

GRAZIELE NUNES LOPES DOS SANTOS

**ATRIBUTOS DO SOLO EM FLORESTA PLANTADA DE MOGNO, SAF,
PASTAGEM E MATA NATIVA EM GRAVATÁ, PE.**

RECIFE

Pernambuco- Brasil

Novembro-2021

GRAZIELE NUNES LOPES DOS SANTOS

**ATRIBUTOS DO SOLO EM FLORESTA PLANTADA DE MOGNO, SAF,
PASTAGEM E MATA NATIVA EM GRAVATÁ, PE.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para a obtenção do título de mestre em Ciências Florestais.

Orientador (a): Prof^ª. Dr^ª. MARIA BETÂNIA GALVÃO DOS SANTOS FREIRE

Coorientador (a): Prof^ª. Dr^ª. MARIA DA PENHA MOREIRA GONÇALVES

RECIFE, Pernambuco- Brasil

Novembro-2021

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

- S237a Santos , Grazielle Nunes Lopes dos
ATRIBUTOS DO SOLO EM FLORESTA PLANTADA DE MOGNO, SAF, PASTAGEM E MATA NATIVA
EM GRAVATÁ, PE. / Grazielle Nunes Lopes dos Santos . - 2021.
96 f. : il.
- Orientadora: Maria Betania Galvao dos Santos Freire.
Coorientadora: Maria da Penha Moreira Goncalves.
Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Florestais, Recife, 2021.
1. Atributos biológicos. 2. manejo do solo. 3. floresta. 4. pastagem. I. Freire, Maria Betania Galvao dos
Santos, orient. II. Goncalves, Maria da Penha Moreira, coorient. III. Título

CDD 634.9

GRAZIELE NUNES LOPES DOS SANTOS

**ATRIBUTOS DO SOLO EM FLORESTA PLANTADA DE MOGNO, SAF,
PASTAGEM E MATA NATIVA EM GRAVATÁ, PE.**

APROVADA em: 25/11/2021

Banca examinadora:

Prof. Dr. Alexandre de Paula Silva

(Instituto Federal do Norte de Minas Gerais- IFNMG)

Prof. Dr. Rodrigo Eiji Hakamada

(Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE/PPGCF)

Orientador:

Prof^a. Dr^a. Maria Betânia Galvão dos Santos Freire

(Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE/PPGCF)

DEDICATÓRIA

DEDICO

A Deus que estás nos céus, a minha mãe Maria Nunes Pereira, meu pai Matias Lopes dos Santos Filho (*In memoriam*) e ao meu irmão Raylan Nunes Lopes dos Santos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado o dom da vida e forças para continuar nesta luta.

A minha amada família, por sempre estar me apoiando, nos momentos bons e difíceis, em especial a minha mãe Maria Nunes Pereira.

A minha querida professora e Orientadora Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, pela paciência, dedicação e ensinamentos passados durante essa caminhada, principalmente pela minha dificuldade inicial de me adaptar à área. Meu muito obrigada.

A minha querida professora e coorientadora Maria da Penha Moreira Gonçalves, pela paciência e dedicação nos ensinamentos passados durante desenvolvimento desse trabalho.

As minhas amigas Moema e Raynara, pelos momentos de alegria e diversão que tivemos juntas, bem como toda a ajuda prestada no desenvolvimento desse trabalho. Aos meus colegas de laboratório Giovana, Patryk, Paulo, Lucca e Adriano, por toda ajuda nas análises laboratoriais. Aos colegas Cínthya e Flávio, pela ajuda no campo.

Aos Srs. Tiago e Renato, pela liberação da área para a realização dessa pesquisa. A Marcelo, por toda a ajuda e suporte durante as estadias na fazenda.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco e ao Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais por ser o ambiente em que a pesquisa foi realizada. A todos os professores, pelos seus ensinamentos que passaram. Aos demais funcionários, que, de alguma forma, contribuíram nessa caminhada.

Agradeço ao CNPq por todo o apoio financeiro, sem tal não seria possível o andamento desta pesquisa. Meu muito obrigada!

SANTOS, GRAZIELE NUNES LOPES DOS SANTOS, ATRIBUTOS DO SOLO EM FLORESTA PLANTADA DE MOGNO, SAF, PASTAGEM E MATA NATIVA EM GRAVATÁ, PE. 2021. Orientadora: Maria Betânia Galvão dos Santos Freire, Coorientadora: Maria da Penha Moreira Gonçalves.

RESUMO

O solo, funciona como uma fonte/dreno de carbono, que pode ter suas propriedades alteradas dependendo do manejo. Assim, o objetivo geral foi avaliar atributo químicos, físicos, biológicos e a serrapilheira do solo sob diferentes sistemas de uso, em Gravatá, PE, Brasil, como indicadores de mudanças na qualidade do solo. A pesquisa foi desenvolvida na Fazenda São Francisco, localizada na zona rural de Gravatá-PE, em áreas de Mata Nativa, Sistema Agroflorestal, Plantio de Mogno Africano e Pastagem. A amostragem do solo foi realizada nas camadas de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. Foram analisados os atributos químicos: pH, fósforo, cálcio, magnésio, potássio, sódio, alumínio, acidez potencial, soma de bases, hidrogênio, capacidade de troca de cátions efetiva e potencial, saturação por bases e por alumínio, carbono orgânico total, carbono nas frações ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina e carbono particulado e associado a minerais, calculando-se o estoque de carbono. Como atributos físicos, foram avaliados: densidade do solo, densidade das partículas, porosidade total, granulometria, argila dispersa em água e grau de flocculação. Os atributos biológicos foram avaliados na camada de 0-10 cm, sendo analisados: biomassa microbiana, respiração basal e quocientes metabólico e microbiano no solo. Também foram instaladas armadilhas terrestres nas áreas para coleta de insetos, para a análise da entomofauna edáfica dos solos, sendo os insetos identificados ao nível de ordem. Foi usado gabarito de 1 m² para a coleta de serrapilheira. No geral, para os atributos químicos, o teor de carbono orgânico foi o que mais proporcionou diferenciação entre as áreas, sendo maior na camada superficial, com a Mata Nativa apresentando os maiores teores e a área sob Monocultivo de Mogno, os menores. O estoque de carbono teve comportamento semelhante ao teor de carbono nas áreas avaliadas. A área de plantio de Mogno africano mostrou maior capacidade de abrigar uma maior diversidade insetos.

