



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

DEMICHAELMAX SALES DE MELO

**INDICADORES DE QUALIDADE EDÁFICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM BREJO DE ALTITUDE NA PARAÍBA**

**AREIA
2024**

DEMICHAELMAX SALES DE MELO

**INDICADORES DE QUALIDADE EDÁFICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE
USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM BREJO DE ALTITUDE NA PARAÍBA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Jacob Silva Souto

**AREIA
2024**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M528i Melo, Demichaelmax Sales de.

Indicadores de qualidade edáfica em diferentes sistemas de uso e ocupação do solo em brejo de altitude na Paraíba / Demichaelmax Sales de Melo. - Areia, 2024. 73 f. : il.

Orientação: Jacob Silva Souto.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCA.

1. Agronomia. 2. Arilsufatase. 3. Beta-glicosidase. 4. Degradação do solo. 5. Índice de qualidade do solo. I. Souto, Jacob Silva. II. Título.

UFPB/CCA-AREIA

CDU 631/635 (043.02)

DEMICHAELMAX SALES DE MELO

**INDICADORES DE QUALIDADE EDÁFICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE USO
E OCUPAÇÃO DO SOLO EM BREJO DE ALTITUDE NA PARAÍBA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Agronomia da Universidade Federal da Paraíba,
como requisito para obtenção do título de Doutor
em Agronomia.

Aprovado em: 27/03/2024

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **JACOB SILVA SOUTO**
Data: 15/04/2024 09:54:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jacob Silva Souto - UFCG/CSTR (Orientador)

Documento assinado digitalmente
 **WALTER ESFRAIN PEREIRA**
Data: 05/11/2024 19:42:22-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Walter Esfrain Pereira - UFPB/CCA

Documento assinado digitalmente
 **PATRICIA CARNEIRO SOUTO**
Data: 04/11/2024 09:32:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^{ta}. Dra. Patrícia Carneiro Souto - UFCG/CSTR

Documento assinado digitalmente
 **JUSSARA SILVA DANTAS**
Data: 05/11/2024 06:17:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^{ta}. Dra. Jussara Silva Dantas – UFCG/UAEF/CSTR

Documento assinado digitalmente
 **IRAE AMARAL GUERRINI**
Data: 07/11/2024 07:47:47-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini - UNESP/FCA

Aos meus pais, Maria do Amparo Sales de Santana Melo e Daniel Francisco de Melo Filho, pelos ensinamentos para minha formação pessoal e profissional.

A minha esposa, Camilla Gabriela Carneiro da Silva Melo, por ter sido uma ajudadora e com seu amor e dedicação deram-me forças para continuar.

Aos meus filhos Clarisse Mikhaela Carneiro de Melo e Dante Cadmiel Carneiro de Melo por serem o combustível de alegria para vencer os dias difíceis.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me dá saúde e força em busca da realização de sonhos.

À Universidade Federal da Paraíba-UEPB, por intermédio do Programa de Pós-graduação em Agronomia, na figura dos professores, coordenadores e funcionários, por oportunizar o aperfeiçoamento da minha formação, pelos ensinamentos, conhecimentos transmitidos e apoio técnico-científico.

Ao Curso de Pós-graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba-UEPB: professores, coordenadores e funcionários, pelos ensinamentos e apoio técnico aos pós-graduandos.

Ao professor Jacob, pelo profissionalismo dedicado a seus orientados, e, sobretudo, pela liberdade e confiança a mim depositadas na definição da pesquisa, condução e realização do trabalho de tese. Meu profundo respeito e sincera admiração.

Aos componentes da banca examinadora.

RESUMO GERAL

São conhecidos como “Brejos de Altitude” a vegetação submontana que recobre parte do interior do nordeste do Brasil. Cujos poucos remanescentes estão reduzidos a pequenos fragmentos, sufocados por atividades antrópicas, tornando dificultando da criação de ações de manejo e conservação destes remanescentes. No Nordeste brasileiro, a atividade humana que mais contribui para a degradação ambiental é o desmatamento, que é feito para substituição por áreas de pastagens e/ou agricultura. Considerando-se, pois, que a falta de manejo adequado do solo é uma das principais causas do processo de degradação. Dessa forma objetivou-se avaliar por meio de indicadores biológicos da qualidade do solo, os riscos de degradação em quatro áreas: Ambiente de produção agrícola (horta), pecuária (curral), solo descoberto (vegetação rala e esparsa) e vegetação nativa (Floresta Ombrófila), no município de Areia, brejo da Paraíba. Na pesquisa foram avaliados quatro tratamentos com quatro repetições divididas por trimestre, distribuídas no decorrer do ano. Para a coleta das amostras de solo para análise, foi determinada em cada ambiente uma área de 400 m², onde foram traçadas linhas a cada 5,0 metros em ambos os lados e na intercessão das linhas foram determinados os pontos de coleta. Para levantamento da macrofauna, armadilhas do tipo Provid, foram instaladas no local. Determinou-se a frequência (FR) dos grupos encontrados e os índices de diversidade de Shannon e Pielou. Amostras de solo foram retiradas em cada ambiente em profundidade de 0-20 cm, enviadas ao laboratório para análise dos atributos químicos e físicos e valores da atividade das enzimas arilsulfatase e β-glicosidase, matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, armazenamento de nutrientes, suprimento de nutrientes índice de qualidade do solo de fertilidade, Índice de qualidade do solo biológico e índice de qualidade do solo químico. Os dados coletados dessas variáveis foram submetidos a ANOVA a $p < 0,05$ e teste de Tukey e análises de componentes principais. Como resultado a diversidade biológica da macrofauna edáfica, totalizou em 366 indivíduos. O grupo *Hymenoptera* foi predominante em todas as áreas avaliadas. Ao se aplicar o índice de Shannon, verificou-se que os maiores índices foram observados no ambiente de vegetação nativa. A maior frequência relativa foi encontrada para a classe de insetos *Hymenoptera* no ambiente de solo descoberto e pela análise das coordenadas principais, sinalizam que algumas ordens para apresentam preferência por ambientes distintos. Concluindo que nesse estudo foi observado que os organismos da macrofauna apresentam seletividade quanto a permanência dos ambientes, atuando como bioindicador ambiental. Quanto à análise da atividade enzimática foi observado que a matéria orgânica é fator determinante para atividade enzimática e para os índices de qualidade dos solos, os ambientes de pecuária e agricultura apresentaram valores mais elevados para esses, o ambiente de vegetação nativa tem indicado estabilidade e de acordo com a análise dos componentes principais os solos descobertos obtiveram respostas pouco representativa aos atributos índices de qualidade dos solos de maneira a se aproximar ao centroide. Como resultado para análise físico-química dos solos foi encontrado altos teores dos macronutrientes nos ambientes de agricultura e pecuária fator que pode estar relacionado com a adubação e incrementação de matéria orgânica. Concluindo que as ações antrópicas não foram prejudiciais aos ambientes estudados.

Palavras-chave: arilsulfatase; β-glicosidase; degradação do solo; índice de qualidade do solo.

GENERAL ABSTRACT

They are known as “Brejos de Altitude”, a submontane vegetation that covers part of the interior of northeastern Brazil. The few remnants of which are reduced to small fragments, suffocated by human activities, making it difficult to create management and conservation actions for these remnants. In the Brazilian Northeast, a human activity that most contributes to environmental manipulation is deforestation, which is done to replace pasture and/or agricultural areas. Considering, therefore, that the lack of adequate soil management is one of the main causes of the management process, the objective was to evaluate, through biological indicators of soil quality, the management risks in four areas: Agricultural production environment (vegetable garden), livestock (corral), bare soil (thin and sparse vegetation) and native vegetation (Ombrófila Forest), in the municipality of Areia, Paraíba State. In the research, four treatments were evaluated with four replications divided per quarter, distributed throughout the year. To collect soil samples for analysis, an area of 400 m² was determined in each environment, where lines were drawn every 5.0 meters on both sides and at the intersection of the lines, collection points were determined. To survey the macrofauna, Pitfall-type traps were installed at the site. Determine the frequency (FR) of the groups found and the Shannon and Pielou diversity indices. Soil samples were taken from each environment at a depth of 0-20 cm, sent to the laboratory for analysis of chemical and physical attributes and activity values of the enzymes arylsulfatase and β -glucosidase, organic matter, nutrient cycling, nutrient storage, supply of nutrients fertility soil quality index, biological soil quality index and chemical soil quality index. Data collected from these variables were subjected to ANOVA at $p < 0.05$ and Tukey test and principal component analyses. As a result, the biological diversity of soil macrofauna totaled 366 individuals. The Hymenoptera group was predominant in all areas evaluated. By applying the Shannon index, we found that the highest indices were collected in the native region environment. The highest relative frequency was found for the insect class Hymenoptera in the bare soil environment and by analysis of the main joints, signaling that some offers a preference for different environments. In conclusion, in this study it was observed that macrofauna organisms show selectivity regarding the permanence of environments, acting as an environmental bioindicator. Regarding the analysis of enzymatic activity, it was observed that organic matter is a determining factor for enzymatic activity and soil quality indices, livestock and agricultural environments presented higher values for these, the native vegetation environment has indicated stability and According to the analysis of the main components of the uncovered soils, they obtained responses that were not very representative of the soil quality index attributes in order to get closer to the centroid. As a result of the physical-chemical analysis of the soils, high levels of macronutrients were found in agricultural environments and livestock factors, which may be related to fertilization and increase in organic matter. Concluding that human actions did not extend to the trained environments.

Keywords: arylsulfatase; β -glucosidase; soil manipulation; soil quality index.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Mapa dos ambientes, A-Área total, B Agricultura, C- Solo descoberto, D- Mata, E- Pecuária. Sítio Macacos, em Areia (PB). 29
- Figura 2** - Croqui utilizado para determinação dos pontos de coleta do solo; Fonte: Autor (2023). 29
- Figura 3** - Armadilhas do tipo PROVID instaladas nas áreas de coletas no Sítio Macacos, Areia-PB; Fonte: Autor (2023). 31
- Figura 4** - Representantes das ordens de insetos da macrofauna nas áreas de coletas no Sítio Macacos, Areia-PB; A = Hymenoptera; B= Araneae; C= Coleoptera; D= Orthoptera, E= Hemiptera, F= Zygentoma, G= Isopoda, H= Miriapoda.; Fonte: Autor (2023).. 33
- Figura 5** - Análise de coordenadas principais para a distribuição das ordens de indivíduos da macrofauna nos ambientes de vegetação nativa, agricultura e pecuária e solo descoberto. Areia-PB 35
-
- Figura 1**- Mapa dos ambientes de vegetação nativa, agricultura e pecuária e solo descoberto. Areia-PB 49
- Figura 2** - Croqui utilizado para determinação dos pontos de coleta do solo 50
- Figura 3** - Análise de componentes principais para atividade enzimática e índices de qualidade dos solos nos ambientes de vegetação nativa, agricultura e pecuária e solo descoberto. Areia-PB 54
- Figura 1**- Mapa dos ambientes de vegetação nativa, agricultura e pecuária e solo descoberto. Areia-PB 65
- Figura 2** – Croqui utilizado para determinação dos pontos de coleta do solo 66
- Figura 3** – Análise de componentes principais para atributos físicos e químicos dos solos nos ambientes de vegetação nativa, agricultura, pecuária e solo descoberto. 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrições das diferentes áreas de estudo com suas respectivas coordenadas geográficas e altitudes no Sítio Macacos, Areia-PB.	30
Tabela 2 - Densidade de indivíduos dos grupos faunísticos do solo nos ambientes estudados. Sítio Macacos, Areia-PB.	33
Tabela 3 - Índice de Shannon (H') e Equabilidade (e) nos ambientes estudados. Sítio Macacos, Areia-PB.	34
Tabela 4 - Frequência relativa das classes de indivíduos da macrofauna dos solos nos ambientes estudados. Sítio Macacos, Areia-PB.	34
Tabela 1 - Descrições das diferentes áreas de estudo com suas respectivas coordenadas geográficas e altitudes no Sítio Macacos, Areia-PB.	50
Tabela 2 - Atividade das enzimas Arilsulfatase, β -glicosidase e matéria orgânica dos solos nos ambientes de solo descoberto, agricultura e pecuária. Sítio Macacos, Areia-PB.	52
Tabela 3 - Ciclagem de nutrientes, armazenamento de nutrientes e suprimento de nutrientes dos solos nos ambientes de solo descoberto, agricultura e pecuária. Sítio Macacos, Areia-PB.	52
Tabela 4 - Índice de qualidade do solo de fertilidade, Índice de qualidade do solo biológico e Índice de qualidade do solo químico nos ambientes de solo descoberto, agricultura e pecuária. Sítio Macacos, Areia-PB.	53
Tabela 1 - Descrições das diferentes áreas de estudo com suas respectivas coordenadas geográficas e altitudes no Sítio Macacos, Areia-PB.	66
Tabela 2 - Granulometria dos solos nos ambientes de solo descoberto, agricultura e pecuária. Sítio Macacos, Areia-PB.	67
Tabela 3 - Macronutrientes dos solos dos ambientes de solo descoberto, agricultura e pecuária. Sítio Macacos, Areia-PB.	68
Tabela 4 - Atributos químicos dos solos dos ambientes de solo descoberto, agricultura e pecuária. Sítio Macacos, Areia-PB.	68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
	2.1 A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA PARAÍBA	15
	2.2 RELAÇÃO DA AGROPECUÁRIA E A DEGRADAÇÃO	16
	2.3 USO DE BIOINDICADORES NA AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO	18
	REFERÊNCIAS	20
	CAPÍTULO I - DIVERSIDADE DA MACROFAUNA EM DIFERENTES AMBIENTES EM BREJO DE ALTITUDE NA PARAÍBA	23
	RESUMO	24
	ABSTRACT	25
3	INTRODUÇÃO	26
4	MATERIAIS E MÉTODOS	27
	4.1 LOCAL DO ESTUDO	27
	4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS	29
	4.3 AVALIAÇÕES	30
	4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICA	31
5	RESULTADOS	31
	5.1 DENSIDADE, FREQUÊNCIA RELATIVA, ÍNDICE DE DIVERSIDADE E EQUABILIDADE	31
6	DISCUSSÃO	35
7	CONCLUSÕES	38
	REFERÊNCIAS	39
	CAPÍTULO II - ATIVIDADE ENZIMÁTICA E INDICES DE QUALIDADE DOS SOLOS EM DIFERENTES AMBIENTES EM BREJO DE ALTITUDE NA PARAIBA	42
	RESUMO	43

ABSTRACT	44
8 INTRODUÇÃO	45
9 MATERIAIS E MÉTODOS	47
9.1 LOCAL DO ESTUDO	47
9.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS	49
9.3 AVALIAÇÕES	49
9.4 ANÁLISES ESTATÍSTICA.....	50
10 RESULTADOS	51
10.1 ATIVIDADE ENZIMÁTICA E ÍNDICES DE QUALIDADE DOS SOLOS ...	51
11 DISCUSSÃO	54
12 CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS	57
CAPÍTULO III – ATRIBUTOS QUÍMICOS-FÍSICOS DOS SOLOS EM DIFERNTES AMBIENTES EM BREJO DE ALTITUDE NA PARAIBA	58
RESUMO.....	59
ABSTRACT	60
13 INTRODUÇÃO	61
14 MATERIAIS E MÉTODOS	63
14.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS	65
14.2 AVALIAÇÕES	66
14.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	66
15 RESULTADOS	66
15.1 ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DOS SOLOS	66
16 DISCUSSÃO	69
17 CONCLUSÕES	71
REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Estado da Paraíba é subdividido em pelo menos três regiões climáticas conhecidas como, fachada atlântica tropical úmida, superfície do planalto da Borborema, onde estão os Cariris, de clima semiárido e o Sertão situado ainda, na faixa semiárida (ALVES, 2013).

No planalto da Borborema são encontrados os “Brejos de Altitude”, uma vegetação submontana que recobre parte do interior do Nordeste do Brasil, os quais estão inseridos no domínio fitogeográfico da “Caatinga”. Os remanescentes de “Brejos de Altitude”, estão reduzidos a pequenos fragmentos, sufocados por atividades antrópicas (MEDEIROS; CESTARO, 2020).

O município de Areia – PB, situado no Brejo da Paraíba, tem como uso e ocupação do solo fragmentos compostos na sua maior parte com vegetação nativa e atividades agropecuárias, sendo essas juntas, as duas classes de ocupação que correspondem ao maior percentual de cobertura do solo do município (NAILSON et al., 2019)

Para detecção de alterações que ocorrem no solo devido ao uso e manejo, são comumente utilizados indicadores químicos e físicos. No entanto, bioindicadores são mais sensíveis que indicadores químicos e físicos para detectar, de forma precoce, alterações que ocorrem no solo em virtude do seu uso e manejo (MENDES et al., 2015).

Nesse contexto a utilização de bioindicadores é uma alternativa viável para verificação de distúrbios ambientais, tendo em vista que, segundo Souza et al. (2024), os bioindicadores são organismos vivos, utilizados para avaliação da qualidade ambiental que expressem respostas singulares, ou que indiquem mudanças em alguma influência ambiental, geralmente de forma qualitativa.

A fauna edáfica pode ser usada com bioindicador pois desempenha um papel importante no funcionamento do ecossistema, ocupando diversos níveis tróficos dentro da cadeia alimentar e afeta a produção primária de maneira direta e indireta (RIBEIRO et al., 2023). Altera, por exemplo, as populações e atividades bioquímicas e microbiológicas responsáveis pelos processos de mineralização e humificação e, como consequência, exerce influência sobre o ciclo da matéria orgânica e a disponibilidade dos nutrientes assimiláveis pelas plantas.

