivariadas, como Fatorial (AF) e componentes principais (ACP). Considerou-se correlação significativa os valores acima de 0,70, apresentado na Tabela 5.

As correlações negativas foram: areia com argila e PMP; silte com microporosidade; argila com Ca^{2+} e CTC; Ds com (H+Al); Paer com PMP; P com (H+Al); K^+ e Na^+ com Mg^{2+} e (H+Al); Mg^{2+} com CC e AD; CTC e PMP.

Já as positivas compreendem: areia com Paer e pH; silte com argila, macroporosidade, Na^+ e CC; Ds com Ca^{2+} ; microporosidade com Paer; macroporosidade com P, K^+ , Na^+ e AD; Pt com Paer, pH e P; Paer com pH; DMP com COT; pH com P, K^+ e AD; P com K^+ e AD; K^+ com Na^+ e AD; Na^+ com CC e AD; Ca^{2+} com CTC; Mg^{2+} com (H+Al); CC com PMP.

A fração areia apresentou alta correlação negativa com argila devido a suas propriedades inerentes e correlação positiva entre areia e Paer, indicando que são solos que facilitam as trocas gasosas e o fluxo de água ao longo do perfil, entretanto, com problemas de retenção, resultados que são expressos pelos baixos conteúdos de água para os solos estudados (Bocuti *et al.*, 2020; Dias *et al.*, 2023).

Como forma de melhorar as propriedades hídricas e reduzir a degradação dos solos o carbono orgânico permite a manutenção da porosidade do solo e estabilidade dos agregados, o que pode ser revelado pela correlação positiva entre o DMP e o COT em nossos achados, resultado em um novo arranjo de poros, que permite a retenção de água em solos de textura grossa (Ngo, Mori e Bui, 2024).

Tabela 5. Matriz de correlação de Pearson para os atributos avaliados na comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.

	Areia	Silte	Argila	Ds	Micro	Macro	Pt	Paer	DMP	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	(H+AL)	CTC	COT	CC	PMP	AD
Areia	1,00																				
Silte	-0,67	1,00																			
Argila	-0,89	0,73	1,00																		
Ds	0,08	0,27	-0,33	1,00																	
Micro	0,67	-0,71	-0,44	-0,37	1,00																
Macro	-0,22	0,87	0,40	0,34	-0,48	1,00															
Pt	0,57	0,12	-0,24	0,23	0,44	0,53	1,00														
Paer	0,85	-0,47	-0,54	-0,28	0,74	-0,03	0,70	1,00													
DMP	0,27	0,09	0,07	-0,49	0,16	0,37	0,41	0,67	1,00												
pH	0,70	0,03	-0,47	0,22	0,17	0,51	0,78	0,71	0,55	1,00											
P	0,30	0,49	-0,11	0,53	-0,09	0,83	0,85	0,35	0,33	0,80	1,00										
K⁺	0,17	0,46	-0,08	0,28	-0,44	0,72	0,39	0,17	0,37	0,77	0,70	1,00									
Na⁺	-0,27	0,81	0,31	0,45	-0,68	0,86	0,27	-0,27	0,06	0,44	0,67	0,85	1,00								
Ca²⁺	0,50	-0,09	-0,70	0,73	-0,24	0,19	0,22	0,17	0,00	0,55	0,48	0,47	0,26	1,00							
Mg²⁺	0,11	-0,51	0,01	-0,60	0,60	-0,55	-0,12	0,34	0,29	-0,38	-0,50	-0,77	-0,88	-0,40	1,00						
(H+AL)	-0,21	-0,40	0,27	-0,83	0,33	-0,61	-0,50	0,04	0,21	-0,60	-0,79	-0,70	-0,76	-0,64	0,86	1,00					
CTC	0,57	-0,32	-0,73	0,44	-0,04	-0,04	0,13	0,35	0,22	0,43	0,25	0,21	-0,10	0,90	0,02	-0,26	1,00				
COT	0,31	0,28	-0,02	-0,01	0,09	0,62	0,67	0,61	0,84	0,65	0,70	0,41	0,21	0,29	0,15	-0,15	0,41	1,00			
CC	-0,47	0,80	0,39	0,61	-0,66	0,68	0,11	-0,58	-0,39	0,08	0,49	0,51	0,87	0,12	-0,85	-0,74	-0,29	-0,13	1,00		
PMP	-0,70	0,49	0,56	0,31	-0,36	0,12	-0,25	-0,80	-0,75	-0,58	-0,11	-0,23	0,29	-0,40	-0,35	-0,19	-0,66	-0,59	0,70	1,00	
AD	0,17	0,52	-0,12	0,47	-0,49	0,79	0,44	0,13	0,33	0,77	0,80	0,96	0,86	0,62	-0,76	-0,79	0,36	0,50	0,56	-0,21	1,00

Ds: Densidade do solo; Macro: Macroporosidade; Micro: Microporosidade; Paer: Porosidade de aeração; DMP: Diâmetro médio ponderado; P: Fósforo; K⁺ : Potássio; Na⁺ : Sódio; Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; (H+Al): Acidez potencial; CTC: Capacidade de troca catiônica; COT: Carbono orgânico total; CC:Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente; AD: Água disponível.

5.1.2 Análise Fatorial

A análise fatorial (AF) apresentado na Tabela 6, permitiu identificar cargas significativas, autovalores acima de 1,0 e percentagem da variância em cada fator, obtendo-se, assim, três fatores (F1, F2 e F3), totalizando 86,97% de variância total acumulada. O F1 revelou os atributos estrutural: macroporosidade e químicos: pH, P, K⁺, Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e (H+Al), com 40,15% da variância total.

O F2 representou 31,61% da variância, composta pelos atributos físicos: areia, argila e Paer e hídricos: CC e PMP. Já o F3 representou 15,22% da explicabilidade dos resultados, com maior expressão do atributo estrutural DMP.

Tabela 6. Análise fatorial para os atributos avaliados na comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.

Atributos	F1	F2	F3
Areia	0,11	-0,91	0,28
Silte	0,62	0,63	-0,43
Argila	-0,05	0,73	-0,67
Ds	0,61	0,15	0,66
Micro	-0,46	-0,67	-0,08
Macro	0,86	0,19	-0,44
Pt	0,55	-0,52	-0,26
Paer	0,06	-0,94	-0,25
DMP	0,20	-0,57	-0,73
pH	0,72	-0,64	-0,09
P	0,90	-0,24	-0,15
K	0,88	-0,09	-0,10
Na	0,89	0,40	-0,12
Ca	0,58	-0,40	0,60
Mg	-0,78	-0,38	-0,31
(H+Al)	-0,89	-0,06	-0,38
CTC	0,27	-0,62	0,46
COT	0,49	-0,55	-0,55

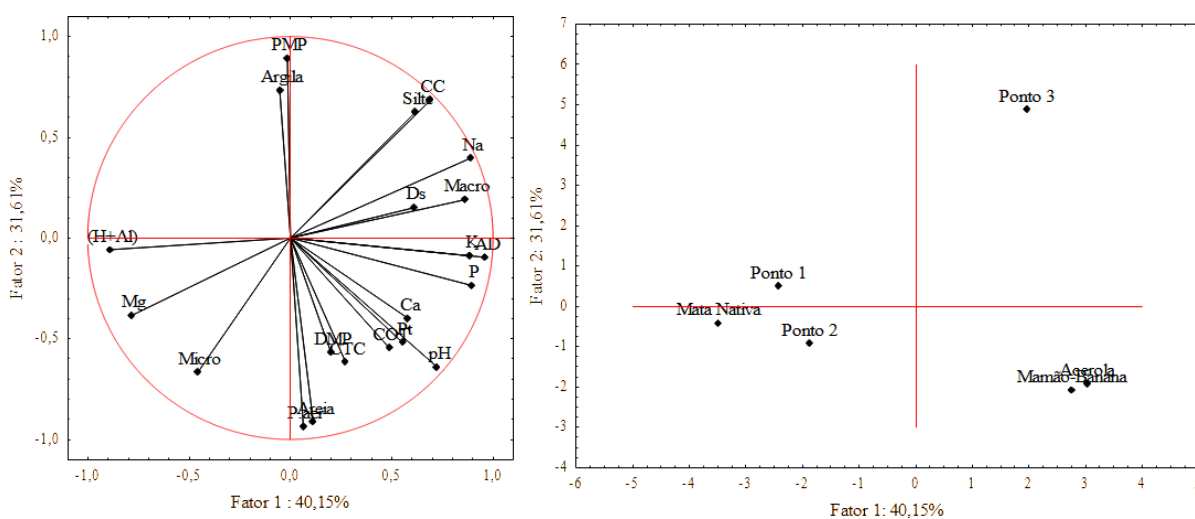
CC	0,69	0,70	0,10
PMP	-0,02	0,89	0,13
AD	0,96	-0,10	-0,02
Autovalores	8,43	6,64	3,2
Variância Total (%)	40,15	31,61	15,22
Variância Total Acumulada (%)	40,15	71,76	86,97

Ds: Densidade do solo; Macro: Macroporosidade; Micro: Microporosidade; Paer: Porosidade de aeração; DMP: Diâmetro médio ponderado; P: Fósforo; K⁺ : Potássio; Na⁺ : Sódio; Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; (H+Al): Acidez potencial; CTC: Capacidade de troca catiônica; COT: Carbono orgânico total; CC:Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente; AD: Água disponível.