Palavras chaves: Atributos biológicos, manejo do solo, floresta, pastagem.

ABSTRACT

Soil works as a carbon source/sink, which can have its properties changed depending on management. Thus, the general objective was research was to evaluate the chemical, physical, biological and litter properties of the soil under different land use systems, in Gravatá, PE, Brazil. The research was carried out at Fazenda São Francisco, located in the rural area of Gravatá-PE, in areas of Native Forest, Agroforestry System, Mahogany Monoculture and Pasture. Soil sampling was carried out in layers of 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm. Chemical attributes were analyzed: pH, phosphorus, calcium, magnesium, potassium, sodium, aluminum, potential acidity, sum of bases, hydrogen, effective and potential cation exchange capacity, base and aluminum saturation, total organic carbon, carbon in the fulvic acid, humic acid and humin fractions, particulate carbon and associated with minerals, calculating the carbon stock. As physical attributes, the following were evaluated: soil density, particle density, total porosity, granulometry, clay dispersed in water, degree of flocculation. The biological attributes were evaluated in the 0-10 cm layer, being analyzed: microbial biomass, basal respiration and metabolic and microbial quotients in the soil. Terrestrial traps were also installed in the areas for collecting insects, for the analysis of the soil edaphic entomofauna, and the insects were identified at the level of order. A 1 m² template was used to collect litter. In general, for the chemical attributes, the organic carbon content was the one that provided the most differentiation between the areas, being greater in the superficial layer, with the Native Forest presenting the highest contents and the area under Mahogany Monoculture the smallest. The carbon stock had a similar behavior to the carbon content in the evaluated areas. The area under the Agroforestry System was the one that most resembled the reference ecosystem, showing that this system has provided improvements in the soil. For the soil entomofauna, the largest number of individuals was found in the Mahogany area. Litter was not differentiated in terms of carbon content between areas. A área de plantio de Mogno africano mostrou maior capacidade de abrigar uma maior diversidade insetos.

Key words: Biological attributes, soil management, forest, pasture.