As diversas atividades antrópicas são capazes de alterar e reduzir a distribuição, diversidade e abundância destes organismos no solo, sendo necessário estudar essas populações, que são usadas como parâmetro de bioindicação, levando em consideração a qualidade do solo. Assim, o acompanhamento das populações da macrofauna ocorre por meio de estudos baseados na frequência e diversidade dos indivíduos, comparadas com as populações

encontradas em áreas de vegetação nativa, expressando transtornos acontecidos no solo (BERUDE et al., 2015).

Mudanças nas práticas de manejo do solo, como preparo do solo ou uso de fertilizantes, podem afetar a atividade enzimática e, conseqüentemente, a saúde do solo. No entanto, solos manejados com práticas conservacionistas, habitualmente apresenta valores mais elevados de atividade enzimática (KRELING et al., 2022).

A ação antrópica pode afetar diretamente o ambiente, dessa forma a atividade enzimática tem sido apresentada como ferramenta de avaliação da qualidade do solo. Entre as enzimas mais comuns encontradas no solo, estão a arilsulfatase e a β -glicosidase que desempenham papel importante na função metabólica do solo e são sensíveis aos fatores ambientais sendo essas usadas como indicadores da qualidade do solo (CAVALCANTE et al., 2020).

O monitoramento da atividade enzimática pode fornecer informações valiosas sobre a saúde do solo e ajudar a indicar práticas sustentáveis de manejo do solo. A partir dessa perspectiva, é considerável monitorar a atividade dessas enzimas dos solos como indicadores de atividades de uso e ocupação que levem a degradação dos solos.

Como não existe método de extinção da degradação, é feito o monitoramento dos ambientes para indicar a necessidade de intervenção. Para isso existem métodos físico-químicos que realizam essa tarefa. Contudo, requerem custos elevados de implantação, operação e manutenção. Para minimização dos custos, uma opção viável é a adoção de uma metodologia complementar utilizando indicadores biológicos.

As propriedades biológicas e bioquímicas do solo, como a atividade enzimática, diversidade e a biomassa microbiana, são indicadores sensíveis que podem ser utilizados no monitoramento de alterações ambientais decorrentes do uso agrícola, sendo ferramentas para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo utilizadas (MATSUOKA; MENDES; LOUREIRO, 2003).

Quanto à concentração de elementos, como nitrogênio, fósforo e potássio no solo, é decisivo para que as plantas os absorvam e os utilizem para seu crescimento e desenvolvimento (LIMA FILHO et al., 2023). A disponibilidade de nutrientes no solo pode ser influenciada por fatores como pH, teor de matéria orgânica e atividade microbiana. Práticas adequadas de manejo do solo podem ajudar a manter os níveis ideais de nutrientes e garantir a sustentabilidade do ambiente.

Devido à carência de estudos capazes de esclarecer os efeitos dos impactos do uso do solo e nos recursos naturais no ambiente, a presente pesquisa objetivou-se avaliar por meio de

indicadores biológicos da qualidade do solo, os riscos de degradação em quatro áreas: ambiente agricultura (horta), pecuária (curral), solo descoberto (vegetação rala e esparsa) e vegetação nativa (Floresta Ombrófila), no município de Areia, Brejo da Paraíba.

Esta tese encontra-se estruturada em três capítulos, o primeiro capítulo é intitulado **“Diversidade da macrofauna em diferentes ambientes em Brejo de Altitude na Paraíba”**.

O segundo capítulo é intitulado **“Atividade enzimática e índices de qualidade dos solos em diferentes ambientes em Brejo de Altitude na Paraíba”**.

O terceiro capítulo é intitulado **“Atributos físico químicos de solos em diferentes ambientes em Brejo de Altitude na Paraíba”**.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA PARAÍBA

O Estado da Paraíba está localizado na região Nordeste do Brasil, com predominância do bioma Caatinga possuindo aproximadamente 90% de cobertura vegetal, sendo o Estado com maior cobertura territorial, em termos relativos. Diferentes tipos de clima, solo e relevo estão representados em diferentes paisagens semiáridas, como vales úmidos, planaltos sedimentares e vastas superfícies montanhosas, atestando a presença de uma flora tão diversificada (COELHO JUNIOR et al., 2020).

As regiões do Agreste e Cariri da Paraíba são exemplos do processo de desenvolvimento das ações antrópicas. Como é o caso do município de Areia, localizado no Agreste Paraibano, microrregião do Brejo, que possui geologia com predomínio morfoestrutural Planalto da Borborema. O relevo possui morros de topos planos, vales, várzeas, áreas dissecadas à barlavento. Com altitude variando de 164 a 635 m e predomínio biogeográfico da Mata Atlântica (MARQUES, et al., 2014). Os tipos de solos predominantes são Argissolos, Latossolos, Luvisolos, Planossolos e Neossolos (EMBRAPA, 1972).

O processo de degradação do solo em áreas de agricultura tem ocorrido de forma contínua no Agreste da Paraíba, ocasionando a redução na fertilidade natural do solo em consonância com a retirada predatória da cobertura vegetal. É um fato preocupante, já que a mesorregião possui forte tradição na produção de alimentos (SILVA; NASCIMENTO, 2020).

O município de Areia é um exemplo negativo de condições agrícolas e ambientais (MARQUES et al., 2015). Em toda a extensão do município há presença de fragmentos vegetais antropicamente perturbados. Inicialmente, toda a extensão do município era coberta por vegetação, hoje restam apenas 65,8 Km² (28,9 %) de vegetação nativa (Ecossistemas de Mata Atlântica e Caatinga) distribuídos em fragmentos, o que demonstra uma perda biológica vegetal de aproximadamente 70% e a estreita relação entre uso e ocupação territorial e desmatamento (MARQUES et al., 2014).

A origem dos problemas de âmbito ambiental são o desmatamento e as queimadas (NASCIMENTO et al., 2019), as quais são utilizadas como técnicas rudimentares para limpeza e consecutivamente manejo dos solos por agricultores (TAVARES, 2018). O crescimento populacional tem como consequência a exploração dos recursos naturais, que quando não feito de forma racional, ocasiona danos, por exemplo à degradação do ambiente. As ações antrópicas têm intensificado a nível global as emissões de carbono, alongando os períodos de seca.

De acordo com o art. 3º, inciso II da Lei da Política Nacional do Meio Ambiente, define degradação ambiental como alteração adversa das características do meio ambiente (BRASIL, 1981). É preciso dar enfoque ao Nordeste brasileiro que possui grande parte de seu território ocupado pelo bioma Caatinga e de acordo com Campos et al. (2016), a degradação ambiental pode ser potencializada pelas características dos ambientes. Desse modo a condição de aridez do bioma caatinga, torna-o frágil e susceptível a degradação ambiental, principalmente pelo fato do solo da região apresentar baixa capacidade de regeneração.

As relações dos processos pedogenéticos específicos e a susceptibilidade dos solos à degradação no semiárido nordestino ainda não são esclarecidas de forma satisfatória e o predomínio da agropecuária na maioria das áreas fortemente degradadas confirma a forte pressão antrópica sobre o meio ambiente (MACEDO et al., 2021).

As principais atividades que ocasionam perdas significativas de biodiversidade no bioma Caatinga é a criação de pastagens e o extrativismo vegetal, para lenha, carvão, entre outras formas de exploração da flora nativa. No entanto, nos últimos anos houve uma alteração no uso dos solos na Paraíba com uma ampliação das áreas florestais e redução das áreas de pastagem (COELHO JUNIOR et al., 2020).

Dentre as soluções viáveis para a manutenção dos solos do Brejo é a adoção de práticas conservacionistas como o restabelecimento da vegetação nas áreas de preservação permanentes (APPs), nos topos de morros, encostas íngremes no entorno de nascentes e margens de córregos, rotação de culturas para descanso e plantio em curvas de nível para evitar erosão (MARQUES et al., 2015).

2.2 RELAÇÃO DA AGROPECUÁRIA E A DEGRADAÇÃO

A agropecuária intensiva pode causar a degradação dos ecossistemas, contaminação de solos e água, elevação do custo de captação da água para abastecimento humano e aumento das emissões de gases do efeito estufa por meio do desmatamento (CAMPOS et al., 2015).

Desde o período da colonização, a exploração dos recursos naturais no Brasil está presente em todos os locais, da capital ao interior. De acordo com Sabiha et al., (2016), há uma preocupação com a degradação dos recursos naturais na agricultura. Esta, é uma das principais atividades geradoras de emprego, principal fonte de renda para a agricultura familiar e tem sido à base da economia brasileira. Entretanto, devido à crescente demanda por alimento, com a ampliação das áreas para aproveitamento do uso da terra com finalidade de produção agrícola, o desmatamento está cada vez mais associado (ASSUNÇÃO et al., 2016).

Existem pelo menos dois tipos de agricultura, a intensiva que busca a alta produtividade, ou seja, maior produção em menos espaço, e a agricultura extensiva caracterizada por técnicas rudimentares onde mais terra é sinônimo de maior produção. Essa descrição corresponde ao padrão produtivista de agricultura, ainda largamente predominante no Brasil (KAGEYAMA, 2001). A exemplo de agricultura extensiva, tem-se a monocultura que, como consequência pode reduzir a diversidade, degradar as características físicas, químicas e biológicas do solo e aumentar o risco de ataque de pragas e doenças tornando necessário, assim, a maior aplicação de fertilizantes e defensivos agropecuários (SIPILÄINEN; HUHTAL, 2013), que afetam o solo e toda a macrofauna edáfica.

Segundo Pinto; Rossato; Coronel (2019), o Brasil está no topo da lista de países da América Latina com maior índice Degradação Ambiental Agropecuário. Desse modo ações devem ser tomadas para converter essa situação, devendo haver maior atuação do poder público, bem como uma maior conscientização dos produtores rurais.

A pecuária é um dos ramos de destaque que eleva a economia sendo fonte de renda para criadores e um mercado essencial para a economia do país. No ano de 2023 a pecuária alcançou um Valor Bruto da Produção (VBP) de R\$ 1,29 trilhões de reais, com aumento de 2,3 % em relação ao ano anterior, mantendo setor pecuário, para a bovinocultura de corte em situação positiva (CNA, 2023).

O Brasil é um dos maiores produtores de gado do mundo e tem como característica de criação um sistema extensivo de produção, que adota baixos níveis de tecnologia, fator que diminui os custos de produção. No entanto atualmente na Amazônia, o desmatamento é causado na maioria dos casos pela pecuária extensiva, tendo a pastagem como principal fonte de alimento para os animais, que vem se degradando ao longo do tempo (LANGE et al., 2019).

As áreas de pastagens vêm se desenvolvendo de forma insustentável, tornado assim importantes ações de práticas de manejo conservacionista que permitam uma maior longevidade dos pastos. Segundo Arantes et al. (2018), estima-se que grande parte das áreas de pastejo esteja degradada devido ao manejo de pastagens e produção de gado além da capacidade de carga.

Esses efeitos são tanto maiores quanto maior for a produção. Essa, eleva a erosão do solo e a produção de sedimentos, carregando nutrientes, defensivos agrícolas e outros poluentes para o lençol freático e corpos de água (FOLEY et al., 2005), contribuindo com a degradação das pastagens e compactação do solo, redução da vegetação e menor taxa de infiltração da água e modificações no ciclo dos nutrientes (SILVA et al., 2014). A produção de leite intensiva, por exemplo, implica a produção de dejetos e urina em grandes quantidades, bem como emissões

de CO₂ (DI; CAMERON, 2002), onde, quanto maior o número de animais na área, maior impacto ambiental.

O solo, recurso natural considerado fundamental para os sistemas produtivos, sendo assim necessário que seu uso seja de acordo com a capacidade de suporte (VASCONCELOS et al., 2011) para que haja a manutenção e conservação do ambiente.

2.3 USO DE BIOINDICADORES NA AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO

Indicadores biológicos de qualidade dos solos, são grupos de espécies ou comunidades de organismos cuja presença, diversidade e distribuição indicam impactos ambientais no ecossistema. A sua utilização permite uma avaliação abrangente dos impactos ecológicos causados por múltiplas fontes de poluição provocada pelo homem (PRESTES et al., 2019).

Segundo Swift et al. (2010), esses organismos também apresentam papel importante na regulação da composição da atmosfera e nas mudanças climáticas, uma vez que a interação entre os processos de decomposição de resíduos vegetais, ciclagem de nutrientes e bioturbação é responsável pelo equilíbrio entre o sequestro de carbono no solo e a emissão de gases de efeito estufa.

Dentre os benefícios desempenhados pelos organismos edáficos, destacam-se a formação do solo, decomposição de resíduos vegetais, redistribuição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (ABGRALL et al., 2019), bem como, estímulo à atividade da microbiota do solo.

As propriedades biológicas e bioquímicas do solo, tais como atividade enzimática, taxa de respiração, diversidade e biomassa microbiana são indicadores sensíveis que podem ser usados para monitorar mudanças ambientais causadas pelo uso agrícola. Além disso, são ferramentas para orientar o planejamento e avaliação de práticas de manejo (EKENLER; TABATABAI, 2003).

Os organismos da macrofauna edáfica são componentes muito importantes da biota do solo, atuando como engenheiros do ecossistema, fragmentadores de serrapilheira, transformadores de serrapilheira ou predadores. São afetados pelo manejo do solo e pelo declínio da quantidade de matéria orgânica, resultante do cultivo intensivo, pela introdução de novas espécies vegetais e pelos diferentes tipos de manejo dos solos (SOUZA et al., 2015).

A atividade enzimática do solo, é o resultado do somatório da atividade enzimáticas dos organismos vivos e das enzimas abióticas que se acumulam no solo, protegidas da ação de proteases, através da adsorção em partícula de argila e na matéria orgânica do solo (MENDES; SOUSA; F JUNIOR, 2015).

Segundo Mendes et al. (2021), a Embrapa tem desenvolvido tecnologia com atividade enzimática, que indica as enzimas arilsulfatase e β -glicosidase como relacionadas direta ou indiretamente ao potencial produtivo e a sustentabilidade do uso do solo. A atividade enzimática funciona como indicadores, fornecendo informações importantes no que diz respeito às funções relacionadas à ciclagem de nutrientes e à produção de plantas.

Estas enzimas desempenham um papel fundamental no catabolismo biológico dos componentes orgânicos e minerais do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007), através da transformação transformam a matéria orgânica, promovendo a decomposição dos resíduos, acelerando a circulação dos elementos químicos e contribuindo para a sustentabilidade dos ecossistemas (LIMA, 2021).

De origem microbiana ou vegetal (GANESHAMURTHY & NIELSEN, 1990), a arilsulfatase, é uma enzima atuante no ciclo do enxofre no solo, que hidrolisa ligações do tipo éster de sulfato liberando íons sulfato (TABATABAI & BREMNER, 1970). Quanto mais profundo e menor teor de matéria orgânica, menor a atividade da arilsulfatase no solo (BALIGAR et al., 1988).

A β -glicosidase, por sua vez, é uma enzima atuante no ciclo do carbono (MENDES et al., 2019). Realiza a hidrólise da celulose até seu limite e é encontrada em animais, plantas e microrganismos, está envolvida na biodegradação de vários resíduos nos ecossistemas. Seu produto final é a glicose, que representa uma fonte essencial de carbono para os microrganismos (MARTINS et al., 2024).

As fosfatases são responsáveis por promover a quebra de éster e anidridos de fosfato através da hidrólise. Essas enzimas atuam sobre moléculas orgânicas que contêm fosfato como parte de sua estrutura, resultando na liberação de álcool e ácido fosfórico. (BALOTA et al., 2013). Do ponto de vista ecológico a atividade da enzima arilsulfatase é essencial, uma vez que é responsável pela transformação das formas orgânicas de enxofre em formas inorgânicas que possibilita a absorção pelas plantas, possibilitando o seu desenvolvimento fisiológico (NOGUEIRA; MELO, 2003).

Estas enzimas estão entre as que respondem mais rapidamente às mudanças na fertilidade do solo, o que as habilita como indicadores da qualidade do solo. Portanto as enzimas apresentam grande importância para os solos, pois grande parte das transformações bioquímicas que ocorrem neste ambiente é dependente ou relacionada à presença e atividade de enzimas (STIEVEN et al., 2020).