5.1.3 Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais (ACP), na Figura 3, permitiu diferenciação dos atributos do solo e usos da terra, formando ACP1 e ACP2 e explicou 71,76% dos resultados obtidos. A MN foi discriminada pelo Mg²⁺ e (H+Al). Já o Ponto 1 (porção superior da paisagem) foi discriminado pela microporosidade, assim como Ponto 2 (porção intermediária). O Ponto 3 (parte mais baixa, com deposição de sedimentos) foi discriminado pelas frações inorgânicas silte e argila, bem como o Na⁺, atributos hídricos CC e PMP.

Figura 3. Distribuição das variáveis físicas, estruturais, químicas e hídricas no círculo de correlação e distribuição da nuvem de pontos que representam os usos da terra, Upanema-RN.



Ds: Densidade do solo; Macro: Macroporosidade; Micro: Microporosidade; Paer: Porosidade de aeração; DMP: Diâmetro médio ponderado; P: Fósforo; K⁺ : Potássio; Na⁺ : Sódio; Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; (H+Al): Acidez potencial; CTC: Capacidade de troca catiônica; COT: Carbono orgânico total; CC:Capacidade de campo; PMP: Ponto de murcha permanente; AD: Água disponível.

A ACE foi discriminada pela fração areia, atributos estruturais Paer e DMP, os químicos pH, P, K⁺ e hídricos AD. O CMB foi discriminado pelos atributos estruturais Ds, macroporosidade e Pt, químicos pH, P, Ca²⁺, CTC e COT.

Vale ressaltar a relação entre carbono orgânico com a quantidade e qualidade dos resíduos culturais e animais, biomassa das raízes, adubação orgânica e atividade microbiana. A diversidade de cultivos garantiu a manutenção desse componente, sendo o CMB com adição de adubos orgânicos e área cultivada anteriormente com hortaliças, já a ACE com abundância de raízes e disposição de material vegetal da propriedade em superfície (Benbi *et al.*, 2015; Almagro *et al.*, 2023).

Esses cultivos não apresentaram indicativos de degradação, devido a cobertura vegetal e as técnicas conservacionistas adotadas (Moraes e Cavichioli, 2022; Yang *et al.*, 2023). Nessas áreas o fenômeno da erosão hídrica pluvial e eólica foram minimizados pela presença de cobertura. Também não foi observado o carregamento de partículas ao longo da paisagem, fatos esses que corroboram para manutenção da fertilidade desses usos, discriminados principalmente pelos atributos químicos P, K⁺, Ca²⁺ e CTC (Liou *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2019).

Os atributos físicos-estruturais que discriminaram essas áreas confirmam que em solos de textura grossa, sob cultivos conservacionistas, a limitação hídrica imposta pela Paer, macroporosidade e Pt não representam um fator de impedimento para o crescimento e desenvolvimento de plantas, visto que a presença de agregados estáveis possibilita a retenção de água em seu interior, reduzindo a infiltração pelos poros do solo (Gajic *et al.*, 2023; Raj *et al.*, 2023).

Quanto as áreas erosionais os Pontos 1 e 2 foram discriminados pela microporosidade, entretanto esse atributo não é capaz de garantir a retenção de água no solo, principalmente considerando o grau e comprimento do declive acentuado que potencializam a erosão hídrica com o aumento da velocidade da enxurrada. Vale salientar que elas ficam na porção superior e intermediária da paisagem, apresentam caminhos preferenciais da água (Volk e Cogo, 2009; Liou *et al.*, 2022).

A infiltração e o escoamento superficial são afetados pelas mesmas circunstâncias, sendo elas a inclinação do declive da paisagem, a porcentagem de cobertura vegetal, capaz de interceptar a água de chuva e a rugosidade superficial (Castro, Cogo e Volk, 2006; Spohr *et al.*, 2009). A combinação desses fatores intensifica as perdas de água e solo pela erosão hídrica, problema que compromete não só os atributos físico-hídricos, mas também os

químicos, que nessas áreas apresentam baixos valores, quando comparados aos cultivos, principalmente no aporte de COT (Toledo, 2023).

A Figura 4 apresenta essa condição de caminhos preferenciais, vale salientar que esse processo intensifica o escoamento superficial, a desagregação e perda de solo e água, que são depositadas na porção interior, verificado pelo conteúdo de argila 175,00 g/kg, 150,00 g/kg e 275,00 g/kg para Ponto 1, 2 e 3, respectivamente. A mesma tendência ocorreu com a fração silte, pois o processo erosivo é seletivo, transportando para as áreas mais baixas as partículas menores e mais férteis.

Figura 4. Condições do solo para os ponto 1 (A e B) e ponto 2 (C e D), com comprimento e grau do declive acentuado na comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.



O Ponto 3, da classe dos Vertissolos foi discriminado pelos atributos hídricos em função da presença de argilominerais 2:1, dentre os solos avaliados foi o que apresentou maior conteúdo de silte e argila de atividade coloidal alta (Souza Junior *et al.*, 2007). Embora seja uma classe que naturalmente apresenta problemas de infiltração e drenagem, por se tratar da porção mais baixa da paisagem, aliado a baixa precipitação pluvial do semiárido apresentou valores próximos aos dos cultivos (Santos *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2021). O carbono orgânico nessa classe garante a melhoria da estabilidade dos agregados, maior retenção de água, microporosidade e conteúdo de AD (Hati *et al.*, 2007).

A MN, em Latossolo foi discriminada pela acidez, devido as características inerentes da classe (Fontana *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2018). O conteúdo de carbono proveniente da

serapilheira da caatinga garantiu melhora estrutural em nossos achados, percebido pelo DMP, confirmando a importância da serapilheira em solos intemperizados, que por meio da liberação de exsudatos pelas raízes funcionam como agentes agregantes para formação dos agregados, por sua vez, tornam essas áreas resistentes ao processo erosivo (Freitas *et al.*, 2018; Chellappa *et al.*, 2021; Agarwal *et al.*, 2022; Santos, Figueiredo e Fonseca, 2023).

5.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura

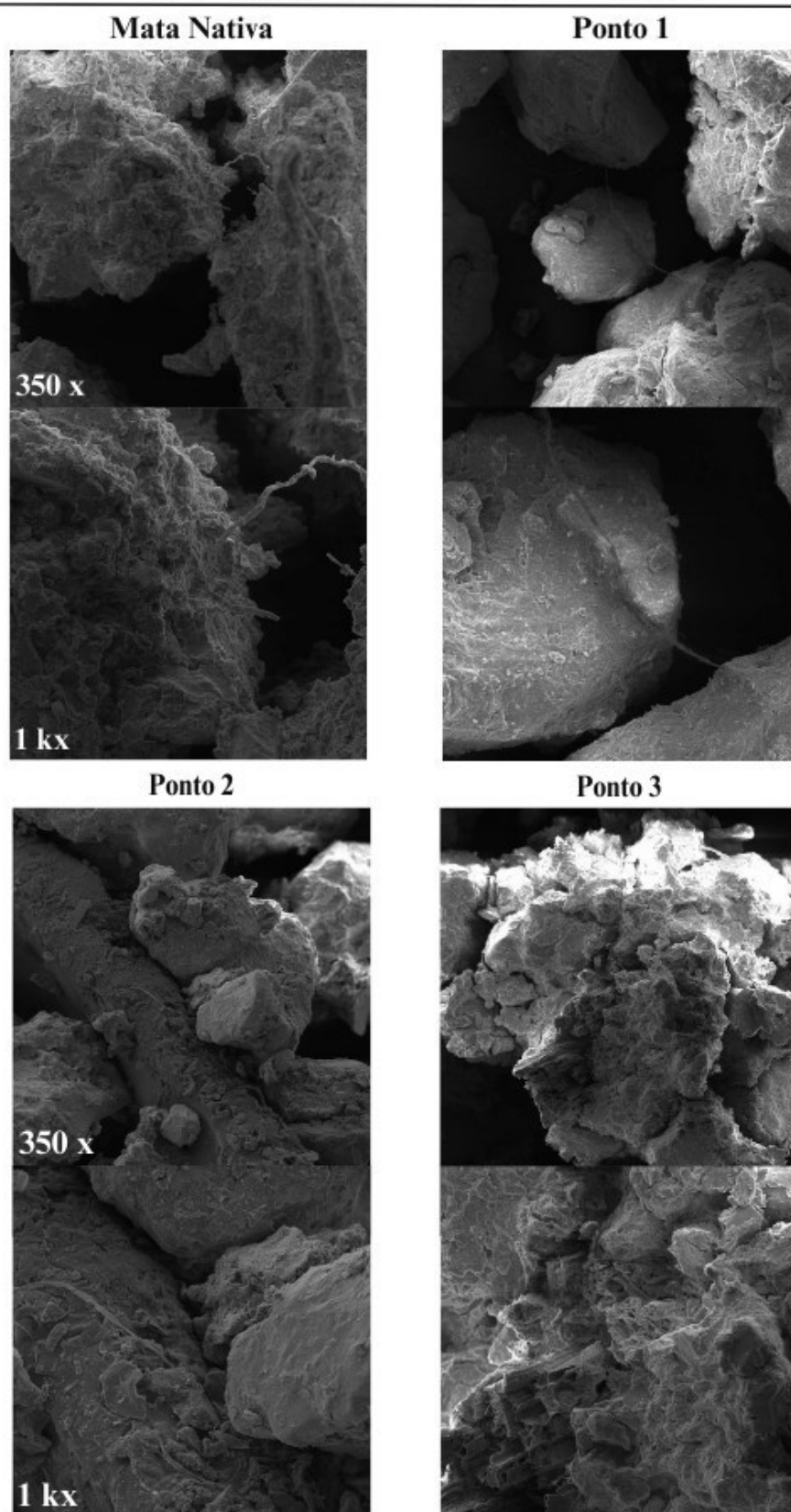
As fotomicrografias geradas fornecem informações importantes sobre a microestrutura superficial da matriz do solo e seu espaço poroso. Nesse estudo, foram avaliados os pontos erosionais e a MN. A partir delas foi possível inferir sobre a forma, arranjo e rugosidade das partículas, bem como a presença de microrganismos e a relação com as raízes das plantas (Védère *et al.*, 2022).