SÚMARIO

1.	INTRODUÇÃO.....	12
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	Qualidade do solo	13
2.1.1	Atributos químicos.....	16
2.1.2	Atributos físicos.....	19
2.1.3	Atributos biológicos	20
2.1.4	Entomofauna do solo.....	23
2.2	Sistemas de uso do solo	25
2.2.1	Mata Atlântica.....	25
2.2.2	Pastagem	27
2.2.3	Sistemas florestais	28
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1	Caracterização da região	30
3.2	Caracterização das áreas de amostragem.....	30
3.3	Amostragem do solo	33
3.4	Avaliações.....	33
3.4.1	Atributos químicos.....	33
3.4.2	Atributos físicos.....	34
3.4.3	Atributos biológicos.....	35
3.4.4	Serrapilheira.....	35
3.4.5	Entomofauna do solo.....	35
3.5	Análises dos dados.....	37
4.	RESULTADOS e DISCUSSÃO.....	37
4.1	Atributos químicos	37
4.2	Atributos físicos	50
4.3	Atributos biológicos	56
4.4	Entomofauna do solo.....	63
5.	CONCLUSÕES.....	73
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** (A) e (B). Mapa de localização dos sistemas de uso do solo em Gravatá, PE, Brasil. Fonte: adaptado do Google Earth32
- Figura 2:** Disposição das armadilhas tipo pitfall dentro da parcela em cada cobertura vegetal na fazenda São Francisco em Gravatá-PE.....37
- Figura 3:** Detalhes das armadilhas pitfall instaladas nas parcelas em cada Sistema de uso do solo em Gravatá, PE, Brasil. (A) Mata Nativa, (B) Sistema Agroflorestal, (C) Pastagem e (D) Monocultivo de Mogno.....37
- Figura 4:** Teores médios (g kg^{-1}) de carbono orgânico total (COT) em solos sob os usos Mata Nativa, Pastagem, Sistema Agroflorestal e Plantio de Mogno Africano em Gravatá, PE, Brasil.....46
- Figura 5:** Estoque de carbono do solo nas camadas 0,0 - 10,0; 10,0 - 20,0; 20,0 - 40,0 e 40,0 - 60,0 cm sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal, Mogno Africano e Pastagem, em Gravatá, PE, Brasil.....56
- Figura 6:** Carbono da biomassa microbiana em áreas sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal, Plantio de Mogno Africano e Pastagem na camada de 0,0-10,0 cm, em Gravatá, PE, Brasil.....57
- Figura 7:** Respiração basal do solo em áreas sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal, Plantio de Mogno Africano e Pastagem na camada de 0,0-10,0 cm, em Gravatá, PE, Brasil.....59
- Figura 8:** Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) e quociente microbiano ($q\text{Mic}$) em áreas sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal, Plantio de Mogno Africano e Pastagem na camada de 0,0-10,0 cm, em Gravatá, PE, Brasil.....61
- Figura 9:** Análise dos componentes principais 1 e 2 de 32 atributos do solo, na profundidade de 0-60 cm, em Sistemas de uso do solo em Gravatá, PE, Brasil.....63
- Figura 10:** Número de artrópodes capturados em áreas sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal, Plantio de Mogno Africano e Pastagem na camada de 0,0-10,0 cm, em Gravatá, PE, Brasil.....64
- Figura 11:** Temperatura e umidade relativa média para o município de Gravatá, PE, Brasil no ano de 2021.....66
- Figura 12:** Sub-bosque do Mogno em Gravatá, PE, Brasil.....73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Processos benéficos derivados da atividade de micro-organismos no solo.....	23
Tabela 2: Grau de degradação das pastagens (adaptado de ZIMMER et al., 2012).....	29
Tabela 3: Descrição das áreas de estudo.....	32
Tabela 4: Cátions trocáveis do solo sob os usos Mata Nativa, Sistema Agroflorestal (SAF), Plantio de Mogno Africano e Pastagem nas camadas 0,0-10,0; 10,0-20,0; 20,0-40,0 e 40,0-60,0 cm, em Gravatá, PE, Brasil.....	39
Tabela 5: Atributos químicos do solo sob os usos Mata Nativa, Sistema Agroflorestal (SAF), Plantio de Mogno africano e Pastagem nas camadas 0,0-10,0; 10,0-20,0; 20,0-40,0 e 40,0-60,0 cm, em Gravatá, PE, Brasil.....	42
Tabela 6: Teores médios (g kg^{-1}) de carbono nas frações humina (HUM), ácidos húmicos (FAH), ácidos fúlvicos (FAF), particulado (CO_P) e associado a minerais (CO_{AM}) do solo sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal (SAF), Plantio de Mogno africano e Pastagem em Gravatá, PE, Brasil.....	47
Tabela 7: Estoque de serrapilheira e carbono da serrapilheira sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal (SAF) e Plantio de Mogno africano em Gravatá, PE, Brasil.....	50
Tabela 8: Composição granulométrica do solo nas camadas 0,0 - 10,0; 10,0 - 20,0; 20,0 - 40,0 e 40,0 - 60,0 cm sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal (SAF), Plantio de Mogno Africano e Pastagem, em Gravatá, PE, Brasil.....	52
Tabela 9: Atributos físicos e estoque de carbono do solo nas camadas 0,0 – 10,0; 10,0 – 20,0; 20,0 – 40,0 e 40,0 – 60,0 cm sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal (SAF), Plantio de Mogno Africano e Pastagem, em Gravatá, PE, Brasil.....	55
Tabela 10: Análise da entomofauna em áreas sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal, Plantio de Mogno Africano e Pastagem, em Gravatá-PE.....	67
Tabela 11: Índices de Shannon-Weaner, Limite de confiança, Margalef e Uniformidade calculados para cada cobertura vegetal.....	72

LISTA DE SIGLAS, ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ACP- Análise de componentes principais

ADA- Argila dispersa em água

Al³⁺- Alumínio trocável

(H+Al) - Acidez potencial

Areia F- Areia fina

Areia G- Areia grossa

Arg- Argila

C- Carbono

Ca²⁺- Cálcio trocável

CBM- Carbono da biomassa microbiana.

COT- Carbono orgânico total.

CPRM- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL.

CTCef - Capacidade de troca de cátions efetiva

CTCt- Capacidade de troca de cátions potencial

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.

GF- Grau de flocculação

H- Hidrogênio

K⁺- Potássio trocável

Mg²⁺- Magnésio trocável

Na⁺- Sódio trocável

qCO₂- Quociente metabólico.

qMIC- Quociente microbiano.

RBS- Respiração basal do solo.

SAF- Sistema agroflorestal.

1. INTRODUÇÃO

A determinação da qualidade do solo é de suma importância, pois, com base neste índice, é possível conduzir um sistema produtivo a um patamar de máxima/expressiva sustentabilidade, ao se analisar a qualidade de um solo (WENDDLING et al., 2005). Ao analisar a qualidade de um solo, primeiramente, deve-se considerar a sua múltipla funcionalidade, de modo que, no futuro, suas funções não sejam comprometidas (CUNHA NETO et al., 2018). A maneira com que o solo deve ser manejado envolve uma investigação baseada na forma da sua utilização. Somado a isso, o uso de atributos específicos para se chegar a uma conclusão assertiva a respeito do melhor manejo deve ser empregado. Uma das formas de se chegar a tal conclusão é investigar os indicadores de qualidade que possam ser determinados no solo. Os indicadores de qualidade do solo são propriedades que podem ser medidas (quantitativas ou qualitativas), permitindo avaliar e monitorar as mudanças sofridas em um ecossistema (KARLEN et al., 1997).

Os indicadores de qualidade do solo podem ser químicos, físicos e biológicos. Os indicadores físicos mais usuais e de maior relevância estão diretamente relacionados aos processos fundamentais, como, por exemplo, textura, densidade do solo, porosidade, resistência à penetração e estabilidade de agregados. E os indicadores químicos envolvem teor de matéria orgânica do solo, acidez do solo, o conteúdo de nutrientes, presença de elementos fitotóxicos etc. (ARAÚJO et al., 2012). E, como indicadores biológicos do solo, a biomassa microbiana e sua atividade são fundamentais, pois podem fornecer informações necessárias para determinar as técnicas adequadas a locais que precisam ser recuperados (SANTOS et al., 2013).