REFERÊNCIAS

- ABGRALL, C. et al. As respostas da fauna do solo a plantas exóticas invasoras são determinadas por grupos tróficos e estrutura de habitat: uma meta-análise global. **Revista Oikos**, v. 128, n. 10, p. 1390-1401, 2019.
- ALVES, J. J. A. Caatinga do cariri paraibano. **Geonomos**, v. 17, n. 1, p. 19–25, 2013.
- ARANTES, A. E. et al. Livestock intensification potential in Brazil based on agricultural census and satellite data analysis. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 53, n. 9, p. 1053–1060, 2018.
- ARAÚJO, A. S. F. de; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66- 75, 2007
- ASSUNÇÃO, J. et al. **Agricultural productivity and deforestation in Brazil**. Climate policy initiative, p. unpublished manuscript, 2016.
- BALIGAR, V.C. et al. Enzyme activities in hill land soils of the Appalachian region. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 19, p. 367-384, 1988.
- BALOTA, E. L et al. Enzimas e o seu papel na qualidade do solo. **Tópicos Ciência do Solo**, v. 8, p. 221-278, 2013
- BERUDE, M. et al. A mesofauna do solo e sua importância como bioindicadora. **Enciclopedia Biosfera**, v. 11, n. 22, 2015.
- BRASIL. **LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981**. Brasil, 31 ago. 1981. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm>. Acesso em: 18 mar. 2024
- CAMPOS, S. A. C. et al. Degradação ambiental agropecuária no bioma Caatinga. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 46, n. 3, p. 155–170, 2016.
- CAMPOS, S. A. C. et al. Degradação ambiental agropecuária no bioma Caatinga. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 46, n. 3, p. 155-170, 2015.
- CAVALCANTE, W. F. et al. Enzymatic activity of caatinga biome with and without anthropic action. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 142–150, 2020.
- CNA. **VBP da agropecuária em 2023 é projetado 0,8% acima de 2022**. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/publicacoes/vbp-da-agropecuaria-em-2023-e-projetado-0-8-acima-de-2022>>. Acesso em: 6 nov. 2023.
- COELHO JUNIOR, L. M. et al. Evaluation of land use and forest resources in the semiarid of Paraíba state. **Ciencia Florestal**, v. 30, n. 1, p. 72–88, 2020.
- DI, H. J.; CAMERON, K. C. Calculating nitrogen leaching losses and critical nitrogen application rates in dairy pasture systems using a semi-empirical model. **New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington**, v. 43, n. 1, p. 139-147, 2000
- do solo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, MG, v. 23, n. 3, p. 66- 75, 2007.
- EKENLER, M.; TABATABAI, M. A. Effects of liming and tillage systems on microbial biomass and glycosidases in soils. **Biology and Fertility of Soils**, v. 39, n. 1, p. 51–61, 2003.
- EMBRAPA. **Mapa exploratório-reconhecimento de solos do Município de Areia –PB**. Recife: EMBRAPA SOLOS, 1972. Disponível em: <<http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=pb>>. Acesso em: 22 fev 2024.
- FOLEY, J. A et al. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

- GANESHAMURTHY, A.N. & NIELSEN, N.E. Arylsulphatase and the biochemical mineralization of soil organic sulphur. **Soil Biol. Biochem.**, v. 22, p.1163-1165, 1990.
- KAGEYAMA, Â.; LEONE, E. T. Trajetórias da modernização e emprego agrícola no Brasil, 1985-1996. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 40, n. 1, p. 10–23, 2001.
- KRELING, B. E. et al. Avaliação da atividade enzimática como uma promissora ferramenta indicadora da qualidade do solo. **Open Science Research**. BRASÍLIA: Editora Científica Digital, 2022. p. 525–540.
- LANGE, A. et al. Degradação do solo e pecuária extensiva no norte de Mato Grosso. **Nativa (Sinop)**, v. 7, n. 6, p. 642, 2019.
- LIMA FILHO, O. F. de et al. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. 2. ed. rev. e atual. ed. Brasília: Embrapa Agropecuária Oeste, 2023. v. 1
- LIMA, A. C. A. Efeito da secagem das amostras de solo nos níveis de atividade das enzimas β -Glicosidase e Arilsulfatase. 2021. Monografia (Graduação em Agronomia). **Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília – UnB**, Brasília, 2021.
- 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.
- MARQUES, A. L. et al. Refúgios úmidos do semiárido: um estudo sobre o brejo de altitude de Areia-PB. In: **Revista Geotemas**. v.4, n.2. p.17-31, 2014.
- MARQUES, A. L. et al. Solos-relevo e áreas agrícolas: correlações com a degradação de solos nos brejos de altitude da Paraíba. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 6, n. 2, 2015.
- MARTINS, E. M. et al. Contagem microbiana, atividade de β -glicosidase e isolamento de fungos termofílicos/termotolerantes em solos com cultivo convencional e agroecológico. **Revista de Geografia-PPGEO-UFJF**, v. 14, n. 1, 2024.
- MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 3, p. 425–433, 2003.
- MEDEIROS, J. F.; CESTARO, L. A. As diferentes abordagens utilizadas para definir brejos de altitude, áreas de exceção do nordeste brasileiro. **Sociedade e Território**, v. 31, n. 2, p. 97–119, 2020.
- MENDES, C. et al. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **EMBRAPA**. 1. Ed. Brasília: CADERNEOS DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2015. v. 32. P. 191–209. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/138889/1/Bioindicadores-de-qualidade.pdf>>. Acesso em: 8 out. 2023.
- MENDES, I. DE C. et al. Tecnologia BioAS Uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo. Em: EMBRAPA. 21. ed. Planaltina: **Embrapa Cerrados**, 2021. v. 369. p.1–50.
- NAILSON, J. et al. Uso e ocupação do solo de Areia-PB em cenário de exploração do Brejo de Altitude. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 14, n. 4, p. 305–310, 2019.
- NASCIMENTO, J. S. et al. Monitoramento ambiental Impactos ambientais movidos pelo desmatamento sucessivo da Amazônia legal. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 33157–33167, 2019.

- NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p. 655–663, ago. 2003.
- PINTO, N. G. M.; ROSSATO, V. P.; CORONEL, D. A. Degradação Ambiental Agropecuária na América Latina: uma abordagem de índices nos países da região. **Desenvolvimento em Questão**, v. 17, n. 46, p. 218–235, 2019.
- PRESTES, R. M.; VINCENCI, K. L. Bioindicadores como avaliação de impacto ambiental. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 2, n. 4, p. 1473–1493, 2019.
- RIBEIRO, D. S. D. et al. Qualidade do solo sob diferentes condições de uso no semiárido paraibano. **Revista Valore**, p. 25–36, 2023.
- SABIHA, N. E. et al. Measuring environmental sustainability in agriculture: A composite environmental impact index approach. **Journal of environmental management**, v. 166, p. 84–93, 2016.
- SILVA, F. D. et al. Soil carbon indices as affected by 10 years of integrated crop–livestock production with different pasture grazing intensities in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 190, p. 60–69, 2014.
- SILVA, P. L. F.; NASCIMENTO, R. S. Balanço hídrico climatológico e índice de aridez para municípios da microrregião de Guarabira, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 14, n. 2, p. 1–15, 2020.
- SIPILÄINEN, T.; HUHTAL, A. Opportunity costs of providing crop diversity in organic and conventional farming: would targeted environmental policies make economic sense? **European Review of Agricultural Economics**, v. 40, n. 3, p. 441–462, 2013.
- SOUZA, M. H. et al. Macrofauna do solo. **Enciclopédia biosfera**, v. 11, n. 22, 2015.
- SOUZA, S. et al. Análise ambiental integrada da qualidade do ar, variáveis meteorológicas e comunidade de aves em área urbana subtropical. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 13, n. 1, p. 1–37, 2024.
- STIEVEN, A. C. et al. Atributos do solo em sistemas diferenciados de uso e manejo do solo em Mato Grosso, MT, Brasil. **COLLOQUIUM AGRARIAE**, v. 16, n. 2, p. 1–15, 8 maio 2020.
- SWIFT, T. L.; HANNON, S. J. Critical thresholds associated with habitat loss: a review of the concepts, evidence, and applications. **Biological reviews**, v. 85, n. 1, p. 35–53, 2010.
- TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Arylsulfatase activity of soils. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.**, v. 34, p. 225–229, 1970.
- TAVARES, V. C. A percepção ambiental dos agricultores rurais do município de queimadas/ PB sobre a degradação do bioma Caatinga. **Acta Geográfica**, v. 12, n. 28, p. 74–89, 2018.

CAPÍTULO I

DIVERSIDADE DA MACROFAUNA EM DIFERENTES AMBIENTES EM BREJO DE ALTITUDE NA PARAÍBA

RESUMO

A fauna do solo tem sido utilizada como um bioindicador para avaliar a degradação do solo, pois esses organismos são altamente sensíveis a mudanças na cobertura vegetal e práticas culturais. Dessa forma, torna-se considerável a utilização dos indivíduos da macrofauna edáfica para detecção de atividades antrópicas que levem a possíveis processos de degradação dos solos. Sendo assim o presente trabalho tem como objetivo avaliar por meio de indicadores biológicos da qualidade do solo, os riscos de degradação em quatro áreas: Ambiente de produção agrícola (horta), pecuária (curral), solo descoberto (vegetação rala e esparsa) e vegetação nativa (Floresta Ombrófila), no município de Areia, brejo da Paraíba. Na pesquisa foram avaliados quatro tratamentos com quatro repetições divididas por trimestre, distribuídas no decorrer do ano. Para a coleta das amostras de solo para análise, foi determinada em cada ambiente uma área de 400 m², onde foram traçadas linhas a cada 5,0 metros em ambos os lados e na interseção das linhas foram determinados os pontos de coleta. Os indivíduos foram capturados por armadilhas de queda, do tipo Provid. Determinou-se a frequência (FR) dos grupos encontrados, os índices de diversidade de Shannon e Pielou e análise de coordenadas principais (PCoA). Para fins de análise de dados foi utilizado o delineamento inteiramente ao acaso. O software utilizado para as análises estatísticas foi o R 4.3.0. Como resultado, a diversidade biológica da macrofauna edáfica, totalizou em 366 indivíduos. O grupo *Hymenoptera* foi predominante em todas as áreas avaliadas, tendo maior representatividade no ambiente de agricultura. Ao se aplicar o índice de Shannon, verificou-se que os maiores índices foram observados no solo do ambiente de vegetação nativa. A maior frequência relativa foi encontrada para a classe de insetos **Hymenoptera** no ambiente de solo descoberto e pela análise das coordenadas principais, sinalizam que algumas ordens apresentam preferência por ambientes distintos. Concluindo que nesse estudo foi observado que os organismos da macrofauna apresentam seletividade quanto a permanência dos ambientes, atuando como bioindicador ambiental.

Palavras-chave: armadilhas de queda; bioindicador; degradação; saúde do solo.

ABSTRACT

Soil fauna has been used as a bioindicator to assess soil degradation, as these organisms are highly sensitive to changes in vegetation cover and cultural practices. Therefore, the use of individuals from soil macrofauna to detect human activities that lead to possible soil degradation processes becomes considerable. Therefore, the present work aims to evaluate, through biological indicators of soil quality, the risks of degradation in four areas: Agricultural production environment (garden), livestock (corral), bare soil (thin and sparse vegetation) and vegetation native (Ombrofila Forest), in the municipality of Areia, Paraíba State. In the research, four treatments were evaluated with four replications divided per quarter, distributed throughout the year. To collect soil samples for analysis, an area of 400 m² was determined in each environment, where lines were drawn every 5.0 meters on both sides and at the intersection of the lines, collection points were determined. The individuals were captured using Provid-type pitfall traps. The frequency (FR) of the groups found, the Shannon and Pielou diversity indices and principal coordinate analysis (PCoA) were determined. For data analysis purposes, a completely randomized design was used. The software used for statistical analyzes was R 4.3.0. As a result, the biological diversity of soil macrofauna totaled 366 individuals. The *Hymenoptera* group was predominant in all areas evaluated, having greater representation in the agricultural environment. When applying the Shannon index, it was found that the highest indices were observed in the soil of the native vegetation environment. The highest relative frequency was found for the class of insects *Hymenoptera* in the bare soil environment and the analysis of the main coordinates indicates that some orders have a preference for different environments. In conclusion, in this study it was observed that macrofauna organisms show selectivity regarding the presence of environments, acting as an environmental bioindicator.

Keywords: fall traps; bioindicator; degradation; soil health.

3 INTRODUÇÃO

Os solos são ecossistemas complexos compostos por diversos elementos, formados a partir de matéria mineral e orgânica contendo matéria viva, modificados em parte pela atividade humana e em parte pela fauna do solo, que é responsável pela decomposição e ciclagem de nutrientes (SANTOS et al., 2021).

Muitos processos biológicos importantes para sustentar a vida na Terra ocorrem no solo. Esses processos incluem formação de agregados, decomposição de matéria orgânica, formação de húmus, ciclagem de nutrientes, controle biológico de pragas e doenças, produção de metabólitos secundários, decomposição de resíduos tóxicos, purificação de água e produção de alimentos (SOUZA et al., 2017).

Todos esses processos são mediados pelos organismos do solo. A fauna edáfica inclui invertebrados que vivem no solo permanentemente ou em algum momento de seu ciclo de vida. Em relação aos critérios morfológicos de tamanho, a fauna do solo é classificada em microfauna, a qual inclui os organismos inferiores, menores que 0,2 mm; em mesofauna, organismos de 0,2 mm a 2,0 mm; e macrofauna diâmetro corporal superior a 2,0 mm (MELO et al., 2018).

A macrofauna do solo consiste em grupos de organismos com diversas características morfológicas e comportamentais, incluindo minhocas, térmitas, miriápodes, formigas, entre outros, atuando de diversas formas nos ciclos biogeoquímicos através da fragmentação e incorporação de fragmentos vegetais ao solo, contribuindo para a disponibilidade de recursos para outros organismos da cadeia trófica e mediação da transferência de solutos e particulados em profundidade no perfil do solo, aspecto fundamental da ciclagem de nutrientes (GONZÁLEZ et al., 2001).

Cada classe de organismo da macrofauna apresenta um comportamento a depender das condições de cada ambiente, ou seja, a depender do sistema de manejo de uso do solo uma classe de organismo se desenvolve mais que outra, seguindo o seu nicho ecológico (LEONARDO et al., 2023). Dessa forma é possível monitorar os diferentes sistemas de uso dos solos em relação a degradação observando a diversidade desses organismos.

A fauna do solo tem sido utilizada como um bioindicador para avaliar a degradação do solo, pois esses organismos são altamente receptivos a mudanças na cobertura vegetal e práticas culturais. A sensibilidade da fauna do solo varia de acordo com as características do habitat, tipo de solo, clima e quantidade de matéria orgânica presente (GONGALSKY, 2021).

Dessa forma, torna-se considerável a utilização dos indivíduos da macrofauna edáfica para detecção de atividades antrópicas que levem a possíveis processos de degradação dos solos. Partindo desse pressuposto, o presente trabalho objetivou avaliar a participação da macrofauna do solo nos ambientes de vegetação nativa, pecuária, agricultura e solo descoberto.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCAL DO ESTUDO

O estudo foi conduzido no Sítio Macacos no município de Areia – PB (6°58'50.3"S 35°43'42.1"W), com altitude média de 574 m. Segundo a classificação de Köppen-Geiger o clima dessa região é do tipo “As” (quente e úmido), com precipitação média anual de 1200 mm, temperatura e umidade relativa média do ar de 23,4°C e 80%, respectivamente (ALVARES et al., 2013).

Foram selecionadas quatro áreas para as avaliações, que corresponde aos ambientes: Agricultura, onde está implantada uma horta por volta de dez anos, que foi desenvolvida pelo projeto PAIS (Produção Agroecológica Integrada e Sustentável) e possui solo classificado como Latossolo; Pecuária, possui a instalação de curral há mais de uma década com predominância de Neossolo Flúvico, Solo descoberto, foi um local separado e limpo para construção, porém abandonado em torno de cinco anos e possui uma vegetação rala e esparsa com predominância de Latossolos; E vegetação nativa (Floresta Ombrófila) tendo o solo classificado como Argissolo. Os ambientes estão representados de acordo com a figura 1.

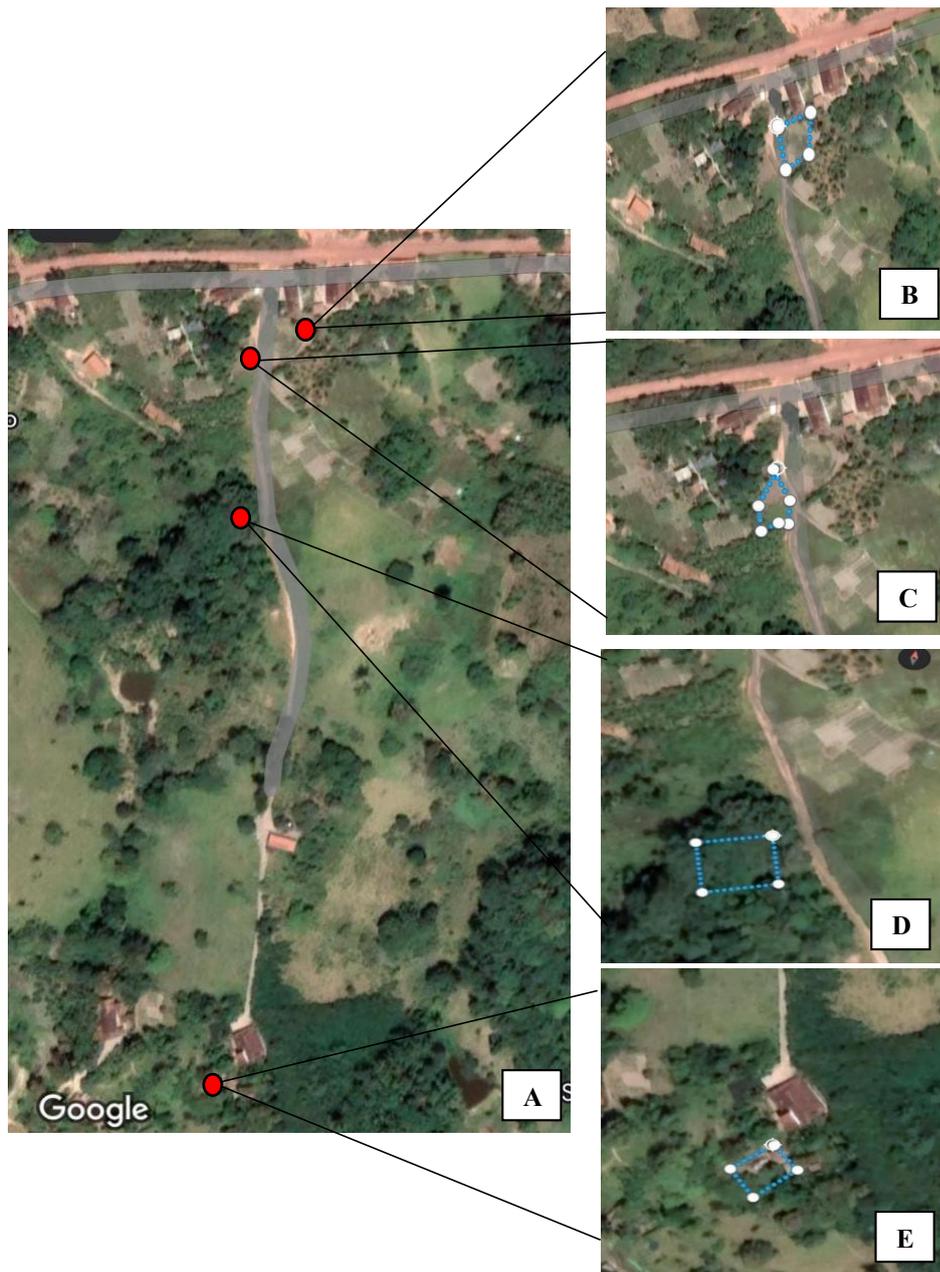


Figura 1 - Mapa dos ambientes, A-Área total, B Agricultura, C- Solo descoberto, D- Mata, E- Pecuária. Sítio Macacos, em Areia (PB).