A Figura 5 apresenta as fotomicrografias das áreas. O Ponto 1 da classe Argissolo, revelou estrutura granular lisa e adensada, com a presença de raízes finas possivelmente associadas a microrganismos ou resíduos vegetais. Já no Ponto 2 apresentou características típicas de Argissolo franco arenoso, com partículas individualizadas de areia fina empacotando os agregados, com formato irregular e superfícies relativamente lisas.

O Ponto 3, Vertissolo com classificação francoargilo arenoso apresentou agregados menores e estáveis, a organização das partículas finas se dá de forma compacta, com poros heterogêneos, bem como um arranjo que proporciona o fendilhamento do solo pelos ciclos de umedecimento e secagem. A MN apresenta uma matriz mineral com aspecto maciço e homogêneo, uma estrutura irregular quanto ao formato das partículas, com superfície rugosa em função de agregados estáveis, além da presença de raízes.

Figura 5. Fotomicrografias da Mata Nativa e áreas erosionais da comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.

Microscopia Eletrônica de Varredura



A dinamicidade da estrutura do solo seja por processos naturais ou antrópicos, permite avaliar a porosidade e fornece informações sobre aeração, infiltração e distribuição de raízes. A macroporosidade é diretamente influenciada pela estrutura, sensível as alterações de preparo das áreas agrícolas, além dos ciclos de umedecimento e secagem e demais fatores climáticos (intensidade, tamanho e velocidade das gotas de chuva) (Rousseva, Torri e Pagliai, 2002; Pires *et al.*, 2008).

As fotomicrografias obtidas em nossos achados revelam uma porosidade maior para os Pontos 1 e 2, o que pode ser explicado pelo conteúdo da fração areia fina nesses solos, enquanto o Ponto 3 (Vertissolo) apresenta argila e silte, juntamente com a areia fina fortemente aderidos quando secos.

Os Argissolos analisados apresentam frações de argila que contribuem para coesão entre as partículas, aspecto importante em solos de textura grossa. A presença de grandes espaços porosos refletem a capacidade limitada de retenção de água e nutrientes, visto que favorecem a drenagem rápida. A microestrutura aliada ao baixo conteúdo de matéria orgânica sugere que essas áreas erosionais demandam um manejo adequado que inclua técnicas de conservação das propriedades do solo, como o pousio (Pedron, Samuel-Rosa e Dalmolin, 2012; Santos *et al.*, 2018).

A porosidade dos Vertissolos é alterada naturalmente pelos ciclos de umedecimento e secagem, podendo formar fendas ao longo do perfil de solo, devido as forças de adesão e coesão que causam a expansão e contração do solo (Pires *et al.*, 2008; Ferreira e Ferreira, 2009). A atuação dessas forças gera um impedimento físico para o desenvolvimento de raízes e trocas gasosas no período seco, essa condição pode ser intensificada pelo manejo adotado.

Sabendo que a porosidade apresenta informações sobre a degradação do solo, o uso de imagens 2D e 3D são alternativas para o detalhamento da camada superficial, mais sensível ao manejo do solo, podendo fornecer informações sobre a presença de crostas superficiais, provenientes da erosão hídrica (Fox, Bryan e Fox, 2004; Dalla Rosa *et al.*, 2017). As crostas podem ser do tipo sedimentares, isto é, as partículas e microagregados são depositadas nas superfícies das depressões da paisagem, onde se reorganizam obstruindo os poros menores, culminando em uma camada compactada. Esse processo junto as características naturais do Vertissolo tornam o Ponto 3 sensível, sendo necessária a manutenção dos atributos do solo por meio de adoção de práticas que controlem o escoamento superficial como curvas de nível e diversidade de cultivos, como forma de manter a estabilidade dos agregados, amortecimento das gotas de chuva e o vento (Toledo, 2023).

A MN inserida em Latossolo, apresentou características próprias da classe, em área não cultivada apresenta significativa melhora da porosidade e agregação, mantendo uma estrutura granular que promove boa infiltração de água e o movimento de ar. A presença de serapilheira promove a formação de microagregados, bem como no arranjo de macro e microporos, influenciando a capacidade de retenção de água e nutrientes, melhorando a coesão entre as partículas, que é naturalmente baixa (Freitas *et al.*, 2018). A decomposição da matéria orgânica contribui para melhora das propriedades físicas, químicas e biológicas, minimiza a erosão hídrica e eólica, além de criar um ambiente favorável para o desenvolvimento de microrganismos que formam húmus e garantem a ciclagem de nutrientes (Inkotte *et al.*, 2019; Novak *et al.*, 2021).

5.2 Análise Qualitativa

5.2.1 Metodologia Participativa

Verificou-se que o CMB apresentou maior média para os indicadores avaliados, sendo 9,4. Seguindo da MN (9,1) e ACE (8,4), enquanto as demais áreas com presença de erosão apresentaram valores médios inferiores a 5,0, indicativo que as áreas erosionais reduziram sua capacidade produtiva, quanto à qualidade física, química e biológica, os valores foram expressos em tabela para obtenção do gráfico tipo radar, apresentado na Tabela 7 e Figura 6, respectivamente.

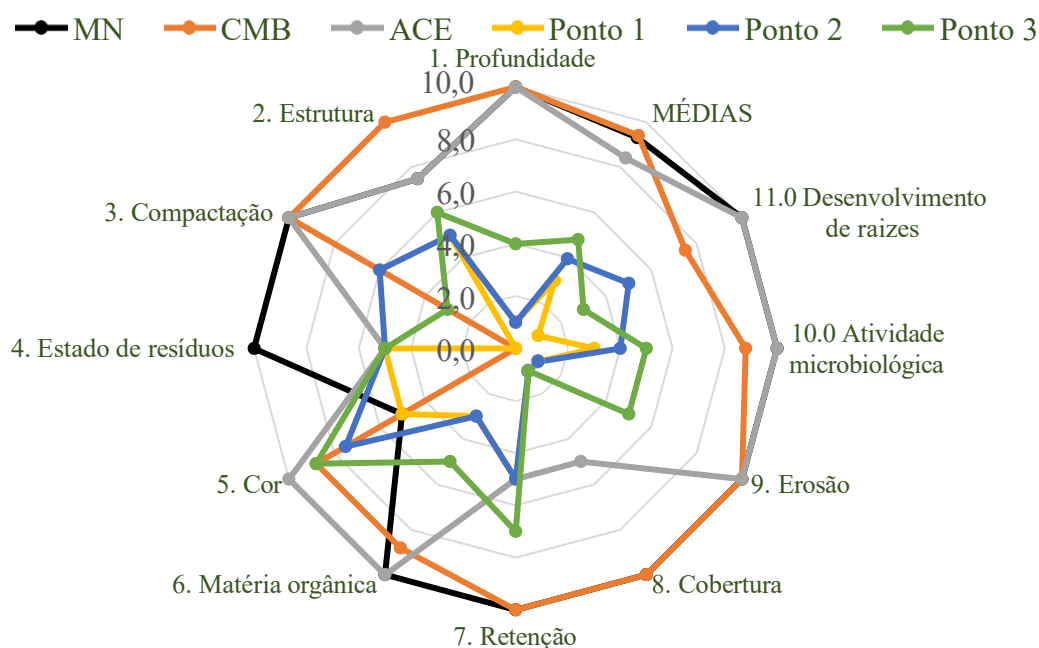
Tabela 7. Média das notas para os indicadores de qualidade do solo obtidas por metodologia participativa, na comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.