Dentre os indicadores mencionados, pode-se destacar a importância do C orgânico mantido no solo para a determinação da qualidade do mesmo, em razão da sua grande necessidade na manutenção da qualidade do ar em termos globais. O solo desempenha uma importante função no ciclo do C, já que o teor de C contido na atmosfera (CO_2) é influenciado pela entrada e saída do elemento no solo, que funciona como um reservatório de C (PAUSTIAN et al., 2016). Esse balanço de C entre o solo e a atmosfera é afetado diretamente pela forma que o solo é usado. Por

exemplo, a substituição da vegetação nativa para implantar sistemas de manejo e/ou cultivo pode provocar alterações na quantidade de C armazenado no solo (NANZER et al., 2019), em decorrência das operações de manejo adotadas e de sua intensidade.

Os compostos orgânicos atuam diretamente sobre os processos físicos, químicos e biológicos do solo, sendo fundamentais para a capacidade produtiva dos mesmos, atuando como fonte de C e nutrientes para micro-organismos e estando relacionados com a capacidade de troca de cátions, agregação, infiltração de água, entre outros atributos do solo (BAYER et al., 2004; BARROS, 2016; CUNHA NETO et al., 2018). Além disso, os micro-organismos atuam na decomposição de resíduos orgânicos e na maioria das transformações químicas dos elementos, dentre eles o C (BAYER; MIELNICZUCK, 2008). O C orgânico no solo é alterado quando o solo sofre algum tipo de perturbação e redução em sua atividade biológica, o que pode gerar degradação no solo (CUNHA NETO et al., 2018). No geral, presume-se que a avaliação do C do solo, somado aos demais atributos, é adequada no processo de indicação da qualidade do solo e definição de práticas necessárias para sua melhoria (SALES et al., 2018).

Dentro desse contexto, a presente pesquisa é fundamentada na hipótese de que há relação inversa entre a intensidade de uso de um solo e uma boa qualidade.

A pesquisa teve como objetivo geral avaliar a qualidade do solo em áreas sob diferentes usos e coberturas vegetais. Como específicos: I) caracterizar química, física e biologicamente o solo sob diferentes usos e coberturas vegetais: Mata Nativa (Floresta Atlântica), Sistema Agroflorestal (consórcio de Mogno Africano com bananeira), Plantio de Mogno Africano (Mogno Africano) e Pastagem, II) avaliar a fauna associada ao solo entre as áreas como indicativo de qualidade ambiental e III) mensurar os estoques de COT no solo e na serapilheira como indicador da qualidade do solo sob as diferentes coberturas vegetais.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Qualidade do solo

A qualidade do solo está diretamente relacionada com a capacidade do solo em suprir a vida vegetal e animal na Terra (DORAN; PARKIN, 1994). Mudanças ocorridas em solos, em função de alterações no uso ou por meio da adoção de diferentes sistemas de manejo, podem ser observadas e quantificadas ao se estudar a qualidade do solo. Alguns atributos dos solos são usados para monitorar estas mudanças e assumem importância no estabelecimento dos níveis de degradação ou podem indicar se estão ocorrendo melhorias no solo (REICHERT et al., 2009). Estes atributos podem, ainda, indicar a sustentabilidade de um sistema agropecuário (ARAÚJO, 2012).

Na definição e estudo destes atributos, algumas características devem ser levadas em consideração, como: sensibilidade ao manejo e ao clima, viabilidade econômica e facilidade na determinação dos mesmos em campo e laboratório (MENEZES, 2018). As pesquisas relacionadas à temática de avaliação da qualidade de solos, com o passar dos anos, evoluíram de forma significativa para se adequar aos objetivos, principalmente em áreas cultivadas (SPERA et al., 2009). E a forma como o solo é utilizado influencia nos seus atributos e, conseqüentemente, em sua qualidade (NICOLOSO, 2005).

Tótola e Chaer (2002) apontam alguns critérios que devem ser considerados quando se visa utilizar um indicador para a qualidade do solo:

- Devem-se estudar as características físicas, químicas e biológicas, considerando que quanto mais essas características são pesquisadas em consonância, mais pode-se inferir sobre a qualidade do solo;
- A importância ecológica e a variabilidade natural dos indicadores devem ser conhecidas;
- Devem ter sensibilidade a longo prazo em relação ao manejo do solo e do clima, bem como devem ser resistentes às flutuações a curto prazo das mudanças climáticas ou desenvolvimento da cultura;
- Devem possibilitar sua medição acurada e precisa da ampla variação em tipos e condições de solos; e
- Devem ser de determinação simples e de baixo custo, para permitir que grande número de análises possa ser realizado.

Ainda de acordo com estes mesmos autores, definir a qualidade ideal de um solo pode ser interpretado como algo subjetivo, pois o “ideal” pode variar, devido aos vários tipos de solo e à grande quantidade de culturas existentes, sendo, então, necessárias metodologias que sirvam de subsídio para se interpretar e comparar estas situações.

Dentre as consequências da má utilização do solo, têm-se a desestruturação e a compactação, a redução da fertilidade, a oxidação acelerada da matéria orgânica e a diminuição da quantidade e diversidade de organismos do solo (LEITE et al., 2010). O que leva a perdas significativas da biodiversidade (fauna e flora), sedimentação de rios e reservatórios de água, com decaimento das atividades econômicas e qualidade de vida populacional (ARAÚJO, 2012).