Observa-se na tabela 1 informações referentes aos ambientes estudados e suas respectivas coordenadas geográficas e altitudes.

Tabela 1 - Descrições das diferentes áreas de estudo com suas respectivas coordenadas geográficas e altitudes no Sítio Macacos, Areia-PB

Ambientes	Coordenadas geográficas	Altitude (m)
Vegetação Nativa (VN)	06° 58' 54.1"S e 35°43'41.8"O	560
Ambiente de Agricultura (AA)	06° 58' 50.3" S e 35°43' 42.0"O	576
Solo Descoberto (SD)	06° 58' 50.9"S e 35°43'42.4"O	573
Ambiente de Pecuária (AP)	06° 59' 02.9"S e 35°43'38.8"O	524

4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Para fins de análises de dados foi adotado delineamento inteiramente ao acaso com quatro tratamentos: ambiente de agricultura (AA), ambiente de pecuária (AP), vegetação nativa (VN), solo descoberto (SD) e quatro repetições divididas durante o ano por trimestre. Para determinação das áreas de instalação das armadilhas, foi separada em cada ambiente uma área de 400 m². Dentro dessa área foram traçadas linhas a cada 5,0 metros em ambos os lados e, na intercessão das linhas, foram determinados os pontos de inserção das armadilhas como exemplificado no croqui da figura 2. Após a determinação e identificação dos pontos foram sorteados quatro pontos de instalação das armadilhas para compor a amostra.

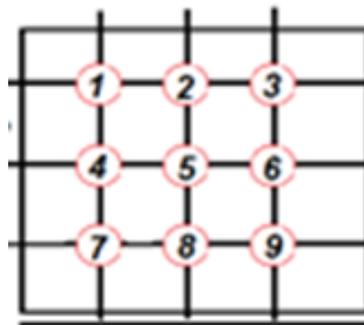


Figura 1 - Croqui utilizado para determinação dos pontos de coleta do solo; Fonte: Autor (2023).

4.3 AVALIAÇÕES

A macrofauna edáfica foi coletada em armadilhas do tipo Provid (ANTONIOLLI et al., 2006), confeccionadas com garrafa tipo pet de 2,0 L, que continham solução de detergente neutro (15%) e quatro aberturas com dimensões 2,0 cm x 2,0 cm que foram dispostas ao nível do solo (Figura 3). Em cada período de avaliação, as armadilhas permaneceram no campo por 96 horas.

Após o tempo de permanência no campo, as armadilhas, eram recolhidas e levadas para Laboratório de ecologia da Universidade Federal da Paraíba, *campus* Areia (UFPB/CCA), onde o conteúdo era transferido para uma peneira de 2,0 mm e lavado em água corrente para retirada de partículas de solo e outros materiais. Os organismos retirados na peneira foram colocados em recipientes plásticos, contendo solução de álcool etílico a 70% e fechados. A identificação dos organismos, de acordo com suas ordens, e a contagem foram realizadas a olho nu, utilizando chaves dicotômicas (TRIPLEHORN et al, 2015).



Figura 2 - Armadilhas do tipo PROVID instaladas nas áreas de coletas no Sitio Macacos, Areia-PB; Fonte: Autor (2023).

Com base na classificação da macrofauna, foi computada a frequência relativa total (FR) de cada táxon registrado durante o período estudado. A avaliação do comportamento ecológico da fauna foi obtida pelos seguintes critérios: número de indivíduos por armadilha (abundância);

riqueza (S), que foi representada nesta pesquisa pela quantidade de grupo taxonômico de ordem ou família.

Para avaliar o estado de equilíbrio dos ecossistemas, foram calculados os índices de Shannon-Wiener e Pielou e os índices de diversidade de Shannon-Wiener (H) e de equabilidade de Pielou (e) (COLINVAUX et al., 1996; ODUM, 1993). O índice de Shannon-Wiener tem como base a avaliação da abundância proporcional, uniformidade (equitabilidade) e riqueza dos táxons identificados na amostra. Já o índice de Pielou, avalia a homogeneidade dos grupos com diversidade máxima variando de 0 a 1, onde 1 representa uma condição de equiparidade entre a abundância das espécies identificadas para uma determinada amostra (SILVA et al., 2016). Obtidos pelas equações 1 e 2, respectivamente:

$$H = - \sum_{i=1}^S p_i \times \log p_i, Eq. (1)$$

Onde, H corresponde ao índice de diversidade de Shannon-Wiener e p_i é a proporção da espécie, em relação ao número total de espécies encontradas nas avaliações realizadas. Este índice assume valores que podem variar de 0 a 5; o declínio de seus valores é o resultado de maior dominância de grupos em detrimento de outros (Begon et al., 1996).

$$e = \frac{H}{\log S}, Eq. (2)$$

Em que, e corresponde ao índice de Pielou, H é o índice de diversidade de Shannon e S é a riqueza de grupo. Esse índice varia de 0 a 1, onde 1 representa a máxima diversidade, onde todas as espécies são igualmente abundantes.

4.4 ANÁLISES ESTATÍSTICA

Os resultados foram avaliados pela Análise de Coordenadas Principais (ACoP). O software utilizado para as análises estatísticas foi o R 4.3.0 (R CORE TEAM, 2023)

5 RESULTADOS

5.1 DENSIDADE, FREQUÊNCIA RELATIVA, ÍNDICE DE DIVERSIDADE E EQUABILIDADE

A diversidade biológica da macrofauna edáfica, totalizou em 366 indivíduos nos ambientes de solo descoberto, vegetação nativa, agricultura e pecuária (Tabela 2). Foram identificados oito grupos taxonômicos ilustrados na figura 4. O grupo *Hymenoptera* foi predominante em

todas as áreas avaliadas, tendo maior representatividade no ambiente de agricultura, seguido de solo descoberto, vegetação nativa e pecuária.

Tabela 2 - Densidade de indivíduos dos grupos faunísticos do solo nos ambientes estudados. Sítio Macacos, Areia-PB.

Grupo Faunístico	SD	VN	AA	AP	Total/grupo
	N de indivíduos				
Hymenoptera	111	50	136	19	316
Arenae	1	0	2	2	5
Coleoptera	1	4	4	1	10
Orthoptera	0	3	1	0	4
Hemiptera	4	1	2	1	8
Zygentoma	3	7	4	0	14
Isopoda	1	3	0	0	4
Miriapoda	1	0	4	0	5
Total/ambiente	122	68	153	23	366

Fonte: Autor (2023). SD= Solo descoberto; VN= Vegetação Nativa; AA= Ambiente de agricultura; AP= Ambiente de pecuária.

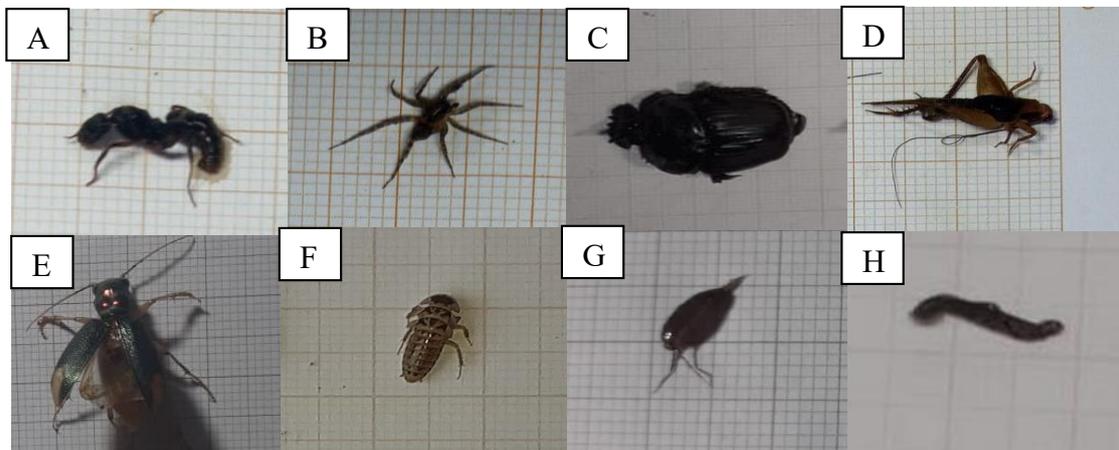


Figura 4 - Representantes das ordens de insetos da macrofauna nas áreas de coletas no Sítio Macacos, Areia-PB; A= Hymenoptera; B= Arenae; C= Coleoptera; D= Orthoptera, E= Hemiptera, F= Zygentoma, G= Isopoda, H= Miriapoda.; Fonte: Autor (2023).

Ao se aplicar o índice de Shannon, verificou-se que os maiores valores foram observados no solo do ambiente de vegetação nativa, com destaque para as ordens Hymenoptera, Hemiptera e Zygentoma. Seguido dos ambientes de agricultura, com as ordens Hymenoptera e Zygentoma. Pecuária e solo descoberto, respectivamente. Os índices de equabilidade de Pielou seguiram o mesmo padrão apresentado pelo índice de Shannon entre os tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3 - Índice de Shannon (H') e Equabilidade (e) nos ambientes estudados. Sítio Macacos, Areia-PB.

Grupo Faunístico	SD		VN		AA		AP	
	H	E	H	e	H	e	H	e
Hymenoptera	0.04	0.02	0.10	0.05	0.10	0.05	0.06	0.03
Arenae	0.02	0.01	0.03	0.02	--	--	0.03	0.02
Coleoptera	0.02	0.01	0.07	0.03	0.07	0.03	0.03	0.02
Orthoptera	--	--	0.03	0.02	0.06	0.03	0.04	0.02
Hemiptera	0.05	0.02	0.08	0.04	0.03	0.01	0.03	0.02
Zygentoma	0.04	0.02	0.08	0.04	0.10	0.05	0.07	0.03
Isopoda	0.02	0.01	0.05	0.03	0.06	0.03	0.02	0.01
Miriapoda	0.02	0.01	--	--	--	--	0.03	0.02
Σ	0.194	0.09	0.462	0.22	0.419	0.20	0.319	0.15

Fonte: Autor (2023). SD = Solo descoberto; VN = Vegetação Nativa; AA = Ambiente de agricultura; AP = Ambiente de pecuária. (H') = Índice de Shannon; (e) = Índice de Pielou; (Σ) = Somatório do índice de Shannon.

A maior frequência relativa foi encontrada para a ordem de insetos Hymenoptera no ambiente de solo descoberto, seguido do ambiente de agricultura e pecuária. A ordem Arenae apresentou maior frequência nos solos do ambiente pecuária. As ordens: Coleóptera, Ortóptera, Zygentoma e Miriapoda foram mais frequentes no ambiente de vegetação nativa. Já a ordem dos Hemípteras obteve maior frequência na agricultura a ordem Isopoda no solo descoberto (TABELA 4).

Tabela 4 - Frequência relativa das ordens de indivíduos da macrofauna dos solos nos ambientes estudados. Sítio Macacos, Areia-PB.

Grupo Faunístico	SD	VN	AA	AP
	Frequência relativa (%)			
Hymenoptera	86,84	7,41	79,57	76,09
Arenae	2,63	3,70	4,30	13,04
Coleoptera	-	55,56	3,23	6,52
Orthoptera	1,32	24,07	8,60	2,17
Hemiptera	1,32	-	3,23	-
Zygentoma	1,32	1,85	-	-
Isopoda	2,63	1,85	-	2,17
Miriapoda	3,95	5,56	1,08	-

Fonte: Autor (2023). SD = Solo descoberto; VN = Vegetação Nativa; AA = Ambiente de agricultura; AP = Ambiente de pecuária.

O primeiro eixo das coordenadas principais explica aproximadamente 80% da variação dos dados e tendo apenas o ambiente de pecuária com score positivo a esse eixo. Quanto o segundo eixo explica 18% da variação, onde apenas o ambiente de vegetação nativa apresenta escore negativo a esse eixo. De acordo com essa análise a ordem Hemíptera está diretamente

relacionada ao ambiente de solo descoberto. Já as ordens Hymenoptera e Miriapoda apresentam relação positiva ao ambiente de agricultura. Também é percebido que as ordens Isopoda e Orthoptera apresentam suas coordenadas mais próximas ao ambiente de vegetação nativa (Figura 5).

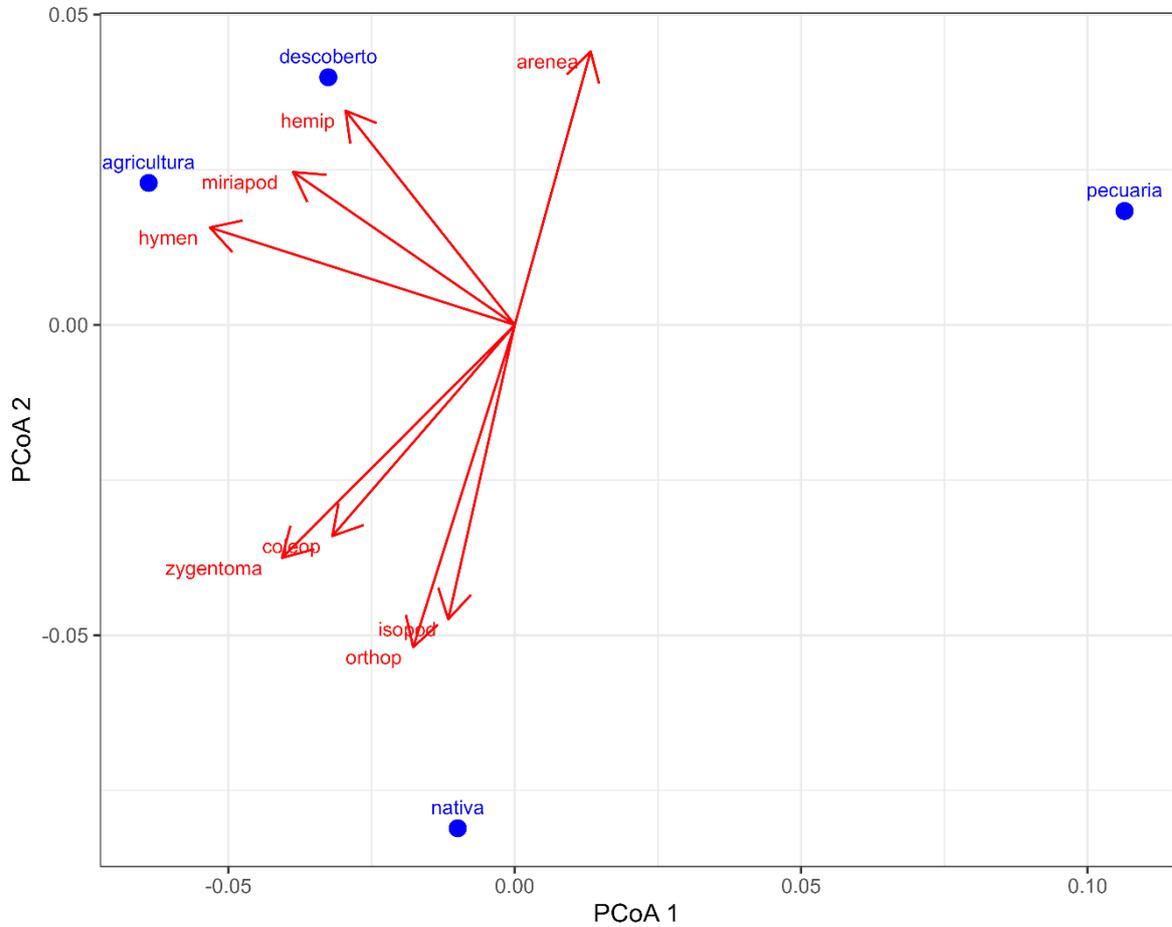


Figura 5. Análise de coordenadas principais para a distribuição das ordens de indivíduos da macrofauna nos ambientes de vegetação nativa, agricultura e pecuária e solo descoberto. Areia-PB.

6 DISCUSSÃO

Neste estudo foi observado predominância do grupo *Hymenoptera* em todas as áreas avaliadas. De acordo com Silva et al. (2014), a maior abundância do grupo *Hymenoptera* é atribuída a sua capacidade em ocupar diversos locais, mesmo quando estes oferecem poucos recursos. Além disso, Santos et al. (2018) destacam o hábito alimentar diversificado como vantagem adicional.

Outra justificativa para a alta abundância de *Hymenoptera* é que esta tem como representante a família Formicidae, com indivíduos dominantes na maioria dos ecossistemas, ocupando diversos nichos (LEAL, 2004; WINK et al., 2005; ALVES; ALMEIDA, 2020). Embora os himenópteros contribuam para o bom funcionamento do solo, por meio da decomposição de material vegetal e participação ativa no equilíbrio dos ecossistemas agrícolas, a predominância de Formicidae nas áreas pode ser um indicativo de danos antrópicos (SANTOS et al., 2017). Essa informação foi comprovada nesse estudo pela maior frequência relativa encontrada em ambiente de solo descoberto (SD) seguido do ambiente de agricultura (AA) e pecuária (AP), diferindo do ambiente de vegetação natural (VN), o qual não apresenta interferência da ação humana, permitindo um ambiente ecologicamente equilibrado.

A maior frequência relativa de Coleópteros em ambiente de vegetação nativa (VN) encontrados nesse estudo, pode estar diretamente relacionada com o teor de umidade do solo (DURAN-BAUTISTA et al., 2023). Esse resultado pode ser atribuído às condições mais favoráveis da área, como a maior disponibilidade de recursos, abundância de micro-habitats (DERENGOSKI et al., 2022). Além disso, características intrínsecas do solo como textura e matéria orgânica disponível (KOVÁCS et al., 2006) também contribuem para a relação observada.