Indicadores	MN	CMB	ACE	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Profundidade	10,0	10,0	10,0	1,0	1,0	4,0
Estrutura	7,5	10,0	7,5	5,0	5,0	6,0
Ausência de compactação	10,0	10,0	10,0	5,0	6,0	3,0
Estado de resíduos	10,0	10,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cor	5,0	8,8	10,0	5,0	7,5	8,8
Matéria orgânica	10,0	8,8	10,0	3,0	3,0	5,0
Retenção	7,5	10,0	5,0	5,0	5,0	7,0
Presença de cobertura	10,0	10,0	5,0	1,0	1,0	1,0
Erosão	10,0	10,0	10,0	1,0	1,0	5,0
Atividade microbiológica	10,0	8,8	10,0	3,0	4,0	5,0
Desenvolvimento de raízes	10,0	7,5	10,0	1,0	5,0	3,0
Médias	9,1	9,4	8,4	3,0	4,0	4,8

MN: Área de Mata Nativa; CMB: Consórcio de Mamão-Banana; ACE: Área de Acerola.

Figura 6. Representação esquemática dos indicadores de qualidade do solo na comunidade rural Piracicaba, Upanema-RN.

Indicadores de Qualidade do Solo



MN: Área de Mata Nativa; CMB: Consórcio de Mamão-Banana; ACE: Área de Acerola.

Para a MN, as notas atribuídas aos indicadores foram em função da ausência de atividades humanas, que garantem a cobertura do solo, boa infiltração de água, assim como atividade dos microrganismos e a ausência de erosão, por ser um ambiente intemperizado apresenta boa profundidade e desenvolvimento de raízes.

O ambiente CMB apresentou conservação da matéria orgânica na superfície e boa retenção de água em função da ausência de erosão e compactação do solo, além de agregados maiores e estáveis. A ACE pode ser caracterizada pelo desenvolvimento de raízes e a atividade microbiológica, não apresentou erosão ou presença de compactação, além da manutenção da cobertura (Moura *et al.*, 2016; Dong *et al.*, 2022; Koudahe, Allen e Djaman, 2022).

Para os Pontos 1 e 2 com presença de erosão os indicadores mostraram que não há presença de cobertura e manutenção da matéria orgânica, apresentaram diferentes níveis de degradação com uma estrutura pouco consolidada. O Ponto 3 (Vertissolo) se destacou com boa retenção em função da presença de argila e pela cota mais baixa da paisagem, com valores inferiores para profundidade efetiva e efervescência superior ao outros pontos erosionais quando se utilizou peróxido de hidrogênio, pode ser justificado pela argila de atividade coloidal alta característico da classe (Silva *et al.*, 2021).

Diante desses resultados, as áreas com cultivo de acerola e consócio mamão-banana, que proporcionaram o aporte de matéria orgânica apresentaram melhores resultados, pois há conservação da estrutura do solo, dos microrganismos, além do bom desenvolvimento de raízes e retenção de água, que favorecem o crescimento vegetal, assim como na área de mata preservada (Almagro *et al.*, 2023).

A recuperação das demais áreas demanda tempo e planejamento adequado as particularidades locais, pois compreende um conjunto de técnicas, quanto à adequação de práticas de curva de nível, reflorestamento, uso de plantas perenes, rústicas, como exemplo Capim Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), bem como adoção de pousio. Essas técnicas proporcionam uma barreira física que impede o deslocamento da camada superficial do solo, pela desagregação, transporte e deposição fora do local de origem, permite a conservação biodiversidade vegetal e animal, mantendo assim, a sustentabilidade dos agroecossistemas (Moura *et al.*, 2016; Mariano, Aquino e Junior, 2022; Moraes e Cavichioli, 2022).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manutenção da matéria orgânica promoveu melhoria dos atributos químicos e hídricos nos cultivos de Acerola e Consórcio de Mamão-Banana, como também a Mata Nativa com serapilheira. O mesmo não ocorreu para os Pontos 1 (cota mais alta da paisagem) e 2 (cota intermediária), que foram discriminados pela microporosidade, apresentando restrições físicas para o crescimento de raízes e hídrica. Já o Ponto 3 (cota mais baixa) foi discriminado pelas frações inorgânicas e atributos hídricos, em função da classe e da deposição de sedimentos em superfície.

A microscopia eletrônica de varredura forneceu informações sobre a microestrutura superficial. A Mata Nativa em Latossolo, apresentou uma matriz mineral homogênea e rugosa, estrutura irregular e abundância de raízes em função de agregados estáveis. Os Pontos 1 e 2 da classe Argissolo apresentaram estrutura lisa e adensada, bem como predominância de poros maiores. O Ponto 3, Vertissolo, apresentou agregados compactos e poros heterogêneos, além de fendilamentos pelos ciclos de umedecimento e secagem.

Para a metodologia participativa aplicada em campo o Consórcio apresentou melhores resultados para os indicadores avaliados, seguido da Mata Nativa e Acerola, enquanto as áreas erosionais apresentaram valores médios inferiores a 5,0. A Mata Nativa apresentou menores valores para os atributos hídricos, cor e estrutura, já a Acerola para cobertura, estado dos resíduos e a retenção. Para os Pontos 1, 2 e 3 os indicadores mostraram ausência de cobertura

e manutenção da matéria orgânica, com diferentes níveis de degradação e solos pouco profundos, além de uma estrutura pouco consolidada, com excessão do Ponto 3, que apresentou restrições físicas para o crescimento de raízes em função da compactação.

Portanto, as análises qualitativas e quantitativas apontam a necessidade da adoção de um conjunto de práticas conservacionistas para as áreas erosionais, frente as potencialidades dos cultivos adotados, que apresentaram melhores condições para atributos físicos, estruturais, químicos e hídricos.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL, P. *et al.* Cover Crops Enhance Soil Properties in Arid Agroecosystem despite Limited Irrigation. **Agronomy**, v. 12, n. 5, p. 1235, 2022. DOI 10.3390/agronomy12051235. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/5/1235>. Acesso em: 19 set. 2024.
- ALMAGRO, M. *et al.* The combination of crop diversification and no tillage enhances key soil quality parameters related to soil functioning without compromising crop yields in a low-input rainfed almond orchard under semiarid Mediterranean conditions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 345, p. 108320, 2023. DOI 10.1016/j.agee.2022.108320. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108320>. Acesso em: 19 set. 2024.
- ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I. Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. **Manejo Integrado de Plagas y Agroecología**, n. 64, p. 17–24, 2002. Disponível em: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/6866>. Acesso em: 24 jun. 2024.
- ALVES, R. E. A Relação entre agricultura, degradação do solo e tempestades de areia. **Revista AYIKA**, v. 1, n. 1, p. 50–66, 2021. Disponível em: <https://www.revistas.uneb.br/index.php/ayika/article/view/13407>. Acesso em: 08 set. 2024.
- ALVES, A. R. *et al.* Long-term organic fertilization with high carbon input improves pore geometry and functionality of no-till sandy soil. **Soil and Tillage Research**, v. 244, p. 106256, 2024. DOI 10.1016/j.still.2024.106256. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198724002575>. Acesso em: 16 set. 2024.
- AMADO, T. J. C. *et al.* Qualidade do solo avaliada pelo “Soil Quality Kit Test” em dois experimentos de longa duração no Rio Grande do Sul. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 1, p. 109–121, 2007. DOI 10.1590/S0100-06832007000100012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000100012>. Acesso em: 27 out. 2024.
- ANNING, D. K. *et al.* Stimulation of soil organic matter fractions by maize straw return and nitrogen fertilization in the Loess Plateau of Northwest China. **Applied Soil Ecology**, v. 191, p. 105061, 2023. DOI 10.1016/j.apsoil.2023.105061. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139323002597>. Acesso em: 12 set. 2024.
- ARAÚJO, A. S. F. *et al.* From desertification to restoration in the Brazilian semiarid region: Unveiling the potential of land restoration on soil microbial properties. **Journal of Environmental Management**, v. 351, p. 119746, 2024. DOI 10.5777/PAeT.V5.N1.12. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479723025343>. Acesso em: 09 set. 2024.

ARAÚJO, E. A. DE *et al.* Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Applied Research & Agrotechnology**, v. 5, n. 1, p. 187–206, 2012. DOI 10.1016/j.agee.2022.108320. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/repaa/article/view/1658>. Acesso em: 01 set. 2024.

ARAÚJO, R. S. R. De. **Monitoramento da salinidade de um latossolo cultivado com maracujazeiro irrigado com água salina**. 2021. 34 f. Monografia (Graduação) - Curso de Bacharelado em Química da Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/20569/1/RSRA30072021-MQ071.pdf?form=MG0AV3>. Acesso em: 27 out. 2024.

ARRUDA, L. E. V. *et al.* Uso de metodologia participativa na obtenção de indicadores da qualidade do solo em Mossoró-RN. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 2012. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/Uso-de-metodologia-participativa-na-obten%C3%A7%C3%A3o-de-da-Arruda-Batista/e0db7b6707171787664d1b09b1fef46597e41ae0?p2df>. Acesso em: 10 out. 2024.