Doran e Parkin (1994) destacaram que os atributos do solo podem ser divididos em físicos, químicos e biológicos. Estes mesmos autores ainda apontaram os principais atributos que podem ser estudados dentro de cada divisão:

- Físicos:
 - Estrutura do solo;
 - Infiltração de água e densidade do solo; e
 - Capacidade de retenção de água.
- Químicos:
 - pH;
 - Condutividade elétrica; e
 - Nutrientes e contaminantes no solo.
- Biológicos:
 - Biomassa microbiana;
 - Respiração basal; e
 - Atividade enzimática.

Os indicadores do solo também podem ser agrupados em: efêmeros, intermediários e permanentes. De acordo com Islam e Weil (2000), os efêmeros são aqueles em que a mudança ocorre de forma rápida e estão relacionados ao manejo (pH, nutrientes do solo, porosidade do solo e teor de água no solo). Os intermediários são influenciados pelos processos que ocorrem no solo (matéria orgânica, estabilidade de agregados do solo e biomassa microbiana). Os

permanentes são associados ao solo (profundidade, granulometria e mineralogia do solo). Os mais indicados para monitorar a qualidade do solo são os intermediários, por serem mais sensíveis às mudanças de manejo (NICOLOSO, 2005).

Contudo, a prática de cuidar/conservar o solo ainda é pouco difundida entre pequenos e médios produtores, pela falta de informação sobre as interferências do solo na produção ou produtividade da cultura florestal/agrícola. A falta de respostas/retornos financeiros a curto prazo sobre a produtividade, geralmente, diminui o interesse do produtor em realizar análises no solo, mudando o foco da base de sustentação, o solo, para cuidar apenas da planta. Associada a esta situação, destaca-se, também, a falta de assistência especializada na orientação correta do uso do solo pelo produtor, bem como estudos desenvolvidos nas condições particulares de solo e clima de cada região. Assim, além de se estudar os indicadores biológicos, físicos e químicos do solo e C da serapilheira, com esta pesquisa, busca-se demonstrar a qualidade do solo sob os diferentes usos da terra adotados na área.

2.1.1 Atributos químicos

Mesmo com a investigação da estrutura física do solo, os resultados ainda são insuficientes para identificar sua capacidade produtiva, como a dificuldade do solo em manter, de forma contínua, a vegetação que o recobre por deficiências nutricionais, refletidas em sua fertilidade. Parte-se para uma averiguação mais aprofundada do solo, além dos atributos físicos, relacionada à fertilidade do solo. Alguns estudos, como os de Giacomo et al. (2015), Bonini et al. (2016), Lourenzi et al. (2016), Freitas et al. (2017) e Cunha Neto et al. (2018), demonstram a necessidade de se entender, também, os atributos químicos do solo para a definição de sua qualidade.

A avaliação da fertilidade do solo possibilita saber a identificação e quantificação dos elementos essenciais e não essenciais às plantas, permitindo determinar o período adequado, a quantidade e como estes nutrientes devem ser aplicados para suprir as necessidades de produção (BISSANI et al., 2004).

Como para os atributos físicos, alterações no uso da terra também promovem mudanças no fluxo de matéria orgânica e no ciclo biogeoquímico dos elementos, mudando a capacidade produtiva desses ambientes (MAFRA et al., 2008). Em ambientes tropicais úmidos, de modo geral, os solos têm baixa fertilidade, sendo a matéria orgânica a fonte de energia para organismos e plantas, por meio da liberação de nutrientes (CARNEIRO et al., 2013). No entanto, para a liberação dos elementos presentes na matéria orgânica, é preciso que haja sua mineralização, conduzida pelos micro-organismos presentes no solo (HERRERA et al., 1978; LUIZÃO et al., 2004) que atuam na ciclagem de nutrientes nos solos.

Desse modo, pode-se considerar a matéria orgânica como um dos principais componentes do solo, por estar diretamente relacionada à fertilidade e, conseqüentemente, à produtividade das culturas. Além disso, também atua nas demais propriedades químicas e físicas do solo, como capacidade de troca de cátions, pH, densidade do solo, porosidade e estabilidade dos agregados, sendo um excelente indicador de qualidade em diferentes sistemas de uso e manejo (NASCIMENTO et al., 2009).

A matéria orgânica se apresenta no solo de diversas formas, desde resíduos orgânicos recentemente adicionados até resíduos que já sofreram mudanças ocasionadas pela atuação dos micro-organismos, ou seja, a fração húmica. Já a fração não húmica da matéria orgânica são todos os materiais oriundos de várias atividades, que são adicionados ou produzidos no solo e que se encontram em estágios anteriores à fração húmica (ERNANI, 2008).

Por causa da matéria orgânica, o solo também é considerado um importante componente no ciclo biogeoquímico do C. Em comparação com outros componentes que também podem estocar C, o solo apresenta desempenho superior, armazenando cerca de quatro vezes mais C em relação à biomassa vegetal e três vezes mais do que a atmosfera (NADAL-ROMERO et al., 2016). O solo pode, ainda, funcionar como uma fonte ou dreno de C, dependendo das condições ambientais, taxa de deposição e decomposição de restos vegetais (CERRI et al., 2008; ARAÚJO et al., 2011).

O C estocado no solo em diferentes ambientes é estimado em alguns estudos: em solos sob florestas, Dixon et al. (1994) verificaram valores variando

entre 100-787 Pg de C, enquanto Scharpenseel (1997) encontrou cerca de 500 Pg em solo sob pastagens e Six et al. (2000) verificaram 170 Pg de C em solo sob cultivo agrícola. No território brasileiro (8,5 milhões de km²), estima-se que o estoque de C está em torno de $36,4 \pm 3,4$ Pg na camada de 0 a 30 cm de solo (BERNOUX, 2002), o que corresponde a aproximadamente 40% de todo o C armazenado nos solos da América Latina (BERNOUX; VOLKOFF, 2006). Entretanto, analisar apenas as modificações nos estoques de C no solo ainda tem suas limitações, pelas dificuldades em detectar pequenas mudanças (OLIVEIRA, 2018).