A ordem *Coleoptera* compreende o maior grupo da classe Insecta, cujos representantes estão estritamente relacionados ao solo (BEGHA et al., 2018). Considerado um grupo de importância do ponto de vista ecológico, os coleópteros podem atuar como pragas, inimigos naturais, polinizadores e decompositores de matéria orgânica (COSTA et al., 2014; SALUSTINO et al., 2019), sendo responsáveis por disponibilizar os nutrientes que melhoram a qualidade do solo e o desempenho das plantas (SALUSTINO et al., 2024).

Nesse estudo, foram observados altos valores de frequência relativa, índices de Shannon e Pielou para orthopteros em área de vegetação nativa (VN), destacando a qualidade do ambiente estudado, tendo em vista que a queda na população de ortópteros são indicativas de perturbações como mudanças no uso do solo, inundações, incêndios e ação antrópica no geral

(REBRINA et al., 2022). Desta forma, gafanhotos e grilos (*Insecta: Orthoptera*) são frequentemente usados como indicadores de perturbação antrópica em ecossistemas, sendo altamente suscetíveis a mudanças ambientais (REBRINA et al., 2022) e com capacidade de resposta rápida diante das alterações ambientais (WERSEBECKMANN et al., 2023).

No ambiente de pecuária (AP), foi observada alta frequência relativa para a ordem *Aranae*, isso pode estar associado ao acúmulo de resíduos orgânicos, proporcionando espaços que servem de esconderijos para esses seres que são predadores para ali viverem, como também a oferta de alimento. Esses resultados podem ser justificados pela heterogeneidade da vegetação (BUCHER et al., 2016) ou ainda por novas combinações de variáveis ambientais (ou seja, novos micro-habitats) permitindo novas relações características específicas-ambiente que podem levar a mudanças de comportamento do grupo taxonômico (PINTO et al., 2021).

Nesse estudo, maiores valores de Shannon e Pielou foram amostrados em solo de vegetação nativa (VN), o que a classifica como uma área de maior integridade estrutural da comunidade. De modo geral, áreas de vegetação nativa são ricas em matéria orgânica, o que influencia positivamente na complexidade biológica em vários nichos ecológicos. O acúmulo de serrapilheira de qualidade favorece a manutenção do microclima e a umidade, bem como a diversidade de micro-habitat sendo favoráveis a comunidade edáfica (PEREIRA et al., 2020).

Já os menores valores de Shannon-Wiener e Pielou são esperados em áreas que sofrem maior ação antrópica, como é o caso dos ambientes de solo descoberto (SD), pecuária (AP) e agricultura (AA) avaliados nesse estudo. De acordo com Vasconcelos et al. (2020), baixos valores dos índices de diversidade indicam uma menor uniformidade entre os grupos taxonômicos, o que representa menor integridade estrutural da comunidade. Isso pode ser corroborado pelos resultados de frequência relativa, onde nos ambientes citados há uma discrepância nas espécies de *Hymenoptera* em comparação com as outras ordens encontradas.

A macrofauna do solo é influenciada pelas condições ambientais, ou seja, a depender do sistema de manejo de uso do solo pode favorecer o desenvolvimento de uma classe de indivíduos em relação a outra (BARCIKA et al., 2023). A partir dessa informação é possível observar que os resultados da análise das coordenadas principais, sinalizam que algumas ordens para apresentam preferência por ambientes distintos, como *Hemiptera* está para solo descoberto, *Hymenoptera* para agricultura e *Orthoptera* para vegetação nativa. Fato que pode ser corroborado por Leonardo et al. (2023), quando relata que cada ordem da macrofauna se aloja em determinado ambiente pela disponibilidade de insumos que favorecem o desenvolvimento do seu nicho ecológico.

Assim, fica evidente o impacto dos diferentes ambientes na macrofauna edáfica do solo, ressaltando a importância de estudos para identificar a interferência antrópica que levem a possíveis processos de degradação dos solos.

7 CONCLUSÕES

- 1 A maior frequência relativa da ordem de insetos *Hymenoptera* indica que os tratamentos de ambiente de agricultura e solo descoberto possuem estado de estresse ambiental;
- 2 A área com vegetação nativa apresenta maior diversidade dos indivíduos da macrofauna sugerindo melhor estado de conservação ecológica;
- 3 Os organismos da macrofauna apresentam seletividade quanto a permanência nos ambientes, atuando como bioindicador ambiental.

REFERÊNCIAS

- AIRES, J. T. S. et al. Diversidade de macrofauna edáfica em diferentes ambientes de cultivo no agreste da Paraíba, Brasil. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 4, n. 3, p. 55–60, 2017.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ALVES, M. C. S.; DE ALMEIDA, D. H. Identificação da meso e macrofauna edáfica na Reserva Estância São Luiz e uma área sob o cultivo de palma forrageira (*Nopalea cochenillifera*). **Diversitas Journal**, v. 5, n. 3, p. 1671-1690, 2020.
- ANTONIOLLI, Z. I. et al. Método alternativo para estudar a fauna do solo. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 4, p. 407–417, 2006.
- BARCIK, L. Z. et al. Diversidade da entomofauna em quatro composições florestais. **Revista Foco**, v. 16, n. 6, p. e2287, 2023.
- BEGHA, B. P.; ANTUNES, C. H.; MILLÉO, J. Coleopteroфаuna (Insecta: Coleoptera) collected in traps with essential oil of citronella or its components in the city of Ponta Grossa, Paraná, Brazil. **Entomo Brasilis**, v. 11, n. 2, p. 78-84, 2018.
- BUCHER R. et al. Biodiversity in low-intensity pastures, straw meadows, and fallows of a fen area: a multitrophic comparison. **Agric Ecosyst Environ**, v. 219, p. 90–196, 2016. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.agee.2015.12.019>
- COLINVAUX, P. A. et al. A Long Pollen Record from Lowland Amazonia: Forest and Cooling in Glacial Times. **Science**, v. 274, n. 5284, p. 85–88, 1996.
- CORDEIRO, M. A. S.; CORÁ, J. E.; NAHAS, E. Atributos bioquímicos e químicos do solo rizosférico e não rizosférico de culturas em rotação no sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1794–1803, 2012.
- DERENGOSKI, J. A. et al. Macrofauna epiedáfica em áreas submetidas a tecnologias de restauração florestal no sul do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 1394-1417, 2022.
- DURAN-BAUTISTA, E. H. et al. Agroforestry systems generate changes in soil macrofauna and soil physical quality relationship in the northwestern Colombian Amazon. **Agroforestry Systems**, v. 97, n. 5, p. 927-938, 2023.
- FRAGOSO, D. B. D. et al. Avaliação da macrofauna edáfica em plintossolo pétrico com cultivos agrícolas usando armadilhas de queda. **Agri-Environmental Sciences**, v. 9, n. 1, p. 16, 13 jun. 2023.
- GONGALSKY, K. B. Soil macrofauna: Study problems and perspectives. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 159, p. 108281, 2021.
- GONZÁLEZ, G. et al. Soil ecological interactions: comparisons between tropical and subalpine forests. **Oecologia**, v. 128, n. 4, p. 549–556, 2001.
- HOFFMANN, R. B. et al. Efeito do uso do solo sobre a macrofauna edáfica. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 1, n. 1, p. 125–133, 2018.
- KOVACS, T. et al. Localisation and seasonal positions of wireworms in soils. **Communications in agricultural and applied biological sciences**, v. 71, n. 2, p. 357-367, 2006.

- LEAL, I. R. Dispersão de sementes por formigas na caatinga. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Ed.) **Ecologia e conservação da Caatinga: uma introdução ao desafio**. Recife: EDUFPE, 2004. p. 593-624.
- LEONARDO, F. DE A. P. et al. Ciclagem de nutrientes e macrofauna do solo em áreas de caatinga. **CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES**, v. 16, n. 9, p. 16733–16752, 2023.
- MARTINS, A. E. DE S. et al. Levantamento da macrofauna edáfica em áreas de proteção ambiental no maranhão. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 7, n. 1, p. 30–37, 2021.
- MELO, D. et al. Mesofauna edáfica na macaxeira, capim colônio e em fragmento de mata atlântica. **Agrarian Academy**, v. 5, n. 9, 2018.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983
- PASQUALIN, L. A. et al. Macrofauna edáfica em lavouras de cana-de-açúcar e mata no noroeste do Paraná - Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 7–18, 2012.
- PEREIRA, Jamil de Moraes et al. Soil spiders (Arachnida: Araneae) in native and reforested Araucaria forests. **Scientia Agricola**, v. 78, p. e20190198, 2020.
- PINTO, C. M. et al. Different land-use types equally impoverish but differentially preserve grassland species and functional traits of spider assemblages. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 10316, 2021.
- R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 11 mar. 2024
- REBRINA, Fran et al. Vegetation height as the primary driver of functional changes in orthopteran assemblages in a roadside habitat. **Insects**, v. 13, n. 7, p. 572, 2022.
- SALUSTINO, A. S. et al. Diversity of Coleoptera in Maize Crops (*Zea mays* L.) and a Secondary Succession Area in Paraíba, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 10, 2019.
- SALUSTINO, A. S. et al. Influência do uso de pesticidas sobre a macrofauna do solo em área frutífera. **Revista Caatinga**, v. 37, p. e12340-e12340, 2024.
- SANTOS, C. P. S. dos et al. Levantamento da diversidade da macrofauna do solo no bosque das arapiracas. **Revista Ambientale**, v. 13, n. 2, p. 23–30, 2021.
- SANTOS, D. P. et al. Soil macrofauna in a Cerrado/Caatinga ecotone under different crops in Southwestern Piauí State, Brazil. **Ciência Rural**, v. 47, p. e20160937, 2017.
- SILVA, A. C. F. Macrofauna edáfica em três diferentes usos do solo. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 18, p. 2131-2137, 2014.
- SILVA, et al. Aplicação dos índices biológicos Biological Monitoring Working Party e Average Score per Taxon para avaliar a qualidade de água do rio Ouricuri no Município de Capanema, Estado do Pará, Brasil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 7, n. 3, p. 13-22, 2016.
- TRIPLEHORN, C. A. & J. N. F. Estudo dos Insetos. **Cengage Learning**, 2^a. ed, 2015. p. 60 – 766.
- VASCONCELOS, W. L. F. et al., Diversity and abundance of soil macrofauna in three land use systems in eastern Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 44: e0190136, 2020. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcS20190136>.

VIANA, E. et al. Diversidade da fauna edáfica em solos com diferentes sistemas de manejos no norte do Rio Grande do Sul. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e42211528307, 2022.

WERSEBECKMANN, Vera et al. Orthopter an diversity in steep slope vineyards: the role of vineyard type and vegetation management. **Insects**, v. 14, n. 1, p. 83, 2023.

WINK, C. et al. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 4, n. 1, p. 60-71, 2005.

CAPÍTULO II

ATIVIDADE ENZIMÁTICA E INDICES DE QUALIDADE DOS SOLOS EM DIFERENTES AMBIENTES EM BREJO DE ALTITUDE NA PARAIBA

RESUMO

A qualidade do solo está relacionada a capacidade do solo para desempenhar várias funções dentro dos seus limites do uso e do ecossistema para manter a produtividade biológica, preservar ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para saúde humana, vegetal e animal. Mudanças nas práticas de manejo do solo, como preparo do solo ou uso de fertilizantes, podem afetar a atividade enzimática e, conseqüentemente, a saúde do solo. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a atividade enzimática, em ambiente de agricultura, pecuária, solo descoberto e vegetação nativa, com intenção de verificar a qualidade dos solos. De cada ambiente foram retiradas dezesseis amostras de solo em profundidade de 0 – 20 cm, e enviadas para laboratório afim de obter os valores das atividades das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase, matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, armazenamento de nutrientes, suprimento de nutrientes e os índices de qualidade do solo (IQS) de fertibio, IQS biológico, IQS químico. Os resultados das análises de solos foram estimados pela plataforma web MIQS (Modulo Interpretação da Qualidade do Solo da tecnologia BioAS). Para análise dos dados o delineamento adotado foi inteiramente ao acaso com 4 tratamentos e 4 repetições. Os dados foram submetidos a análise de variância a $p < 0,05$ e teste de Tukey para comparar as médias e análise de componentes principais (PCA) para as variáveis. O software utilizado para as análises estatísticas foi o R 4.3.0. Como resultado foi observado pela análise de componentes principais que a matéria orgânica no solo foi fator determinante para o aumento da atividade enzimática e para os índices de qualidade dos solos no ambiente de pecuária onde apresentaram valores mais elevados para os índices de qualidade, o ambiente de vegetação nativa tem indicado estabilidade pelo teste de Tukey. Concluindo que os ambientes antropizados como apresentaram valores mais elevados das atividades enzimáticas e os índices de qualidade do solo estudados indicam que os ambientes de agricultura e pecuária possuem bom estado produtivo.

Palavras-chave: arilsulfatase; β -glicosidase; bioAs; conservação do solo.

ABSTRACT

Soil quality is related to the soil's ability to perform various functions within its use and ecosystem limits to maintain biological productivity, preserve or improve environmental quality and contribute to human, plant and animal health. Changes in soil management practices, such as tillage or fertilizer use, can affect enzyme activity and, consequently, soil health. The present work aims to evaluate enzymatic activity in agricultural, livestock, bare soil and native vegetation environments, with the intention of verifying soil quality. Sixteen soil samples were taken from each environment at a depth of 0 – 20 cm, and sent to the laboratory in order to obtain values for the activities of the enzymes arylsulfatase and β -glucosidase, organic matter, nutrient cycling, nutrient storage, nutrient supply and the soil quality indices (IQS) of fertibio, biological IQS, chemical IQS. The results of the soil analyzes were estimated using the MIQS web platform (Soil Quality Interpretation Module of BioAS technology). For data analysis, the design adopted was completely randomized with 4 treatments and 4 replications. The data were subjected to analysis of variance at $p < 0.05$ and Tukey's test to compare the means and principal component analysis (PCA) for the variables. The software used for statistical analyzes was R 4.3.0. As a result, it was observed through the analysis of main components that organic matter in the soil was a determining factor for the increase in enzymatic activity and for soil quality indices in the livestock environment where they presented higher values for quality indices, the native vegetation has indicated stability by the Tukey test. Concluding that the anthropized environments presented higher values of enzymatic activities and the soil quality indices studied indicate that the agricultural and livestock environments have a good productive state.

Keywords: arylsulfatase; β -glucosidase; bioas; soil conservation.

8 INTRODUÇÃO

O conceito de Qualidade do Solo (QS), datado do final dos anos 1980 e início dos anos 1990, apresenta a preocupação crescente com a sustentabilidade da produção de alimentos e a degradação do solo. QS foi descrita de acordo com Doran e Parkin (1994), como a capacidade do solo para desempenhar várias funções dentro dos seus limites do uso e do ecossistema para manter a produtividade biológica, preservar ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para saúde humana, vegetal e animal.

A saúde edáfica pode ser avaliada pelos fatores físicos, químicos e biológicos, no entanto, os atributos biológicos são mais sensíveis do que os indicadores químicos e físicos para a detecção precoce de alterações que ocorrem no solo devido ao uso e manejo (MENDES et al., 2015).

A atividade enzimática no solo é o acúmulo das atividades enzimáticas dos organismos vivos e das enzimas abióticas que são enzimas que estão associadas a fração não-viva que se acumulam no solo abrigadas da ação de proteases através da adsorção em partículas de argila e matéria orgânica do solo (MENDES; SOUSA; F JUNIOR, 2015).

A ação das enzimas dos solos tem papel fundamental, atuando como catalisadores de diversas reações que resultam na decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, formação de matéria orgânica e estrutura do solo. De acordo com Moghimian et al. (2017), por existir essa relação com vários aspectos do funcionamento do solo, as atividades das enzimas do solo são consideradas como indicadores de qualidade do solo.

Mudanças nas práticas de manejo do solo, como preparo do solo ou uso de fertilizantes, podem afetar a atividade enzimática e, conseqüentemente, a saúde do solo. Dessa forma as enzimas dos solos ferramenta valiosa para avaliar a saúde do solo pois são sensíveis a mudanças na qualidade do solo, tornando-se uma característica que demonstra vantagem no uso como indicadores de qualidade por sua sensibilidade e resposta a mudanças no manejo agrícola (MENDES et al., 2021).

As enzimas arilsulfatase e β -glicosidase tem se mostrado as mais indicadas como indicadores de maior sensibilidade às alterações no solo decorrentes no manejo. Contudo, essas enzimas atendem aos critérios de indicador de qualidade, que são: apresentar sensibilidade, coerência, precisão, determinação analítica simples, relação com a ciclagem da matéria orgânica dos solos, não sofrendo influência de adubos e corretivos. Por esses fatores essas enzimas foram adotadas pela tecnologia da Embrapa de Bioanálise de Solo (BioAS), com o

objetivo de adicionar o componente biológico às análises de rotina de solos (MENDES et al., 2021).

Estas enzimas apresentam grande importância para avaliação da qualidade dos solos, pois grande parte das transformações bioquímicas que ocorrem neste ambiente é dependente ou relacionada à presença e atividade das enzimas (STIEVEN et al., 2020).

Diante do exposto, a atividade enzimática pode ser usada para comparar diferentes sistemas de uso dos solos e detectar diferenças na qualidade do solo, portanto, o monitoramento da atividade enzimática pode fornecer informações valiosas sobre a saúde do solo e ajudar a indicar práticas sustentáveis de manejo do solo.

Partindo desse pressuposto o presente trabalho objetivou avaliar a atividade enzimática nos ambientes de vegetação nativa, pecuária, agricultura e solo descoberto com a intenção de comparar os índices de qualidades dos solos.