BARBOSA, G. M. DE C. *et al.* No-tillage participatory quality index reflects the condition of soil management. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, 2023. Disponível em: <http://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/84992>. Acesso em: 10 out. 2024.

BAUER, A.; BLACK, A. L. Soil Carbon, Nitrogen, and Bulk Density Comparisons in Two Cropland Tillage Systems after 25 Years and in Virgin Grassland. **Soil Science Society of America Journal**, v. 45, n. 6, p. 1166–1170, 1981. DOI 10.2136/sssaj1981.03615995004500060032x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1981.03615995004500060032x>. Acesso em: 17 set. 2024.

BENBI, D. K. *et al.* Total and labile pools of soil organic carbon in cultivated and undisturbed soils in northern India. **Geoderma**, v. 237–238, p. 149–158, 2015. DOI 10.1016/j.geoderma.2014.09.002. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706114003346>. Acesso em: 19 set. 2024.

BERTOL, I. *et al.* Sedimentos transportados pela enxurrada em eventos de erosão hídrica em um Nitossolo Háplico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 245-252, 2010. DOI 10.1590/S0100-06832010000100025. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/b7XX6pMcvSr9p83HMtp7vgq/>. Acesso em: 01 set. 2024.

BEZERRA, L. H. L.; VILLELA, F. N. J.; FURQUIM, S. A. C. Erosão eólica em meio tropical : nuvens de poeira em franca. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 1, n. 112, p. 77–100, 2024. DOI 10.61636/bpg.v1i112.2994. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/2994>. Acesso em: 06 set. 2024.

BOCUTI, E. D. *et al.* Effective hydraulic conductivity and its relationship with the other attributes of Cerrado soils. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, p. 357–363, 2020. DOI 10.1590/1807-1929/agriambi.v24n6p357-363. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/g44X5yR8zvFFmvmPBshgBmr/?lang=en>. Acesso em: 19 set. 2024.

BOLFE, É. L. *et al.* Potential for Agricultural Expansion in Degraded Pasture Lands in Brazil Based on Geospatial Databases. **Land**, v. 13, n. 2, p. 200, 2024. DOI 10.3390/land13020200. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-445X/13/2/200>. Acesso em: 08 set. 2024.

BRAIDOTTI, G.; NOBILI, M. DE; PIANI, L. Integrated Use of Local and Technical Soil Quality Indicators and Participatory Techniques to Select Them. A Review of Bibliography and Analysis of Research Strategies and Outcomes. **Sustainability**, v. 13, n. 1, p. 87, 2021. DOI 10.3390/su13010087. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/1/87>. Acesso em: 09 out. 2024.

BRASILEIRO, R. S. Alternativas de desenvolvimento sustentável no semiárido nordestino: da degradação à conservação. **Scientia Plena**, v. 5, n. 5, 2009. Disponível em: <https://www.scientiaplenu.org.br/sp/article/view/629>. Acesso em: 08 set. 2024.

ÇAKIR, M. *et al.* Recuperação da qualidade biológica do solo (QBS-ar) e abundância de microartrópodes do solo após um incêndio prescrito na floresta de *Quercus frainetto*. **Applied Soil Ecology**, v. 184, p. 104768, 2023. DOI 10.1016/j.apsoil.2022.104768. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139322003845>. Acesso em: 23 set. 2024.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. DE. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 117–124, 2003. DOI 10.1590/S0100-204X2003000100016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/QwpwffrXbGkRpTt4YyNZ98p/?lang=pt>. Acesso em: 09 out. 2024.

CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. DA S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 339–352, 2006. DOI 10.1590/S0100-06832006000200014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/DLjW36RrfBVTkQQwQt879RR/?lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2024.

CAVALCANTE, E. G. S. *et al.* Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1329–1339, 2007. DOI 10.1590/S0100-06832007000600012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/cTwHsDTsvFzsWVMQYsthxgP/>. Acesso em: 09 set. 2024.

CHELLAPPA, J. *et al.* Soil organic carbon, aggregate stability and biochemical activity under tilled and no-tilled agroecosystems. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 4, p.

100139, 2021. DOI 10.1016/j.jafr.2021.100139. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666154321000417>. Acesso em: 19 set. 2024.

CHEPIL, W. S. Field Structure of Cultivated Soils with Special Reference to Erodibility by Wind. **Soil Science Society of America Journal**, v. 17, n. 3, p. 185–190, 1953. DOI 10.2136/sssaj1953.03615995001700030002x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1953.03615995001700030002x>. Acesso em: 17 set. 2024.

CORRÊA, R. M. *et al.* Atributos químicos de solos sob diferentes usos em perímetro irrigado no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 305–314, 2009. DOI 10.1590/S0100-06832009000200008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/v7fwxB8YF4q494nMy8rgB/?lang=pt>. Acesso em: 17 set. 2024.

CUI, Z. *et al.* Fine roots determine soil infiltration potential than soil water content in semi-arid grassland soils. **Journal of Hydrology**, v. 578, p. 124023, 2019. DOI 10.1016/j.jhydrol.2019.124023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169419307504>. Acesso em: 23 set. 2024.

DALLA ROSA, J. *et al.* Influence of Crust Formation on Soil Porosity under Tillage Systems and Simulated Rainfall. **Hydrology**, v. 4, n. 1, p. 3, 2017. DOI 10.3390/hydrology4010003. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-5338/4/1/3>. Acesso em: 21 set. 2024.

DIAS, P. M. S. *et al.* Soil Attributes and Their Interrelationships with Resistance to Root Penetration and Water Infiltration in Areas with Different Land Uses in the Apodi Plateau, Semiarid Region of Brazil. **Agriculture**, v. 13, n. 10, p. 1921, 2023. DOI 10.3390/agriculture13101921. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/10/1921>. Acesso em: 18 set. 2024.

DONG, L. *et al.* Impact of short-term organic amendments incorporation on soil structure and hydrology in semiarid agricultural lands. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, n. 3, p. 457–469, 2022. DOI 10.1016/j.iswcr.2021.10.003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633921000964>. Acesso em: 19 set. 2024.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing 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. 3-21. (SSSA special publication, 35). DOI 10.2136/sssaspecpub35.c1. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>. Acesso em: 01 set. 2024.

DUBREUIL, V. *et al.* Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Revista franco-brasileira de geografia**, n. 37, p. 1-20, 2018. DOI 10.4000/confins.15738. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/15738>. Acesso em: 27 out. 2024.

ESMAEILIZAD, A. *et al.* Exploring the driving forces and digital mapping of soil biological properties in semi-arid regions. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 220, p. 108831, 2024. DOI 10.1016/j.compag.2024.108831. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169924002229>. Acesso em: 09 set. 2024.

EURICH, J. *et al.* Avaliação visual da qualidade da estrutura do solo em sistemas de uso das terras. **Revista CERES**, v. 61, n. 6, p. 1006–1011, 2014. DOI 10.1590/0034-737X201461060017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461060017>. Acesso em: 27 out. 2024.

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. El estado mundial de la agricultura y la alimentación 2021: hacer frente a las crisis de agua. Roma: FAO, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cb7654es>. Acesso em: 08 out. 2024.

FAO. World reference base for soil resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: World Soil Resources Reports No, 2015. v. 106. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bcdecec7-f45f-4dc5-beb1-97022d29fab4/content>. Acesso em: 18 ago. 2024.

FAVARETTO, N. *et al.* Can application of liquid dairy manure onto no-tillage oxisols reduce runoff, sediment, phosphorus, and nitrogen losses over 9 years of natural rainfall? **Geoderma**, v. 405, p. 115406, 2022. DOI 10.1016/j.geoderma.2021.115406. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706121004869>. Acesso em: 16 set. 2024.

FELTZ, L. P. S. *et al.* Avaliação dos atributos do solo em diferentes sistemas de manejo e uso: uma análise comparativa. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 14, n. 01, p. 10–19, 2024. DOI 10.21206/rbas.v14i01.18152. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/rbas/article/view/18152>. Acesso em: 01 set. 2024.

FERNANDES, I. M. M. *et al.* Híbridos de Quitosana/Argila para Encapsulamento e Liberação Controlada do Fármaco Dexametasona. **Híbridos de Quitosana/Argila para Encapsulamento e Liberação Controlada do Fármaco Dexametasona**, v. 14, n. 3, p. 130–139, 2019. Disponível em: <http://www2.ufcg.edu.br>. Acesso em: 04 set. 2024.

FERREIRA, S. R. DE M.; FERREIRA, M. DA G. DE V. X. Mudanças de volume devido à variação do teor de água em um vertissolo no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 779–791, 2009. DOI 10.1590/S0100-06832009000400004.

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/BgJRFNJ7YnrsLQm4HCgSz6C/>. Acesso em: 21 set. 2024.

FONTANA, A. *et al.* Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1457–1465, 2016. DOI 10.1590/s0100-204x2016000900044. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2016000901457&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 17 set. 2024.