Também é necessário realizar o estudo das frações da matéria orgânica, já que a mesma está relacionada a vários processos de natureza física, química e biológica no solo e o aumento em seu estoque no solo possibilita maior captação de C (ANTUNES, 2017; CUNHA NETO et al., 2018). Desequilíbrios que afetem a matéria orgânica, como alterações nas taxas de decomposição e em seu suprimento, podem prejudicar solos sob cultivos e, conseqüentemente, levar à degradação, pois a sustentabilidade de agroecossistemas está ligada à capacidade de reter C (ROSCOE; MACHADO, 2002; CUNHA NETO et al., 2018).

Em ecossistemas florestais plantados e naturais, a contribuição da matéria orgânica ao solo e à ciclagem de nutrientes são provenientes, principalmente, da deposição da biomassa da parte aérea, com contribuição da biomassa radicular na dinâmica da matéria orgânica e de nutrientes que estão presentes nesses sistemas (MENEZES et al. 2010). Em pesquisa sobre produção de serapilheira, ressalta-se a importância deste recurso na conservação e manutenção natural dos ecossistemas florestais (COSTA et al., 2010).

VIDALLET (2018) destacou a importância da serapilheira para as florestas, pois promove a passagem de nutrientes da vegetação para o solo e o retorno destes para as plantas. Ela corresponde à parte depositada na superfície do solo em áreas florestais, composta por folhas, galhos, estruturas reprodutivas e miscelânea, exercendo funções que atuam na dinâmica e equilíbrio dos ecossistemas (COSTA et al., 2010). Isto é importante para a manutenção da produtividade das florestas naturais e se relaciona com a eficiência nos processos de ciclagem de nutrientes (CABIANCHI, 2010). Conhecer a quantidade e qualidade da serapilheira depositada

é crucial, permitindo entender a ciclagem de nutrientes no campo, sendo um dos fatores importantes para que se mantenha um manejo sustentável dos solos.

2.1.2 Atributos físicos

Para o entendimento da forma como o solo mantém de forma efetiva os serviços ambientais ou para a avaliação da estrutura do solo, as ferramentas que podem ser utilizadas para tal finalidade são os indicadores físicos do solo (RIGATTO et al., 2005). De acordo com Ferreira (1993), os constituintes sólidos do solo interagem com a água e o ar, sendo que sua interação com o sistema poroso do solo vai depender do tipo de solo e do manejo ao qual o solo está sendo submetido.

Alguns autores mencionam indicadores mais utilizados no estudo físico do solo, como: profundidade efetiva de enraizamento, porosidade total, distribuição e tamanho de poros, distribuição de partículas, densidade do solo, resistência do solo à penetração, estabilidade de agregados e condutividade hidráulica (SINGER; ERWING, 2000; SANTOS et al., 2011). De acordo com Hillel (1998), não apenas a presença e a concentração de nutrientes irão ajudar no desenvolvimento vegetal, mas as propriedades mecânicas e térmicas também devem ser levadas em consideração ao se estudar o solo.

Do ponto de vista físico, o solo é resultante de um agrupamento de partículas primárias (areia, silte e argila), por meio da floculação, que é auxiliada pelas raízes, comprimindo essas partículas e formando os agregados ao penetrarem no solo (VEZZANI; MIELNICZUK, 2011). E os agregados do solo podem ser de diversos tamanhos, sendo subdivididos em microagregados e macroagregados. Estima-se que o primeiro grupo seja formado pela junção das partículas primárias com hifas de fungos e substâncias orgânicas, enquanto o segundo é resultante da junção de microagregados por meio de raízes das plantas (ANDREOLA et al., 2000; BRADY; WEIL, 2013).

No solo, a estabilização dos agregados é dependente do contínuo sortimento de matéria orgânica, de forma que seja suficiente para compensar sua perda pela decomposição (LOSS et al., 2009). Esta perda de C do solo é maior em regiões de altas temperaturas, quando os micro-organismos atingem seus valores mais elevados de atividade decompositora (COSTA et al., 2008). Por serem sensíveis às

práticas de manejo, qualquer interferência nos agregados do solo pode levar à degradação, sendo fator prejudicial às atividades agrícolas e florestais.

As práticas de manejo podem interferir na produtividade das culturas ao promoverem mudanças na disponibilidade de água, na passagem de oxigênio, na resistência do solo à penetração das raízes etc. (NICODEMO et al., 2018). Por outro lado, a compactação do solo, proveniente do excesso de animais ou de máquinas na área, reduz a atividade biológica e a macroporosidade do solo, dificultando a penetração das raízes, água e nutrientes (FREDDI et al., 2007; JIMENEZ et al., 2008).

Assim, os atributos físicos do solo se tornam ferramentas importantes e têm sido utilizados na manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas (SPERA et al., 2009). O uso desses atributos no estudo da qualidade do solo permite avaliar a estrutura do solo (STEFANOSK et al., 2013).

2.1.3 Atributos biológicos

Além dos atributos físicos e químicos comumente utilizados na avaliação de solos, os atributos biológicos têm despertado interesse recentemente. Cerca de 0,5% do espaço poroso do solo é ocupado por micro-organismos, sendo a abundância deles maior na rizosfera (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Os micro-organismos estão presentes desde a formação do solo, participando ativamente da gênese dos mesmos, seja como colonizadores primários das rochas, seja na agregação ou, também, por meio de reações que contribuem para o intemperismo das rochas e dos solos.