9 MATERIAIS E MÉTODOS

9.1 LOCAL DO ESTUDO

O estudo foi conduzido no Sítio Macacos no município de Areia – PB (6°58'50.3"S 35°43'42.1"W), com altitude média de 574 m. Segundo a classificação de Köppen-Geiger o clima dessa região é do tipo “As” (quente e úmido), com precipitação média anual de 1200 mm, temperatura e umidade relativa média do ar de 23,4°C e 80%, respectivamente (ALVARES et al., 2013).

Foram selecionadas quatro áreas para as avaliações, que corresponde aos ambientes: **Agricultura**, onde está implantada uma horta há mais de dez anos, desenvolvida pelo projeto PAIS (Produção Agroecológica Integrada e Sustentável) e possui solo classificado como Latossolo; **Pecuária**, possui a instalação de curral há mais de uma década com predominância de Neossolo Flúvico; **Solo descoberto**, foi um local separado e limpo para construção, porém abandonado há mais ou menos cinco anos e possui uma vegetação rala e esparsa com predominância de Latossolos; e, **vegetação nativa** (Floresta Ombrófila) tendo o solo classificado como Argissolo. Os ambientes estão representados de acordo com a figura 1.

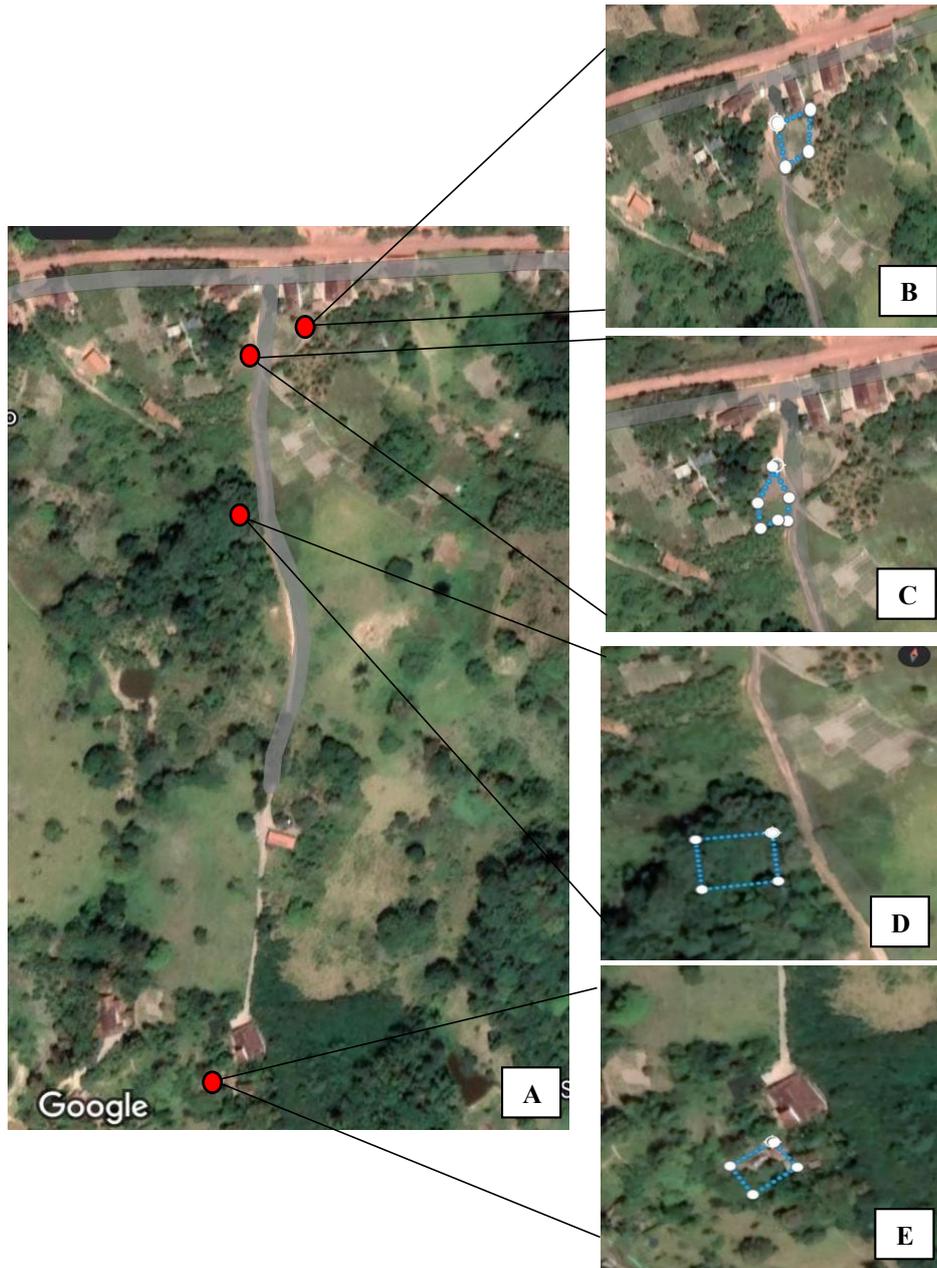


Figura 1 - Mapa dos ambientes, A-Área total, B Agricultura, C- Solo descoberto, D-Mata, E- Pecuária. Sítio Macacos, em Areia (PB).

Na tabela 1, estão representados os ambientes e suas respectivas coordenadas geográficas e altitudes.

Tabela 1. Descrições das diferentes áreas de estudo com suas respectivas coordenadas geográficas e altitudes no Sítio Macacos, Areia-PB.

AMBIENTES	Coordenadas geográficas	Altitude (m)
Vegetação Nativa (VN)	06° 58' 54.1"S e 35°43'41.8"O	560
Ambiente de Agricultura (AA)	06° 58' 50.3" S e 35°43' 42.0"O	576
Solo Descoberto (SD)	06° 58' 50.9"S e 35°43'42.4"O	573
Ambiente de Pecuária (AP)	06° 59' 02.9"S e 35°43'38.8"O	524

9.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

O delineamento adotado para análises de dados foi inteiramente ao acaso com quatro tratamentos: ambiente de agricultura (AA), ambiente de pecuária (AP), vegetação nativa (VN), solo descoberto (SD) e quatro repetições divididas durante o ano por trimestre. Para determinação das áreas de instalação das armadilhas, foi separada em cada ambiente uma área de 400 m². Dentro dessa área foram traçadas linhas a cada 5,0 metros em ambos os lados e, na intercessão das linhas, foram determinados os pontos de inserção das armadilhas como exemplificado no croqui da figura 2. Após a determinação e identificação dos pontos foram sorteados quatro pontos de instalação das armadilhas para compor a amostra.

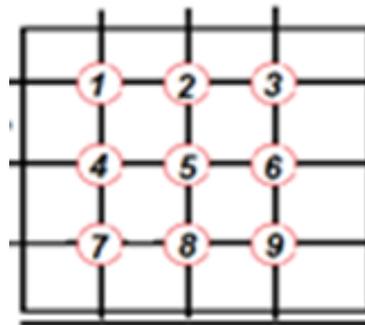


Figura 4 - Croqui utilizado para determinação dos pontos de coleta do solo; Fonte: Autor (2023).

9.3 AVALIAÇÕES

Para obtenção dos valores da atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase, matéria orgânica (M.O), ciclagem de nutrientes (CiclNutri), armazenamento de nutrientes (ArmazNutri), suprimento de nutrientes (SupriNutri) e os índices de qualidade do solo (IQS) de fertilizante, biológico, químico. Foram realizadas quatro coletas de solo em cada ambiente para

compor uma amostra simples, sendo esse processo realizado quatro vezes durante o ano, totalizando dezesseis amostras. Após as coletas as amostras foram enviadas ao Laboratório Solo e Companhia/ Goiânia - GO (Credenciado pela Embrapa) para realizar as análises de acordo com a tecnologia BioAS desenvolvida por Mendes et al. (2021).

Após a obtenção dos resultados físicos, químicos e da atividade enzimática o laboratório utiliza a plataforma web MIQS (Modulo Interpretação da Qualidade do Solo da tecnologia BioAS), desenvolvida pela Embrapa Cerrados e pela Embrapa Agrobiologia que calcula os índices de qualidade de solo (IQS) e os escores das funções ciclar, armazenar, e suprir nutrientes. Os escores das funções variam de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 melhor o desempenho dessas funções. O IQS é calculado com base nas determinações dos atributos de fertilidade química (pH, $H^+ + Al^{+3}$, Ca^{+2} , K^+ , P, Mg^{+2} e matéria orgânica do solo (MOS)), físicos (densidade aparente, porosidade total, macroporosidade e microporosidade) e biológicos (carbono da biomassa microbiana) e atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase (MENDES et al., 2021).

9.4 ANÁLISES ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) a ($p < 0,05$) e Teste de Tukey para comparar as médias e análise de componentes principais (ACP). O software utilizado para as análises estatísticas foi o R 4.3.0 (R CORE TEAM, 2023).

10 RESULTADOS

10.1 ATIVIDADE ENZIMÁTICA E ÍNDICES DE QUALIDADE DOS SOLOS

Na avaliação da atividade enzimática e matéria orgânica do solo, não houve diferença significativa quando comparado os ambientes: solo descoberto, agricultura e pecuária. O ambiente de vegetação nativa apresentou diferença na atividade da enzima arilsulfatase quando comparado com o ambiente de pecuária que apresentou maior atividade dessa enzima. Para acúmulo de matéria orgânica e atividade da β -glicosídase, não houve diferença entre os ambientes (Tabela 2).

Tabela 2. Atividade das enzimas Arilsulfatase, β -glicosídase e matéria orgânica dos solos nos ambientes de solo descoberto, agricultura e pecuária. Areia-PB

Ambientes	Arilsulfatase* p-nitrofenol/kg ⁻¹ de solo/h	β -glicosídase	MOS g kg ⁻¹
VN	50,75 b	52,00 a	24,75 a
SD	76,50 ab	67,00 a	26,25 a
AA	73,25 ab	38,25 a	25,75 a
AP	107,50 a	121,25 a	29,00 a
	CV(%)		
	26,50	55,90	13,60

SD= Solo descoberto; VN= Vegetação Nativa; AA= Ambiente de agricultura; AP=Ambiente de pecuária..*EnzA - Arilsulfatase; EnzB - β -glicosídase; MOS-Matéria orgânica; médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05)

Na tabela 3, ao comparar os ambientes solo descoberto (SD) com áreas de agricultura (AA) e pecuária (AP) não é constatado diferença entre tratamentos para as variáveis ciclagem de nutrientes, armazenamento de nutrientes e suprimento de nutrientes, apresentando apenas menores taxas para o ambiente de vegetação nativa.

Tabela 3. Ciclagem de nutrientes, armazenamento de nutrientes e suprimento de nutrientes dos solos nos ambientes de solo descoberto, agricultura e pecuária. Areia-PB.

Ambientes	CiclNutri	ArmazNutri	SupriNutri
VN	0,56 b	0,74 b	0,53 b
SD	0,76 ab	0,89 ab	0,81 a
AA	0,65 ab	0,97 a	0,75 a
AP	0,86 a	0,92 ab	0,79 a
	CV(%)		
	12,80	8,40	5,20

SD= Solo descoberto; VN= Vegetação Nativa; AA= Ambiente de agricultura; AP=Ambiente de pecuária..*CiclNutri - Ciclagem de nutrientes; ArmazNutri - armazenamento de nutrientes; SupriNutri - suprimento de nutrientes; médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Os índices de qualidade dos solos (IQS) estão representados na tabela 4. Para os índices de qualidade relativos à fertilidade, biológico e químico não houve diferença entre os ambientes de solo descoberto, agricultura e pecuária. No tocante aos índices fertilidade e químico, o

ambiente de vegetação nativa apresentou o menor valor. Já para o IQS biológico esse ambiente não se diferenciou de agricultura e o de pecuária apresentou o maior valor.

Tabela 4. Índice de qualidade do solo de fertilidade, Índice de qualidade do solo biológico e Índice de qualidade do solo químico nos ambientes de solo descoberto, agricultura e pecuária. Areia-PB.

Ambientes	IQSFert	IQSBio	IQSQuim
V. nativa	0,61 b	0,56 b	0,64 b
S. descoberto	0,82 a	0,76 ab	0,85 a
Agricultura	0,79 a	0,65 ab	0,86 a
Pecuária	0,86 a	0,86 a	0,86 a
CV(%)	6,40	12,80	5,20

SD= Solo descoberto; VN= Vegetação Nativa; AA= Ambiente de agricultura; AP= Ambiente de pecuária. *IQSFert - Índice de qualidade do solo de fertilidade; IQSBio - Índice de qualidade do solo biológico; IQSQuim - Índice de qualidade do solo químico; médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

Com o primeiro eixo dos componentes principais explicando 81 % da variação dos dados com todas as variáveis apresentando valores positivos desse eixo. O ambiente de vegetação nativa tem relação negativa e o ambiente de pecuária relação positiva a esse eixo e o ambiente de solo descoberto se mantém próximo ao centroide do eixo dos componentes principais. Quanto ao segundo componente que explica 16,5% da variação, o ambiente de agricultura apresenta relação direta e o ambiente de pecuária inversamente proporcional. Observa-se uma grande sobreposição dos efeitos de Índice de qualidade biológico (IQSBio) e atividade da enzima arilsulfatase (EnZA) juntamente com a matéria orgânica e a atividade da β -glicosidase, sendo mais participante do ambiente de pecuária. Os índices de qualidade química, nutricional, fertilidade e armazenamento nutricional se destacam no ambiente de agricultura (Figura 3).

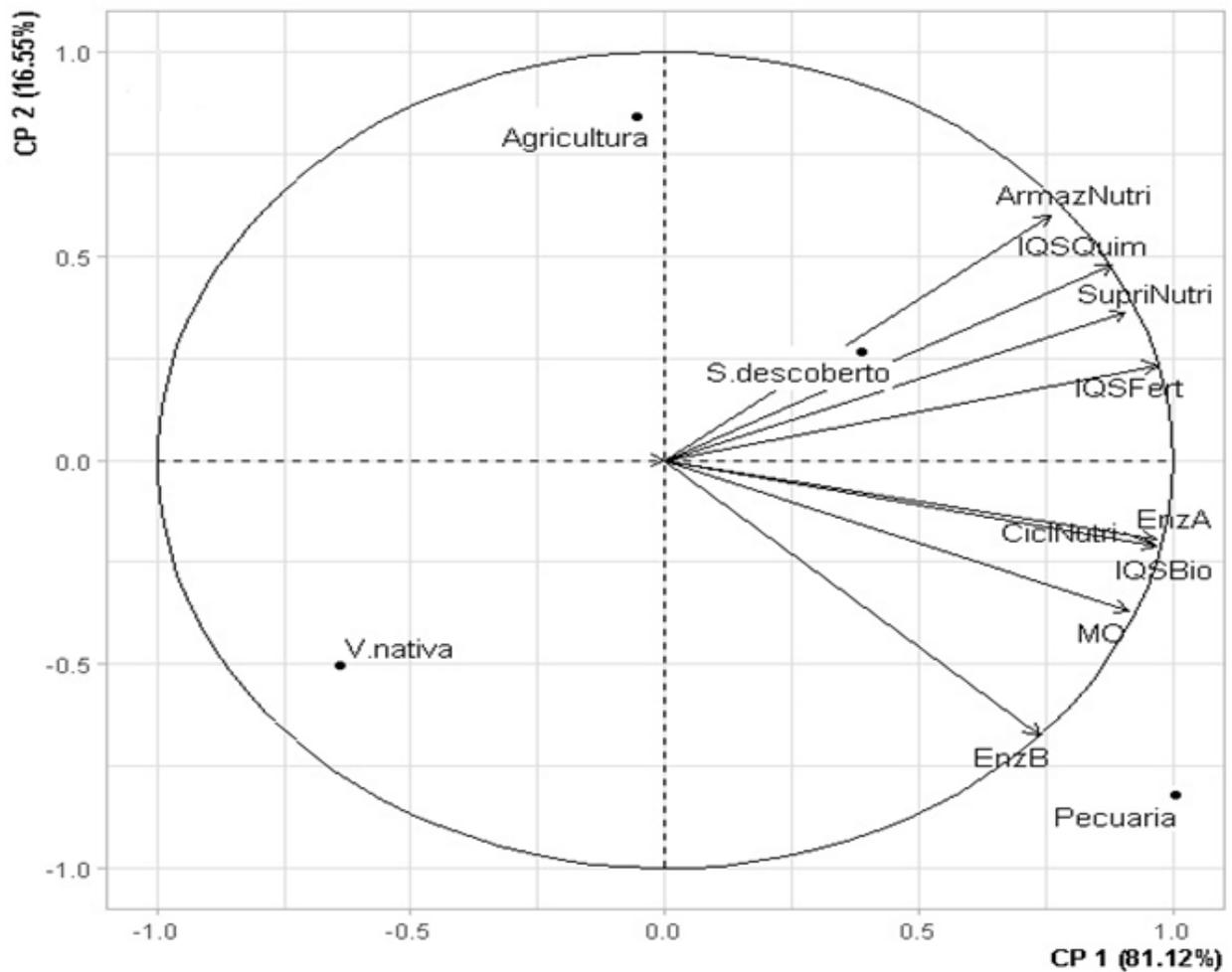


Figura 3. Análise de componentes principais para atividade enzimática e índices de qualidade dos solos nos ambientes de vegetação nativa, agricultura e pecuária e solo descoberto. Areia-PB.
 EnzA - Arilsulfatase; EnzB - β -glicosidase; M.O - Matéria orgânica CiclNutri - Ciclagem de nutrientes; ArmazNutri - armazenamento de nutrientes; SupriNutri - suprimento de nutrientes; IQSFert - Índice de qualidade do solo de fertilidade; IQSBio - Índice de qualidade do solo biológico; IQSQuim - Índice de qualidade do solo químico. SD= Solo descoberto; VN= Vegetação Nativa; AA= Ambiente de agricultura; AP=Ambiente de pecuária.