FOX, D. M.; BRYAN, R. B.; FOX, C. A. Changes in pore characteristics with depth for structural crusts. **Geoderma**, v. 120, n. 1, p. 109–120, 2004. DOI 10.1016/j.geoderma.2003.08.010. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706103002805>. Acesso em: 21 set. 2024.

FREIRE, T. M. *et al.* Atributos físicos e biológicos do solo em sistemas consorciados. **Agri-Environmental Sciences**, v. 9, n. 2, p. 14–14, 2023. DOI 10.36725/agries.v9i2.8599. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/8599>. Acesso em: 09 set. 2024.

FREITAS, L. DE *et al.* Estoque de carbono de latossolos em sistemas de manejo natural e alterado. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 228–239, mar. 2018. DOI 10.5902/1980509831575. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/ZKVvx43KkJkggvXQ6wdjqjJ/?lang=pt>. Acesso em: 08 set. 2024.

FREITAS, L. *et al.* Avaliação de atributos químicos e físicos de solos com diferentes texturas sob vegetação nativa. **Enciclopedia Biosfera**, v. 10, n. 18, 2014. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/2683>. Acesso em: 17 set. 2024.

GAJIĆ, K. *et al.* Hydraulic properties of fine-textured soils in lowland ecosystems of Western Serbia vary depending on land use. **Geoderma Regional**, v. 32, p. e00603, 2023. DOI 10.1016/j.geodrs.2022.e00603. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352009422001237>. Acesso em: 19 set. 2024.

GARGIULO, L.; MELE, G.; TERRIBILE, F. Image analysis and soil micromorphology applied to study physical mechanisms of soil pore development: An experiment using iron oxides and calcium carbonate. **Geoderma**, v. 197–198, p. 151–160, 2013. DOI 10.1016/j.geoderma.2013.01.008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706113000220>. Acesso em: 10 set. 2024.

HAIR, J. R. *et al.* **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

HATI, K. M. *et al.* Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 119, n. 1, p. 127–134, 1 fev. 2007.

HOPKINS, J. R.; SEMENOVA-NELSEN, T. A.; SIKES, B. A. Land management drives dynamic changes to microbial function through edaphic factors and soil biota. **Pedobiologia**, v. 96, p. 150859, 2023. DOI 10.1016/j.pedobi.2022.150859. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031405622016213>. Acesso em: 23 set. 2024.

HUDSON, N. **Soil Conservation**. 3. ed. Ames: Iowa State University Press, 1995.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Áreas dos municípios. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html>. Acesso em: 08 set. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Entre 2000 e 2020, a área agrícola do país cresceu 230 mil km² e a vegetação natural diminuiu 513 mil km² | Agência de Notícias. 2022. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/35145-entre-2000-e-2020-a-area-agricola-do-pais-cresceu-230-mil-km-e-a-vegetacao-natural-diminuiu-513-mil-km>. Acesso em: 06 set. 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Áreas Territoriais | IBGE. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html>. Acesso em: 08 set. 2024.

INKOTTE, J. *et al.* Métodos de avaliação da ciclagem de nutrientes no bioma Cerrado: uma revisão sistemática. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 988–1003, 2019. DOI 10.5902/1980509827982. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/27982>. Acesso em: 08 out. 2024.

KARLEN, D. L. *et al.* Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation (A Guest Editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v. 61, n. 1, p. 4–10, 1997. DOI 10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x. Disponível em: <https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>. Acesso em: 09 set. 2024.

KOOCH, Y. *et al.* Can soil health in degraded woodlands of a semi-arid environment improve after thirty years? **Science of The Total Environment**, v. 928, p. 172218, 2024. DOI 10.1016/j.scitotenv.2024.172218. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969724023611>. Acesso em: 23 set. 2024.

KOUDAHE, K.; ALLEN, S. C.; DJAMAN, K. Critical review of the impact of cover crops on soil properties. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 10, n. 3, p.

343–354, 1 set. 2022. DOI 10.1016/j.iswcr.2022.03.003. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095633922000259>. Acesso em: 19 set. 2024.

LAL, R.; PIERCE, F.J. The vanishing resource. In: LAL, R.; PIERCE, F.J., eds. **Soil management for sustainability**. Ankeny, Soil Water Conservation Society, 1991. p.1-5.

LARSON, W. E.; PIERCE, F. J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. 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. 37-51. (SSSA special publication, 35).

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 3. ed. São Paulo: EDUSP, 2012.

LIU, Y. *et al.* Prediction of soil erosion and sediment transport in a mountainous basin of Taiwan. Prediction of soil erosion and sediment transport in a mountainous basin of Taiwan, **Prog Earth Planet Sci**. v. 52, n. 9, p. 15, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40645-022-00512-4>. Acesso em: 12 set. 2024.

LUJÁN SOTO, R. *et al.* Restoring soil quality of woody agroecosystems in Mediterranean drylands through regenerative agriculture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 306, p. 107191, 2021. DOI 10.1016/j.agee.2020.107191. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167880920303777>. Acesso em: 23 set. 2024.

MACEDO, R. S. *et al.* Processos pedogenéticos e susceptibilidade dos solos à degradação no Semiárido Brasileiro. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 81, p. 176–195, 2021. DOI 10.14393/RCG228155397. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/55397>. Acesso em: 23 set. 2024.

MACEDO, R. S. *et al.* Efeitos da degradação nos atributos de solos sob Caatinga no Semiárido Brasileiro. **Revista Árvore**, p. //doi.org/10.1590/1806-908820230000002, 2023. DOI <https://doi.org/10.1590/1806-908820230000002>. Disponível em: <https://www.revistaarvore.ufv.br/rarv/article/view/263440>. Acesso em: 23 set. 2024.

MACHADO, T. M. *et al.* Níveis de compactação e sistemas de preparo sobre atributos físicos do solo e componentes de produção da soja. **Agrarian**, v. 16, n. 56, p. e17037–e17037, 2023. DOI 10.30612/agrarian.v16i56.17037. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/agrarian/article/view/17037>. Acesso em: 09 set. 2024.

MARIANO, N.; AQUINO, M. D. H. DE; JUNIOR, E. F. A IMPORTÂNCIA DA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS: uma forma de conservação ambiental. **Revista Interface Tecnológica**, v. 19, n. 1, p. 185–197, 2022. DOI 10.31510/inf.v19i1.1347. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1347>. Acesso em: 09 set. 2024.

MARTINS, C. M. *et al.* Atributos químicos e microbianos do solo de áreas em processo de desertificação no semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1883–1890, 2010. DOI 10.1590/S0100-06832010000600012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/SxJ6YYS33gxWwjgnvHmfdNq/>. Acesso em: 23 set. 2024.

MELO, J. DE O. *et al.* A Caatinga: Um bioma exclusivamente brasileiro. **Ciencia e Cultura**, v. 75, n. 4, 2023. DOI 10.5935/2317-6660.20230048. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/SxJ6YYS33gxWwjgnvHmfdNq/>. Acesso em: 27 out. 2024.

MELO, Z. N. DE; ROCHA, A. J. P. DNBCPC Desertificação no nordeste brasileiro em conexão às perspectivas climáticas. **Conexão ComCiência**, v. 3, n. 4, 2024. DOI 10.52521/revccc.v3i4.10646. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/conexaocomciencia/article/view/10646>. Acesso em: 08 set. 2024.

MELO FILHO, J. F. DE; SACRAMENTO, J. A. A. S. DO; CONCEIÇÃO, B. P. S. Curva de retenção de água elaborada pelo método do psicrômetro para uso na determinação do índice “S” de qualidade física do solo. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 959–966, 2015. DOI 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n5p959-966/2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/9jDy497WsJZBKMWghLqSnSK/?form=MG0AV3>. Acesso em: 28 out. 2024.

MENDES, K. DA R. *et al.* Physical, chemical and structural attributes of soil in agroecosystems in the Brazilian Semiarid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, p. 1–10, 2022. Disponível em: <http://periodicos.ufc.br/revistacienciaagronomica/article/view/88897>. Acesso em: 06 set. 2024.

MORAES, J. A. T.; CAVICHIOILLI, F. A. Recuperação de solo com o sistema agrofloresta. **Revista Interface Tecnológica**, v. 19, n. 2, p. 597–607, 2022. DOI 10.31510/inf.v19i2.1458. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/1458>. Acesso em: 06 set. 2024.

MOURA, P. M. *et al.* Carbon and nutrient fluxes through litterfall at four succession stages of Caatinga dry forest in Northeastern Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 105, n. 1, p. 25–38, 2016. DOI 10.1007/s10705-016-9771-4. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9771-4>. Acesso em: 19 set. 2024.

NGO, A. T.; MORI, Y.; BUI, L. T. Effects of cellulose nanofibers on soil water retention and aggregate stability. **Environmental Technology & Innovation**, v. 35, p. 103650, 2024. DOI

110.1016/j.eti.2024.103650. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186424001263>. Acesso em: 09 set. 2024.

NIERO, L. A. C. *et al.* Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um latossolo vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1271–1282, 2010. DOI 10.1590/S0100-06832010000400025. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461060017>. Acesso em: 27 out. 2024.