A forma de se obter informações sobre a biologia do solo é por meio da análise dos indicadores biológicos, sendo estes de suma importância para se saber sobre as funções-chaves do solo e de que jeito o mesmo tem capacidade de ciclar e armazenar nutrientes, além de auxiliar no estabelecimento mais seguro entre o uso do solo e a sustentabilidade (TÓTOLA; CHAER, 2002). No entanto, pela complexidade destes estudos, não apenas um indicador deve ser estudado, e sim um conjunto de indicadores e suas inter-relações (CARNEIRO et al., 2009).

Os reflexos de um solo muito explorado e ambientalmente esgotado podem ser observados pelas mudanças na distribuição, diversidade e abundância da

comunidade microbiana (SANTANA et al., 2017). A substituição da vegetação nativa por um sistema de cultivo convencional, os incêndios e queimadas, o pisoteio humano e animal, o manejo inadequado de pastagens e o tráfego excessivo de máquinas são exemplos de situações nas quais a microbiota do solo é perturbada. Além disso, alterações que venham a ocorrer nas comunidades microbianas também podem alterar os estoques de C no solo (SIX et al., 2006), uma vez que os micro-organismos estão associados à disponibilização do C em ambiente natural.

Os benefícios promovidos pela interação dos micro-organismos com o solo e as plantas são apresentados na (Tabela 1), de Tótola e Chaer (2002).

Por ser bastante variável e sensível às alterações de uso do solo, a biomassa microbiana é um dos melhores indicadores de qualidade do solo, regulando as transformações e acúmulo de nutrientes e, ainda, é uma fração lábil da matéria orgânica (HOFFMANN et al., 2018). Diretamente relacionada à matéria orgânica do solo, a biomassa microbiana poder ser considerada um bioindicador de qualidade do solo (TÓTOLA; CHAER, 2002). Representa a fração viva da matéria orgânica, sendo responsável pelos processos bioquímicos e biológicos no solo, sendo alterada pelas mudanças ocorridas no meio (BALOTA et al., 2003). Sua origem é biológica, sendo proveniente de animais e vegetais, além de ser fonte de N, P, S e outros nutrientes para as plantas (KOUNO et al., 2002).

Tabela 1: Processos benéficos derivados da atividade de micro-organismos no solo (Adaptado de Tótola e Chaer, 2002).

Processo	Agente/causa	Consequência
Decomposição de resíduos de plantas e material orgânico.	Produção de enzimas intra e extracelulares.	Síntese de húmus, mineralização de N, P, S.
Aumento na disponibilidade de P, Mn, Fe, Zn e Cu para as plantas.	Fungos micorrízicos. Populações de micro-organismos decompositores. Produção de agentes quelantes orgânicos. Reações de oxidação e redução. Solubilização de fosfatos.	Maior produtividade primária. Aumento dos fluxos de matéria e de energia no ecossistema.
Fixação biológica de N.	Bactérias fixadoras de vida livre e cianobactérias. Microrganismos associativos. Microrganismos simbióticos com leguminosas e não leguminosas.	Aumento da disponibilidade de N para as plantas.
Promoção do crescimento de plantas.	Bactérias PGPR e fungos micorrízicos. Produção de hormônios de crescimento de plantas. Proteção contra patógenos de raiz. Aumento na eficiência de absorção e no uso de nutrientes.	Maior produtividade primária. Aumento dos fluxos de matéria e de energia no ecossistema.
Controle biológico de doenças de plantas, nematoides, insetos e plantas invasoras.	Predação e parasitismo de nematoides e insetos por fungos e bactérias. Competição direta e indireta por nutrientes na rizosfera Produção de antibióticos.	Equilíbrio entre populações de macro e micro-organismos em um dado ecossistema.
Biodegradação de pesticidas sintéticos e outros contaminantes.	Cometabolismo, destoxificação, consórcios microbianos.	Redução da persistência de compostos tóxicos no ambiente.
Aumento na tolerância de plantas ao déficit hídrico.	Associações micorrízicas.	Manutenção da cobertura vegetal sob condições hídricas adversas.
Agregação do solo.	Produção de mucigel por bactérias e hifas de fungos e actinomicetos que atuam na ligação das partículas de solo.	Redução da erosão. Melhor infiltração de água no solo. Melhor aeração do solo.

Por outro lado, a respiração basal do solo é conceituada como a soma de todas as funções metabólicas em que CO_2 é produzido, incluindo as atividades metabólicas resultantes dos micro-organismos, raízes vivas e insetos (SILVA et al., 2007). A atividade dos micro-organismos do solo é considerada um atributo importante, sendo a respiração do solo um sensível indicador de composição dos resíduos, do giro metabólico do C orgânico do solo e de alterações no ecossistema (PAUL et al., 1999), e os resultados desta análise devem ser interpretados com atenção. A maior respiração basal do solo indica que a taxa de decomposição desse solo é alta. Dependendo da origem dessa alta taxa de respiração do solo, pode-se inferir se isso é benéfico ou maléfico ao ambiente. Alguns defendem a premissa de que a alta taxa de respiração dos micro-organismos é um bom indicativo, já que a decomposição é uma das formas de disponibilização de nutrientes para as plantas (TÓTOLA; CHAER, 2002).

Agrupando-se o C da biomassa microbiana e a respiração basal, são calculados os quocientes metabólico e microbiano, que também são usados na avaliação biológica do solo. O primeiro é associado à respiração basal do solo, obtido pela divisão da respiração basal do solo pelo C da biomassa microbiana. Já o segundo é resultante da divisão do C da biomassa microbiana pelo C orgânico total, sendo este um dos indicadores da qualidade da matéria orgânica (TÓTOLA; CHAER, 2002).