11 DISCUSSÃO

Na tabela 2 são apresentados os resultados da atividade enzimática e matéria orgânica nos diferentes ambientes, sendo essas variáveis intimamente relacionadas. De acordo com Stieven et al. (2020), grande parte das variáveis biológicas estão associadas diretamente com matéria orgânica e assim como os ambientes de pecuária e ambiente agrícola. Como a atividade da enzima arilsulfatase está associada ao ciclo do enxofre (S), as maiores atividades dessa enzima estão nos ambientes de pecuária e agricultura podem estar associadas a um acúmulo de S acarretada pelas altas concentrações de MO.

Estima-se que mais de 90% do S nos solos encontra-se na forma orgânica, compondo a matéria orgânica do solo, estimulando a atividade da arilsulfatase (MAGRO; MAZZUCHELLI; ALVES, 2023). Assim como os resultados de matéria orgânica foi maior no ambiente de pecuária por consequência a atividade da arilsulfatase foi maior se diferenciando estatisticamente nesse ambiente.

Referente as variáveis ciclagem de nutrientes, armazenamento de nutrientes e suprimento de nutrientes da tabela 3, é entendido que no ambiente de vegetação nativa se diferencia dos demais ambientes como esperado para Chaer; Tótola, (2007), onde os indicadores bioquímicos e microbiológicos de qualidade do solo estão relacionados à função de ciclar e armazenar nutrientes.

Dessa forma, constata-se o mesmo padrão na tabela 4, para os índices de qualidade do solo. Cada ecossistema apresenta ciclagem distinta dos nutrientes, em que os oligotróficos, ao contrário dos eutróficos, restringem a perda de nutrientes através de várias estratégias (PINTO et al., 2009). Portanto, o ambiente de vegetação nativa é caracterizado como oligotrófico, por sua baixa disponibilidade de nutrientes, comparados aos ambientes de agricultura e pecuária que recebem com frequência insumos agropecuários.

Tendo em vista que ambientes naturais necessitam de tempo para acúmulo de matéria orgânica, ciclagem e armazenamento de nutrientes de forma natural, por outro lado, ambientes como o de pecuária recebem com mais intensidade material orgânico externo e excremento dos animais, proporcionando maior quantidade de matéria orgânica. Para Bettiol et al. (2023), os excrementos de bovinos podem ser utilizados como insumo para recuperação de áreas degradadas pois elevam a quantidade de matéria orgânica no solo.

Com a análise dos componentes principais, nota-se que dois ambientes se destacam, o ambiente de agricultura com maiores valores dos índices de qualidade, e o de pecuária com maiores teores de matéria orgânica e atividade enzimática. Ambos os ambientes manejados pela

ação antrópica. Com manejo adequado da fertilidade do solo, diminui custos e evita contaminação do solo e dos corpos hídricos, além de manter o solo sempre vegetado a fim de promover a qualidade e diminuir a possibilidade de degradação (SANTOS et al., 2021).

12 CONCLUSÕES

- 1- Os ambientes antropizados como o de pecuária e agricultura apresentaram valores mais elevados das atividades enzimáticas;
- 2- O ambiente de vegetação nativa tem indicado pouca variação entre as variáveis analisadas quando comparada aos demais ambientes;
- 3- Os índices de qualidade do solo estudados indicam que os ambientes de agricultura e pecuária possuem bom estado produtivo.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- BETTIOL, W. et al. Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical. 1. ed. Brasília: **Embrapa Meio ambiente**, v. 1. p. 90 - 788, 2023.
- CÉSAR TORRES DOS SANTOS, R. et al. Manejo sustentável do solo para fortalecimento da agricultura familiar. **Caderno Impacto em Extensão**, 2023.
- CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1381–1396, 2007.
- MAGRO, L. A. C.; MAZZUCHELLI, R. DE C. L.; ALVES, M. R. Atividade enzimática em solos arenosos manejados com SAF no pontal do Paranapanema. Em: **COLLOQUIUM EXACTARUM**. Presidente Prudente: UNOESTE, 2023. v. 14p. 193–200.
- MENDES, C. I.; SOUSA, D. M. G. DE; F JUNIOR, R. B. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. Em: Embrapa. 1. ed. Brasília: **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, 2015. v. 32p. 191–209.
- MENDES, I. DE C. et al. Tecnologia BioAS Uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo. Em: **EMBRAPA**. 21. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2021. v. 369, p. 1–50.
- MOGHIMIAN, N. et al. Impacts of changes in land use/cover on soil microbial and enzyme activities. **Catena**, v. 157, p. 407-414, 2017.
- PINTO, S. I. DO C. et al. Ciclagem de nutrientes em dois trechos de floresta estacional semidecidual na reserva florestal mata do paraíso em Viçosa, MG, Brasil. **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 653–663, 2009.
- R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, 2023. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 11 mar. 2024
- SANTOS, C. P. S. dos et al. Levantamento da diversidade da macrofauna do solo no bosque das arapiracas. **Revista Ambientale**, v. 13, n. 2, p. 23–30, 2021.
- STIEVEN, A. C. et al. Atributos do solo em sistemas diferenciados de uso e manejo do solo em Mato Grosso, MT, Brasil. **COLLOQUIUM AGRARIAE**, v. 16, n. 2, p. 1–15, 2020.

CAPÍTULO III

**ATRIBUTOS QUÍMICOS-FÍSICOS DOS SOLOS EM DIFERNTES AMBIENTES
EM BREJO DE ALTITUDE NA PARAIBA**

RESUMO

Os atributos químicos e físicos do solo desempenham um papel fundamental na determinação de sua saúde, compreendendo esses atributos é possível implementar estratégias de manejo adequadas para melhorar a saúde do solo, aumentar o rendimento das culturas e promover práticas agrícolas sustentáveis estrutura e capacidade de suporte e crescimento de plantas. Com essa perspectiva esse estudo objetivou-se avaliar por meio de indicadores biológicos da qualidade do solo, os riscos de degradação em quatro áreas: Ambiente de produção agrícola (horta), pecuária (curral), solo descoberto (vegetação rala e esparsa) e vegetação nativa (Floresta Ombrófila), no município de Areia, brejo da Paraíba. Na pesquisa foram avaliados quatro tratamentos com quatro repetições divididas por trimestre, distribuídas no decorrer do ano. Para a coleta das amostras de solo para análise, foi determinada em cada ambiente uma área de 400 m², onde foram traçadas linhas a cada 5,0 metros em ambos os lados e na intercessão das linhas foram determinados os pontos de coleta. Para obtenção dos valores dos atributos químico-físicos, dezesseis amostras de solo foram retiradas em cada ambiente a uma profundidade de 0-20 cm e enviadas ao laboratório para análises dos solos. Os dados coletados foram submetidos a ANOVA a ($p < 0,05$) e teste de Tukey e análises de componentes principais para as variáveis. Como resultados é verificado que as ações antrópicas nos ambientes de agricultura e pecuária não influenciaram negativamente quanto aos atributos físico-químicos dos solos. Concluindo que mesmo diante as diferentes condições dos ambientes avaliados nesse estudo, as ações antrópicas nos tratamentos no ambiente de agricultura e pecuária não influenciaram negativamente quanto aos atributos físico-químicos dos solos e os ambientes pouco antropizados, apresentaram um estado de repouso quanto a composição química dos solos. Contudo os atributos de solo avaliados nesse estudo, apontam que não existem limitações físico-químicas nos ambientes avaliados.

Palavras-chave: bioas; ambientes antropizados; análise de componentes principais.

ABSTRACT

The chemical and physical attributes of soil play a fundamental role in determining its health, understanding these attributes it is possible to implement appropriate management strategies to improve soil health, increase crop yields and promote sustainable agricultural practices structure and carrying capacity and plant growth. With this perspective, this study aimed to evaluate, through biological indicators of soil quality, the risks of degradation in four areas: Agricultural production environment (garden), livestock (corral), bare soil (thin and sparse vegetation) and vegetation native (Ombrófila Forest), in the municipality of Areia, Paraíba State. In the research, four treatments were evaluated with four replications divided per quarter, distributed throughout the year. To collect soil samples for analysis, an area of 400 m² was determined in each environment, where lines were drawn every 5.0 meters on both sides and at the intersection of the lines, collection points were determined. of the values of the chemical-physical attributes, sixteen soil samples were taken in each environment at a depth of 0-20 cm and sent to the laboratory for soil analysis. The collected data were subjected to ANOVA at ($p < 0.05$) and Tukey's test and principal component analysis for the variables. As a result, it was verified that human actions in agricultural and livestock environments did not negatively influence the physical-chemical attributes of the soil. Concluding that even in view of the different conditions of the environments evaluated in this study, the anthropic actions in the treatments in the agricultural and livestock environment did not negatively influence the physical-chemical attributes of the soils and the environments with little anthropization, presented a state of rest in terms of chemical composition of the soils. However, the soil attributes evaluated in this study indicate that there are no physical-chemical limitations in the evaluated environments.

Keywords: bioas; anthropogenic environments; principal component analysis.

13 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural composto por atributos químicos, físicos e biológicos é dinâmico e essencial para o crescimento das plantas e produção agrícola. Com tudo os atributos físico-químicos dos solos desempenham um papel fundamental na determinação de sua fertilidade e capacidade de suporte e crescimento de plantas. Dessa forma, Silva et al. (2021), acrescenta que a textura do solo, matéria orgânica e teor de nutrientes são os principais atributos de análise, e compreendendo esses atributos, torna possível gerenciar e melhorar a saúde do solo para uma produção agrícola sustentável.

A textura do solo refere-se à composição de partículas no solo, incluindo areia, silte e argila e é responsável pela capacidade de adsorção dos nutrientes, bem como sua capacidade de retenção de água. Assim os solos arenosos têm partículas maiores e tendem a drenar rapidamente, enquanto os solos argilosos têm partículas menores e retêm a água com mais eficiência (RAMÍREZ; MATOS, 2022).

A matéria orgânica do solo (MO) é o resíduo decomposto de plantas e animais que contribui para a fertilidade e para estrutura do solo, também aumenta a capacidade de retenção de água que é essencial para o crescimento e resiliência das plantas durante as condições de seca. Atua contribuindo para a capacidade de troca catiônica do solo, que é a capacidade das partículas do solo de atrair e reter íons carregados positivamente, como cálcio, magnésio e potássio. Segundo Mendes et al. (2021), essa capacidade de troca é crítica para a absorção de nutrientes pelas plantas. Contudo, práticas de manejo do solo, como rotação de culturas, cultivo de cobertura e o uso de correções orgânicas, podem aumentar a matéria orgânica do solo e melhorar a saúde do solo.

De acordo com Silva et al. (2021), nutrientes do solo, como nitrogênio, fósforo e potássio, são essenciais para o crescimento das plantas e geralmente são fatores limitantes na produção agrícola. Entretanto a disponibilidade desses nutrientes é limitada pelo potencial de hidrogênio (pH) do solo e pelo teor de matéria orgânica. Por exemplo, o nitrogênio está mais disponível em solos com alto teor de matéria orgânica, enquanto o fósforo está mais disponível em solos alcalinos.

O pH do solo afeta a disponibilidade de nutrientes para as plantas. Por isso os solos ácidos tendem a restringir a disponibilidade de nutrientes, como nitrogênio fósforo e potássio, enquanto solos alcalinos podem limitar a disponibilidade de micronutrientes como ferro e zinco (SILVA et al., 2021).

Desse modo as análises de solos são necessárias para determinar as deficiências de nutrientes e desenvolver um plano de fertilização específico para cada tipo de solo. Assim a análise química do solo também pode ajudar a evitar a aplicação excessiva de fertilizantes, o que pode levar à poluição ambiental e reduzir a saúde do solo.

A partir de que os atributos químicos do solo são cruciais para o crescimento das plantas e produtividade agrícola. Assim como a textura do solo, a matéria orgânica e o teor de nutrientes são fatores-chave que influenciam a saúde e a fertilidade do solo.

Compreender esses atributos e implementar estratégias de manejo adequadas pode melhorar a saúde do solo, aumentar o rendimento das culturas e promover práticas agrícolas sustentáveis. Com essa perspectiva, esse estudo tem o objetivo de avaliar as análises dos atributos químicos e físicos dos solos nos ambientes de vegetação nativa, pecuária, agricultura e solo descoberto, com intuito de identificar as limitações químico-físicas desses ambientes.

14 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Sítio Macacos no município de Areia – PB (6°58'50.3"S 35°43'42.1"W), com altitude média de 574 m. Segundo a classificação de Köppen-Geiger o clima dessa região é do tipo “As” (quente e úmido), com precipitação média anual de 1200 mm, temperatura e umidade relativa média do ar de 23,4°C e 80%, respectivamente (ALVARES et al., 2013).

Foram selecionadas quatro áreas para as avaliações, que corresponde aos ambientes: **Agricultura**, onde está implantada uma horta há dez anos, que foi desenvolvida pelo projeto PAIS (Produção Agroecológica Integrada e Sustentável) e possui solo classificado como Latossolo; **Pecuária**, possui a instalação de curral há mais de uma década com predominância de Neossolo Flúvico, **Solo descoberto**, foi um local separado e limpo para construção, porém abandonado em torno de cinco anos e possui uma vegetação rala e esparsa com predominância de Latossolos; e, **vegetação nativa** (Floresta Ombrófila) tendo o solo sido classificado como Argissolo. Os ambientes estão representados de acordo com a figura 1.

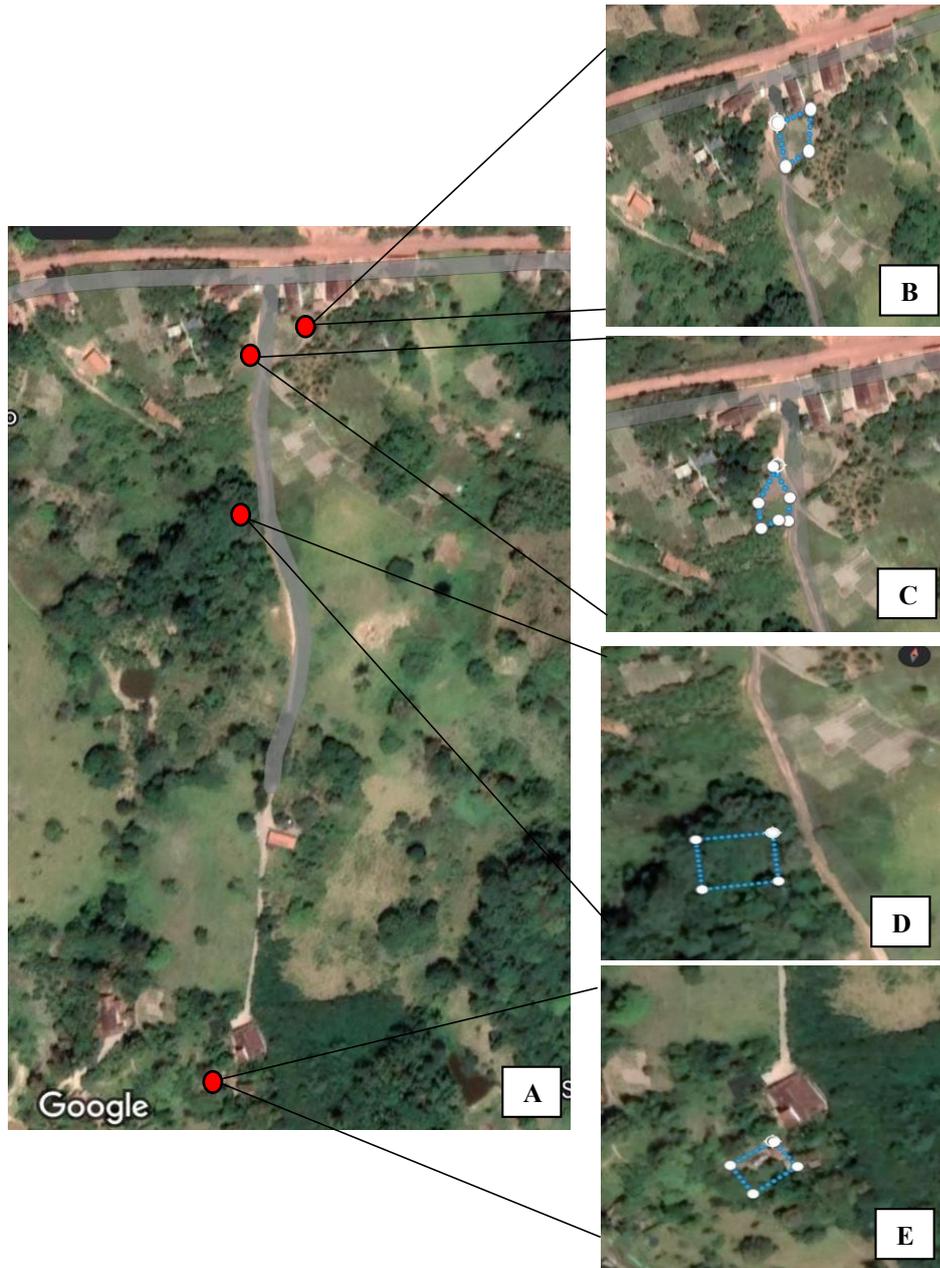


Figura 1 - Mapa dos ambientes, A-Área total, B Agricultura, C- Solo descoberto, D- Mata, E- Pecuária. Sítio Macacos, em Areia (PB).

Observa-se na tabela 1 informações referentes aos ambientes estudados e suas respectivas coordenadas geográficas e altitudes.