NOVAK, E. *et al.* Composição química do solo em diferentes condições ambientais. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 1063–1085, 2021. DOI 10.5902/1980509828995. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/dDLtG9SCvbf9wq4C3M9q8QC/>. Acesso em: 08 set. 2024.

OLIVEIRA, A.; GOMES-FILHO, E.; ENÉAS-FILHO, J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 11, 2010. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2010c/O%20problema.pdf>. Acesso em: 27 out. 2024.

OLIVEIRA, L. L. P. *et al.* Water retention in Cambisols under land uses in semiarid region of the Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 189, p. 104483, 2021. DOI 10.1016/j.jaridenv.2021.104483. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196321000495>. Acesso em: 29 out. 2024.

PAN-BRASIL. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil (2005)**. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/snpct/dcde/programa-de-acao-nacional-de-combate-a-desertificacao-e-mitigacao-dos-efeitos-da-seca-pan-brasil-2005>>. Acesso em: 08 set. 2024.

PEČAN, U. *et al.* Variability of in situ soil water retention curves under different tillage systems and growing seasons. **Soil and Tillage Research**, v. 233, p. 105779, 2023. DOI 10.1016/j.still.2023.105779. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198723001460>. Acesso em: 29 out. 2024.

PEDRON, F. DE A.; SAMUEL-ROSA, A.; DALMOLIN, R. S. D. Variação das características pedológicas e classificação taxonômica de argissolos derivados de rochas sedimentares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1–9, 2012. DOI 10.1590/S0100-06832012000100001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/3fF3FLYjvT5kptdQzdPH44k/>. Acesso em: 08 set. 2024.

PEDROTTI, A. *et al.* Causas e consequências do processo de salinização do solo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l.], v. 2, pág. 1308–1324,

2015. DOI: 10.5902/2236117016544. Disponível em:
<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/16544>. Acesso em: 27 out. 2024.

PEREIRA, C. N.; DE CASTRO, C. N. **Expansão da produção agrícola, novas tecnologias de produção, aumento de produtividade e o desnível tecnológico no meio rural.** [s.l.] Texto para Discussão, 2022. Disponível em:
<https://www.econstor.eu/handle/10419/265284>>. Acesso em: 06 set. 2024.

PIRES, L. F. *et al.* Micromorphological analysis to characterize structure modifications of soil samples submitted to wetting and drying cycles. **CATENA**, v. 72, n. 2, p. 297–304, 2008. DOI 10.1016/j.catena.2007.06.003. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816207001063>. Acesso em: 10 set. 2024.

PORTELA, J. C. **Restauração da estrutura do solo por sequências culturais e sua relação com a erosão hídrica.** 2009. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/15897/000693176.pdf;sequence=1>. Acesso em: 09 out. 2024.

RABOT, E. *et al.* Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, v. 314, p. 122–137, 2018. DOI 10.1016/j.geoderma.2017.11.009. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706117310273>. Acesso em: 23 set. 2024.

RAIJ, B. V. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**, v. 28, p. 85-112, 1969. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816207001063>. Acesso em: 10 out. 2024.

RAJ, R. *et al.* Soil physical environment and active carbon pool in rice–wheat system of South Asia: Impact of long-term conservation agriculture practices. **Environmental Technology & Innovation**, v. 29, p. 102966, 2023. DOI 10.1016/j.eti.2022.102966. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186422003893>. Acesso em: 19 set. 2024.

RASA, K. *et al.* A large one-time addition of organic soil amendments increased soil macroporosity but did not affect intra-aggregate porosity of a clay soil. **Soil and Tillage Research**, v. 242, p. 106139, 2024. DOI 10.1016/j.still.2024.106139. Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198724001405>. Acesso em: 16 set. 2024.

RAWLS, W. J. *et al.* Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geoderma**, Quantifying agricultural management effects on soil properties and processes. v. 116, n. 1, p. 61–76, 2003. DOI 10.1016/S0016-7061(03)00094-6. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706103000946>. Acesso em: 17 set. 2024.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. **Soil Science**, v. 78, n. 2, p. 154, 1954. Disponível em: https://journals.lww.com/soilsci/citation/1954/08000/diagnosis_and_improvement_of_saline_and_alkali.12.aspx. Acesso em: 10 jun. 2024.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. **Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais: 5º Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 1999.

ROUSSEVA, S.; TORRI, D.; PAGLIAI, M. Effect of rain on the macroporosity at the soil surface. **European Journal of Soil Science**, v. 53, n. 1, p. 83–93, 2002. DOI 10.1046/j.1365-2389.2002.00426.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1046/j.1365-2389.2002.00426.x>. Acesso em: 21 set. 2024.

SANTOS, G. G.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. DE. Chuvas intensas relacionadas à erosão hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 115–123, 2010. DOI 10.1590/S1415-43662010000200001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/HLxGt8xsqhhh5YnZrTbCgmh/>. Acesso em: 09 out. 2024.

SANTOS, H. G. DOS *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Brasília-DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, I.; FIGUEIREDO, T. DE; FONSECA, F. Influência da matéria orgânica na estabilidade de agregados do solo em áreas de matos após fogo controlado, NE Portugal. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 46, n. especial, 2023. DOI 10.19084/rca.33877. Disponível em: <https://revistas.rcaap.pt/rca/article/view/33877>. Acesso em: 09 set. 2024.

SEKARAN, U.; SAGAR, K. L.; KUMAR, S. Soil aggregates, aggregate-associated carbon and nitrogen, and water retention as influenced by short and long-term no-till systems. **Soil and Tillage Research**, v. 208, p. 104885, 2021. DOI 10.1016/j.still.2020.104885. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719872030667X>. Acesso em: 09 set. 2024.

SHAHABINEJAD, N. *et al.* The fractionation of soil aggregates associated with primary particles influencing wind erosion rates in arid to semiarid environments. **Geoderma**, v. 356, p. 113936, 2019. DOI 10.1016/j.still.2020.104885. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016719872030667X>. Acesso em: 09 set. 2024.

SILVA, J. L. DE A. *et al.* Evolução da salinidade em solos representativos do agropólo Mossoró-Assu cultivado com meloeiro com água de diferentes salinidades. **Agropecuária**

Científica No Semiárido, v. 7, n. 4, 2012. DOI 10.30969/acsa.v7i4.138. Disponível em: 10.30969/acsa.v7i4.138. Acesso em: 27 out. 2024.

SILVA, J. *et al.* Efeito de diferentes usos do solo na erosão hídrica em região semiárida. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 27, p. 272–283, 2019. DOI 10.13083/reveng.v27i3.867. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/867>. Acesso em: 06 set. 2024.

SILVA, P. L. F. DA *et al.* Efeito de diferentes sistemas de manejo na qualidade físico-hídrica de um vertissolo (vertisol) no semiárido brasileiro. **Ciencia del suelo**, v. 39, n. 2, p. 146–156, 2021. DOI 10.13083/reveng.v27i3.867. Disponível em: 10.13083/reveng.v27i3.867. Acesso em: 06 set. 2024.

SILVA, P. L. F. DA *et al.* Utilização de atributos físicos e químicos como indicadores de qualidade do solo. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 4, p. e3785–e3785, 2024. DOI 10.55905/revconv.17n.4-055. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/3785>. Acesso em: 09 set. 2024.

SIRJANI, E. *et al.* In-situ wind tunnel experiments to investigate soil erodibility, soil fractionation and wind-blown sediment of semi-arid and arid calcareous soils. **CATENA**, v. 241, p. 108011, 2024. DOI 10.1016/j.catena.2024.108011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S034181622400208X>. Acesso em: 06 set. 2024.

SKLENICKA, P. *et al.* Impact of sustainable land management practices on controlling water erosion events: The case of hillslopes in the Czech Republic. **Journal of Cleaner Production**, v. 337, p. 130416, 2022. DOI 10.1016/j.jclepro.2022.130416. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622000622>. Acesso em: 06 set. 2024.

SOINNE, H. *et al.* Effects of organic carbon and clay contents on structure-related properties of arable soils with high clay content. **European Journal of Soil Science**, v. 74, n. 5, p. e13424, 2023. DOI 10.1111/ejss.13424. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/ejss.13424>. Acesso em: 16 set. 2024.

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. DOI 10.2136/sssaj1999.6351039x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1999.6351039x>. Acesso em: 09 set. 2024.

SOUZA, A. P. DE *et al.* Construção e uso de indicadores para avaliação do manejo da ordenha: uma proposta metodológica participativa. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 911–917, 2014. DOI 10.1590/S0103-84782014000500024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782014000500024>. Acesso em: 27 out. 2024.

SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 991p.

SOUZA, E. S. DE *et al.* Physical, chemical, and mineralogical attributes of a representative group of soils from the eastern Amazon region in Brazil. **SOIL**, v. 4, n. 3, p. 195–212, 2018. DOI 10.5194/soil-4-195-2018. Disponível em: <https://soil.copernicus.org/articles/4/195/2018/>. Acesso em: 17 set. 2024.