Tabela 5 - Descrições das diferentes áreas de estudo com suas respectivas coordenadas geográficas e altitudes no Sítio Macacos, Areia-PB

Ambientes	Coordenadas geográficas	Altitude (m)
Vegetação Nativa (VN)	06° 58' 54.1"S e 35°43'41.8"O	560
Ambiente de Agricultura (AA)	06° 58' 50.3" S e 35°43' 42.0"O	576
Solo Descoberto (SD)	06° 58' 50.9"S e 35°43'42.4"O	573
Ambiente de Pecuária (AP)	06° 59' 02.9"S e 35°43'38.8"O	524

14.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

O delineamento adotado para análises de dados foi inteiramente ao acaso com quatro tratamentos: ambiente de agricultura (AA), ambiente de pecuária (AP), vegetação nativa (VN), solo descoberto (SD) e quatro repetições divididas durante o ano por trimestre. Para determinação das áreas de instalação das armadilhas, foi separada em cada ambiente uma área de 400 m². Dentro dessa área foram traçadas linhas a cada 5,0 metros em ambos os lados e, na intercessão das linhas, foram determinados os pontos de inserção das armadilhas como exemplificado no croqui da figura 2. Após a determinação e identificação dos pontos foram sorteados quatro pontos de instalação das armadilhas para compor a amostra.

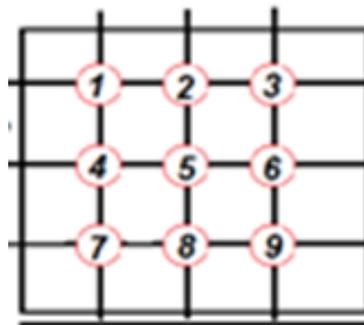


Figura 5 - Croqui utilizado para determinação dos pontos de coleta do solo; Fonte: Autor (2023).

14.2 AVALIAÇÕES

Para os atributos físicos e químicos dos solos, em cada ambiente foram retiradas amostras de solo na camada de 0-20 cm, destorroadas e passadas em peneiras de malha de 2,0 mm, para obtenção da terra fina seca ao ar, e logo após enviadas ao Laboratório de análises de solos Solo e Companhia (Credenciado pela Embrapa) para realizar as análises de acordo com a tecnologia BioAS (MENDES et al., 2021).

14.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) a ($p < 0,05$) e Teste de Tukey para comparar as médias e análise de componentes principais (ACP) para as variáveis analisadas. O software utilizado para as análises estatísticas foi o R 4.3.0 (R CORE TEAM, 2023).

15 RESULTADOS

15.1 ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DOS SOLOS

De acordo com os resultados para textura do solo dos ambientes, a fração areia apresentou maiores valores para o ambiente de agricultura e menores valores para pecuária e vegetação nativa. Já o ambiente de solo descoberto não se diferenciou quanto a esse atributo. Para a fração silte não houve diferença na comparação dos ambientes de agricultura, pecuária e solo descoberto sendo menor no ambiente de vegetação nativa. A fração argila participa nos solos dos ambientes de vegetação nativa, solo descoberto e pecuária sem diferença estatística e no ambiente de agricultura com menor participação. Contudo os valores observados para a matéria orgânica foi o mesmo em todos os tratamentos. (Tabela 2).

Tabela 2. Granulometria dos solos nos ambientes de vegetação natural, solo descoberto, agricultura e pecuária no Sítio Macacos, em Areia (PB)

Ambientes	Areia g kg ⁻¹	Silte g kg ⁻¹	Argila g kg ⁻¹	M.O g kg ⁻¹
VN	520 b	55 b	425 a	24,53 a
SD	555 ab	95 ab	350 ab	26,17 a
AA	625 a	90 ab	285 b	25,65 a
AP	505 b	155 a	340 ab	28,85 a
CV(%)	7,20	30,90	10,20	13,90

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). * SD= Solo descoberto; VN= Vegetação Nativa; AA= Ambiente de agricultura; AP=Ambiente de pecuária.

A participação do nutriente fósforo (P) foi maior no ambiente de agricultura, seguido de pecuária e menor no solo descoberto e vegetação nativa. Para potássio (K) esteve mais presente no ambiente de pecuária, Cálcio (Ca) em maior quantidade no solo da pecuária. Para os ambientes de agricultura e pecuária o magnésio (Mg) apresentou a mesma participação, comparando os ambientes (Ca e Mg) estão em menor quantidade na vegetação nativa. (Tabela 3).

Tabela 3. Macronutrientes dos solos nos ambientes de vegetação natural, solo descoberto, agricultura e pecuária no Sítio Macacos, em Areia (PB).

Ambiente	P mg dm ³	K mg dm ³	Ca cmol _c dm ³	Mg cmol _c dm ³
VN	13,99 c	152,5 b	1,53 c	0,65 c
SD	58,85 c	227 b	5,40 b	1,02 b
AA	494,85 a	300 b	9,6 a	2,05 a
AP	211,65 b	1790 a	7,55 ab	2,15 a
CV(%)	29,40	11,10	18,40	9,70

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). * SD= Solo descoberto; VN= Vegetação Nativa; AA= Ambiente de agricultura; AP=Ambiente de pecuária.

O índice de pH foi maior nos solos do ambiente de agricultura, seguindo do ambiente pecuária, solo descoberto e vegetação nativa. Quanto a acidez total, o ambiente de vegetação nativa tem a maior valor seguido dos tratamentos de solo descoberto, agricultura e pecuária. A CTC (capacidade de troca de cátions) é maior no solo do ambiente pecuária seguido de agricultura, solo descoberto e vegetação nativa. Observando a saturação de base dos solos, o ambiente de vegetação nativa possui o menor valor seguido do ambiente de solo descoberto e os ambientes de agricultura e pecuária com os maiores valores (Tabela 4).

Tabela 4. Atributos químicos nos ambientes de vegetação natural, solo descoberto, agricultura e pecuária no Sítio Macacos, em Areia (PB).

Ambiente	pH (CaCl ₂)	Acidez Tot cmol _c dm ³	CTC cmol _c dm ³	V %
VN	4,07 d	6,92 a	9,49 c	27,06 c
SD	5,58 c	4,03 b	11,03 bc	63,47 b
AA	7,03 a	1,1 c	13,50 ab	91,84 a
AP	6,22 b	2,45 c	16,76 a	85,76 a
CV(%)	2,90	16,20	11,40	5,60

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). * SD= Solo descoberto; VN= Vegetação Nativa; AA= Ambiente de agricultura; AP=Ambiente de pecuária.

O primeiro eixo dos componentes principais explica 71 % da variação dos dados. O ambiente de vegetação nativa apresenta score negativo e o ambiente de pecuária e agricultura score positivo nesse eixo. Quanto ao segundo componente que explica 16,5% da variação, o ambiente de pecuária apresenta relação diretamente e o ambiente de agricultura inversamente proporcional ao eixo e o ambiente de solo descoberto se mantém próximo ao centro.

No quarto quadrante as variáveis areia, P, pH, Ca e V estão mais presentes no ambiente de agricultura, o segundo quadrante com variáveis Mg, CTC, silte, M.O e K mais frequentes nos ambientes de pecuária e no primeiro quadrante argila e acidez estão diretamente associadas ao ambiente de vegetação nativa.

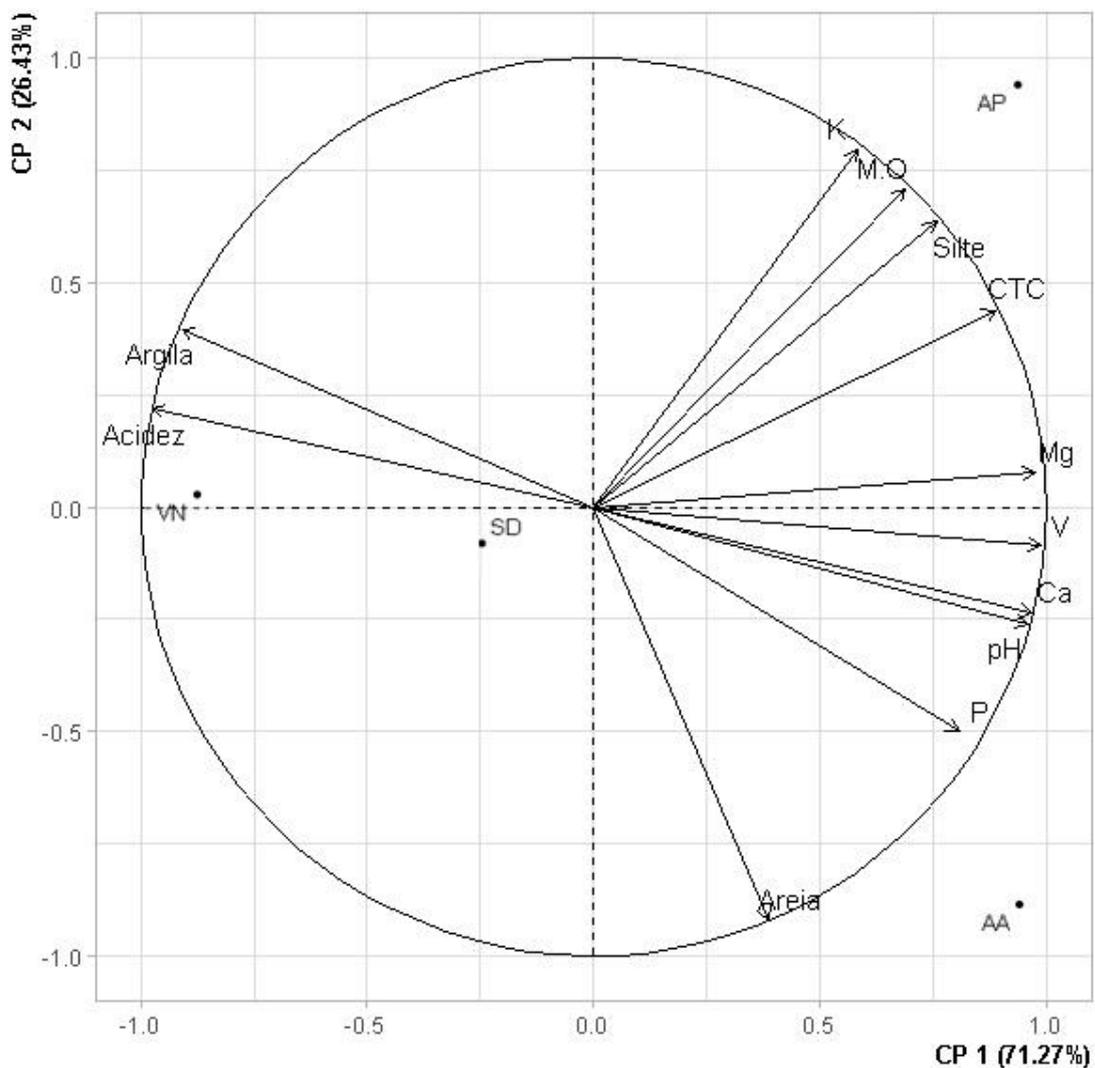


Figura 3. Análise de componentes principais para atributos físicos e químicos dos solos nos ambientes de vegetação nativa, agricultura e pecuária e solo descoberto no Sítio Macacos em Areia (PB). SD = Solo descoberto; VN = Vegetação Nativa; AA = Ambiente de agricultura; AP = Ambiente de pecuária.

16 DISCUSSÃO

Neste estudo, os atributos químicos do solo foram quantificados de acordo a presença dos macronutrientes nos diferentes ambientes. Esses atributos não foram afetados pela cobertura vegetal dos ambientes de agricultura e pecuária. Esse resultado está em concordância com Assis et al. (2015), que verificaram que os sistemas de produção agrícola e pecuária resultaram em uma melhoria na qualidade física do solo, em relação a um ambiente de pastagem.

Altos teores de fósforo (P), Magnésio (Mg), Potássio (K) e Cálcio (Ca) foram encontrados neste estudo em ambiente de pecuária e agricultura, podendo estar relacionado com a adubação e incrementação de matéria orgânica, pois, de acordo com Favarato et al. (2015), ambientes que recebem adubação e/ou matéria orgânica apresentam maior concentração nos teores de P, K e Ca. Vale ressaltar ainda que, a presença de matéria orgânica contribui positivamente na saúde do solo, resultando em uma melhor estrutura física do mesmo (SERPA et al., 2020).

Em ambiente de solo descoberto, constatou-se valores acima do esperado para P, Ca e Mg. Esse resultado pode ser justificado por não haver absorção de nutrientes pela inexistência de cobertura vegetal que normalmente absorvem esses macronutrientes disponíveis na camada superficial do solo. Conforme apontado por Van der Salm et al. (2012), a vegetação é responsável pela absorção dos nutrientes do solo. A área de estudo é caracterizada pela ausência de vegetação, o que pode explicar a um estado de repouso do solo.

Em ambiente de pecuária, foram registrados altos valores de P, K, Ca e Mg. Essa observação pode ser atribuída à presença de bovinos que, ao liberarem urina e excrementos durante o pastejo, adicionando assim nutrientes ao solo que modificando sua condição. Ao contrário de nossos resultados, Santos et al. (2010), observaram que, em solos de uso agropecuário houve um empobrecimento de Mg, K e Ca. Os autores ressaltam que a redução dos macronutrientes pode causar perda da biodiversidade e a diminuição de capacidade de recuperação do solo após perturbações. Desta forma, fica evidente que o solo do ambiente de pecuária apresenta estado nutricional satisfatório, podendo ser considerado conservado mesmo com a atividade pecuária.

Além disso, Penn; Camberato (2019), observaram que a solubilidade do P normalmente ocorre em torno do pH de 4,5 a 6,5. Isso também pode ser observado em nossos achados através da alta concentração de P em SD e AP que apresentaram 5,58 e 6,22, respectivamente. Ainda

vale ressaltar que, a acidez do solo está relacionada com a degradação da terra devido ao sobrepastoreio, ao desmatamento e ao cultivo contínuo (TADDESE, 2001).

Em ambiente de agricultura e pecuária, foram observados solos com baixa acidez. Uma possível explicação é a relação dos sistemas agrícolas e os teores de nutrientes elevados e a diminuição do alumínio Al^{3+} do solo (PORTUGAL; COSTA; COSTA, 2010). Também os atributos químicos, físicos do solo e a matéria orgânica são fortemente alterados pelo uso e manejo do solo (FREITAS et al., 2017).

De acordo com a análise de componentes principais para atributos físicos e químicos dos solos de cada ambiente, foi observado que solos de AA são mais arenosos e sofrem maior influência positiva de P, pH, Ca e V. Já para solos de pecuária apresenta maiores teores de Mg, MO, CTC, Silte e K. Solos de vegetação nativa, são mais argilosos e ácidos. Esses achados corroboram com pesquisa realizada na região do brejo Paraibano onde ambientes de vegetação nativa apresentaram maiores níveis de acidez quando comparado a sistemas agrícolas que recebem correção nutricional elevando Ca e Mg para controle de acidez (SILVA et al., 2015).

A associação entre o teor de argila e maior acidez em solos de vegetação nativa deve estar relacionada a resistência do solo a mudança de pH por possuir maior poder tampão. Segundo Gotardo et al. (2020), as condições químicas em áreas agrícolas são resultantes do manejo, em virtude da adubação e calagem assim como os resultados encontrados nesse estudo.

17 CONCLUSÕES

- 1 Mesmo diante as diferentes condições dos ambientes avaliados nesse estudo, as ações antrópicas nos ambientes de agricultura e pecuária não influenciaram negativamente quanto aos atributos físico-químicos dos solos;
- 2 Os ambientes pouco antropizados, observados na área de vegetação nativa e solo descoberto, apresentaram um estado de repouso quanto a composição química dos solos;
- 3 Os atributos de solo avaliados nesse estudo apontam que não existem limitações físico-químicas nos ambientes avaliados.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- ASSIS, P. C. R. et al. Atributos físicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 309–316, 2015.
- EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 3. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2017. p. 1 - 50, v. 3
- FAVARATO, L. F. et al. Atributos químicos do solo sobre diferentes plantas de cobertura no sistema plantio direto orgânico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 5, n. 2, p. 19–28, 2015.
- FREITAS, L. DE et al. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Unimar Ciências**, v. 26, p. 8–25, 2017.
- GOTARDO, R. et al. Características químicas e físicas de um Cambissolo Háplico do Bioma Mata Atlântica sob diferentes usos de solo. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 3, p. 1039–1066, 2020.
- MENDES, I. DE C. et al. Tecnologia BioAS Uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo. In: **EMBRAPA**. 21. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2021. v. 369, p. 1–50.
- PENN, C. J.; CAMBERATO, J. J. Uma revisão crítica sobre os processos químicos do solo que controlam como o pH do solo afeta a disponibilidade de fósforo para as plantas. **Agricultura**, v. 9, n. 6, p. 120, 2019. doi: 10.3390/agricultura9060120
- PORTUGAL, A. F.; COSTA, O. D. V.; COSTA, L. M. DA. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 575–585, 2010.
- R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, , 2023. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: 11 mar. 2024
- RAMÍREZ, V. S.; MATOS, A. T. DE. Influência da textura do solo receptor e das condições climáticas e ambientais na taxa e fração de mineralização da matéria orgânica no solo. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 27, n. 2, p. 315–323, 2022.
- SANTOS, Jussara Telma dos et al. Atributos físicos e químicos do solo de Áreas sob Pastejo na Microrregião do Brejo Paraibano. **Ciência Rural**, v. 40, p. 2486-2492, 2010.
- SERPA, K. M. et al. Atributos físicos e teor de matéria orgânica em área de Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. e131932399, 2020.
- SILVA, G. F. DA et al. Indicadores de qualidade do solo sob diferentes sistemas de uso na mesorregião do Agreste paraibano. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 25–35, 2015.
- SILVA, M. DE O. et al. Soil quality: biological indicators for sustainable management. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 6853–6875, 2021.
- TADDESE G. Degradação da terra: um desafio para a Etiópia. **Gestão ambiental**. v. 27, n. 6, p. 815–824, 2001. doi: 10.1007/s002670010190

VAN DER SALM et al. Transporte de água e nutrientes em solo argiloso pesado em uma planície fluvial na Holanda. **Revista de Qualidade Ambiental**, v. 41, n. 1, p. 229–241, 2012. doi: 10.2134/jeq2011.0292.