SOUZA, F. G. *et al.* Comportamento dos teores de sais em perfil de solo com vegetação nativa e cultura irrigada. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [S. l.], v. 2, pág. 60–65, 2016. DOI: 10.18378/rvads.v1i2.4049. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/4049>. Acesso em: 27 out. 2024.

SOUZA JUNIOR, I. G. DE *et al.* Contribuição dos constituintes da fração argila de solos subtropicais à área superficial específica e à capacidade de troca catiônica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1355–1365, 2007. DOI 10.1590/S0100-06832007000600014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/3BK3PcrWfBgkZDpbwZNJvQv/?form=MG0AV3>. Acesso em: 13 set. 2024.

SPERA, S. T. *et al.* Atributos físicos do solo em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Bragantia**, v. 68, p. 1079–1093, 2009. DOI 10.1590/S0006-87052009000400029. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/nwHW7L5MnVD54CyrMfXGR5c/?form=MG0AV3>. Acesso em: 13 set. 2024.

SPOHR, R. B. *et al.* Modelagem do escoamento superficial a partir das características físicas de alguns solos do Uruguai. **Ciência Rural**, v. 39, p. 74–81, 2009. DOI 10.1590/S0103-84782009000100012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/nDqjQPFGmjfx5ZzVXyKtQq/>. Acesso em: 19 set. 2024.

CONSELHO DELIBERATIVO DA SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (CONDEL/SUDENE). Resolução CONDEL/SUDENE Nº 150, de 13 de dezembro de 2021. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 de dezembro de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/acesso-a-informacao/legislacao/hierarquia/resolucoes-conselho-deliberativo/resolucao-condel-sudene-no-150-de-13-de-dezembro-de-2021>. Acesso em: 09 set. 2024.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed Brasília, DF: Embrapa, 2017.

THEODORO, S. H. *et al.* Soil remineralization and recovery of degraded areas: An experience in the tropical region. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 107, p. 103014, 2021. DOI 10.1016/j.jsames.2020.103014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895981120305575>. Acesso em: 21 set. 2024.

THOMA, A. C. *et al.* Avanços no desenvolvimento de equipamento para avaliação da erosão hídrica em laboratório / Advances in the development of equipment for the evaluation of water erosion in the laboratory. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 61290–61300, 2020. DOI 10.34117/bjdv6n8-519. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/15477>. Acesso em: 06 set. 2024.

TOLEDO, J. A. C. Relações entre manejo do solo e erosão hídrica : uma revisão bibliográfica. **Revista Craibeiras de Agroecologia**, v. 8, n. 1, 2023. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/era/article/view/13255>. Acesso em: 06 set. 2024.

TORMENA, C. A.; SILVA, A. P. Incorporação da densidade no ajuste de dois modelos à curva de retenção de água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 305–314, 2002. DOI 10.1590/S0100-06832002000200003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/wV8vTBNYStdLzC9NRL3RQBy/?lang=pt>. Acesso em: 29 out. 2024.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, v. 44, p. 892-898, 1980. DOI 10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2136/sssaj1980.03615995004400050002x>. Acesso em: 04 set. 2024.

VAN GENUCHTEN M.T.; LEIJ, F.J.; YATES, S.R. **RETSC**, Code for Quantifying the Hydraulic Functions of Unsaturated Soils: Version 6.02. University of California, Riverside, 2009.

VÉDÈRE, C. *et al.* Opportunities and limits in imaging microorganisms and their activities in soil microhabitats. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 174, p. 108807, 2022. DOI 10.1016/j.soilbio.2022.108807. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038071722002644>. Acesso em: 10 set. 2024.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 743–755, 2009. DOI 10.1590/S0100-06832009000400001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/rSb9bsbsgJbQw4t9b9jrDBC/?format=html&stop=previous&lang=pt>. Acesso em: 09 set. 2024.

VIANA, J. L. *et al.* Water Dynamics and Hydraulic Functions in Sandy Soils: Limitations to Sugarcane Cultivation in Southern Brazil. **Sustainability**, v. 15, n. 9, p. 7456, 2023. DOI 10.3390/su15097456. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/9/7456>. Acesso em: 17 set. 2024.

VOLK, L. B. da S.; COGO, N. P. Relações entre tamanho de sedimentos erodidos, velocidade da enxurrada, rugosidade superficial criada pelo preparo e tamanho de agregados em solo submetido a diferentes manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1459-1471, 2009. DOI 10.1590/S0100-06832009000500036. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/S44G5Ww59vsKgWDP74Tt7mp/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 set. 2024.

WANG, H. *et al.* Full particle size distribution characteristics of land surface sediment and their effect on wind erosion resistance in arid and semiarid regions of Northwest China. **Geomorphology**, v. 372, p. 107458, 2021. DOI 10.1016/j.geomorph.2020.107458. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X20304311>. Acesso em: 06 set. 2024.

XIE, X. *et al.* Spatiotemporal variations of soil water retention and its influencing factors in the alpine-cold river source area, southern Gansu Plateau. **Journal of Hydrology**, v. 639, p. 131597, 2024. DOI 10.1016/j.jhydrol.2024.131597. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169424009934>. Acesso em: 09 set. 2024.

XU, G. *et al.* Differential responses of soil hydrolytic and oxidative enzyme activities to the natural forest conversion. **Science of The Total Environment**, v. 716, p. 136414, 2020. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.136414. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969719364101>. Acesso em: 23 set. 2024.

YANG, X. *et al.* Estimating nutrient transport associated with water and wind erosion across New South Wales, Australia. **Geoderma**, v. 430, p. 116345, 2023. DOI 10.1016/j.geoderma.2023.116345. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706123000228>. Acesso em: 06 set. 2024.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, n. 13, p. 1467–1476, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>. Acesso em: 26 maio. 2023.

YODER, R. E. Um método direto de análise agregada de solos e um estudo da natureza física das perdas por erosão. **Agronomy Journal**, v. 28, p. 337–351, 1936. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2134/agronj1936.00021962002800050001x>. Acesso em: 26 maio. 2023.

ANEXO A - FORMULÁRIO APLICADO PARA AVALIAÇÃO DOS INDICADORES DE QUALIDADE DO SOLO

Indicadores de qualidade de solos (IQS) para agroecossistemas Altieri e Nicholls (2002)			SOLOS		
CARACTERÍSTICAS					
Valor	1. PROFUNDIDADE		S1	S2	S3
01	Subsolo quase exposto ou exposto				
05	Fina superfície de solo < 10cm				
10	Solo superficial > 10cm				
	2. ESTRUTURA		S1	S2	S3
01	Solto, empoeirado sem visíveis agregados.				
05	Poucos agregados que quebram com pouca pressão.				
10	Agregados bem formados difíceis de ser quebrados.				
	3. COMPACTAÇÃO		S1	S2	S3
01	Solo compactado, o arame encurva-se facilmente.				
05	Fina camada compactada, algumas restrições à penetração do arame.				
10	Sem compactação, o arame penetra completamente no solo.				
	4. ESTADO DE RESÍDUOS		S1	S2	S3
01	Resíduos com lenta decomposição.				
05	Presença de resíduos em decomposição a pelo menos um ano.				
10	Resíduos em vários estágios de decomposição, muitos resíduos bem decompostos.				
	5. COR, ODOR E MATÉRIA ORGÂNICA		S1	S2	S3
01	Pálido, odor químico e ausência de húmus.				
05	Marrom-claro, sem odor, há alguma presença de húmus.				
10	Marrom-escuro, odor de matéria fresca e abundante presença de húmus				
	6. RETENÇÃO DE ÁGUA OU GRAU DE UMIDADE APÓS IRRIGAÇÃO OU CHUVA		S1	S2	S3
01	Solo seco, não retém água.				
05	Grau limitado de umidade por um período de tempo.				
10	Considerável grau de umidade por um curto período de tempo.				
	7. COBERTURA DO SOLO		S1	S2	S3
01	Solo exposto.				
05	Menos de 50% do solo coberto por resíduos ou cobertura viva.				
10	Mais de 50% do solo coberto por resíduos ou cobertura viva.				
	8. EROÇÃO		S1	S2	S3
01	Erosão severa, presença de pequenos valos.				
05	Evidentes, mas poucos sinais de erosão.				
10	Ausência de sinais visuais de erosão.				
	9. PRESENÇA DE INVERTEBRADOS		S1	S2	S3
01	Ausência de atividade de invertebrados.				
05	Poucas minhocas e artrópodes presentes.				
10	Presença abundante de organismos invertebrados.				
	10. ATIVIDADE MICROBIOLÓGICA		S1	S2	S3
01	Muito pouca efervescência após aplicação de água oxigenada.				
05	Efervescência leve a média.				
10	Efervescência abundante.				
	11. DESENVOLVIMENTO DE RAÍZES.		S1	S2	S3
01	Raízes pouco desenvolvidas, efermas, curtas.				
05	Crescimento limitado, observam-se algumas raízes finas.				
10	Raízes com bom crescimento, saudáveis e profundas, com presença abundante de raízes finas.				