2.1.4 Entomofauna do solo

Em função da importância dos indicadores biológicos na identificação da qualidade do solo, destaca-se a necessidade de integrar estes atributos nas análises de avaliação de solos. Além dos micro-organismos, existem também outros organismos biológicos que fazem parte da fauna e vivem acima do nível do solo. Nesse grupo, destacam-se os insetos, que estão relacionados com o ser humano em diversos âmbitos e podem atuar como indicadores ecológicos, como, por exemplo, de poluição, fragmentação de habitats e variações climáticas (BRITTEZ et al., 2003).

Por causa de práticas resultantes de atividades humanas mal executadas no ambiente, seja por meio de serviços agrícolas ou florestais, a abundância e a

diversidade da fauna do solo podem ser prejudicadas ao longo do tempo (CROTTY et al., 2015).

No solo, a fauna exerce uma importante função, pois a mesma pode atuar na manutenção e na capacidade produtiva do solo, influenciando na decomposição e mineralização dos resíduos orgânicos (GUTJAHR et al., 2019). Por exemplo, estes animais podem melhorar a estrutura física do solo ao atuarem na incorporação da matéria orgânica, na translocação e/ou concentração de nutrientes (GUERRA et al., 1982). Por se encontrarem em grande quantidade na natureza e em variadas regiões geográficas, a utilização desses animais como bioindicadores da qualidade do solo se torna cada vez mais frequente.

Pela sensibilidade às mudanças ocorridas no ambiente e por se enquadrar no componente biótico do solo, a fauna edáfica também pode ser considerada como um dos principais indicadores biológicos da qualidade do solo (MATOS et al., 2019; AQUINO et al., 2020), sendo considerada um indicador de sustentabilidade. A análise desses indicadores poderá permitir a compreensão das possíveis perturbações que estejam ocorrendo no solo e contribuir para a adoção de práticas de manejo que possam reduzir o efeito dessas perturbações.

Ao se modificar o componente vegetacional de um ambiente, por determinado espaço de tempo, o solo ficará desprotegido e isso poderá ser uma das situações que irá influenciar significativamente na abundância e na diversidade da fauna do solo (BARETTA et al., 2007), especialmente para os animais que são dependentes da serapilheira (SILVA; JUCKSCH; TAVARES, 2012). Este tipo de perturbação, por exemplo, altera a disponibilidade de alimentos, provoca variações climáticas mais acentuadas no ambiente em questão, como o aumento da temperatura, da insolação, redução da umidade e outros (GUERRA et al., 1982).

Em relação à fauna edáfica, a mesma é dividida em três grupos principais em relação ao tamanho: microfauna (<0,2 mm), mesofauna (0,2-2,0 mm) e macrofauna (>2,0 mm) (SWIFT et al., 1979). Os grupos geralmente avaliados são a meso e macrofauna. Dentre este filo, pode-se citar os insetos, animais que são classificados como integrantes da macrofauna, sendo sua visualização possível a olho nu, tornando a amostragem desse grupo relativamente mais fácil (WINK et al., 2005). Fazer o inventário e monitoramento da variedade de insetos e as alterações em

suas quantidades é essencial para se entender a biodiversidade de um ecossistema e mudanças em função do uso (ALVES et al., 2008).

Pela grande quantidade de insetos existente no ambiente, torna-se inviável realizar a contagem de toda a população, sendo empregados levantamentos por meio de amostragens e estimativas (TRIPLEHORN; JONNISON, 2011). Como a maioria dos insetos são predadores, este grupo taxinômico é considerado como formado por organismos benéficos na sustentabilidade ecológica, sendo coletados facilmente por armadilhas do tipo "pitfall" (DUELLI; OBRIST, 2003). Como os demais indicadores biológicos de qualidade do solo, o conhecimento da entomofauna de uma determinada área não deve ser subestimado.

2.2 Sistemas de uso do solo

2.2.1 Mata Atlântica

Conhecida por seu elevado grau de endemismo e biodiversidade, a Mata Atlântica é uma importante formação florestal que vem sofrendo graves ameaças, apresentando, aproximadamente, cerca de 12,4% da sua cobertura florestal original, resultado do uso e exploração desordenada dos recursos naturais (OLIVEIRA; ENGEL, 2017; FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE, 2021). A mesma é considerada a segunda maior florestal pluvial tropical existente no continente americano (BARROS et al., 2020).

De acordo com o Decreto Federal 750/93 (BRASIL, 1993), a Floresta Atlântica possui, inseridos em seu domínio, os tipos de formações vegetais: Floresta Ombrófila Densa Atlântica, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, manguezais, restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste.

A fragmentação florestal é uma das principais causadoras de perda de habitats, devido aos impactos causados à biodiversidade local. O debate dessa temática cresceu nos últimos anos notadamente, quando se consideram os processos ecossistêmicos, como dispersão, composição florística, estrutura e diversidade de espécies existentes nos remanescentes dos ecossistemas naturais. Além disso, a exploração acentuada deste bioma pode provocar danos irreparáveis

à estrutura e fertilidade do solo, uma vez que não se faz o manejo correto de uso do solo.

No entanto, apesar da fragmentação da Floresta Atlântica, a mesma detém grande variedade faunística e florística, estimando-se cerca de 20.000 espécies vegetais e uma grande quantidade de animais, como mamíferos, aves, anfíbios, répteis e peixes (CAMPANILI; SCHAFFER, 2010), incluindo-se os insetos. Ocupa extensão territorial de cerca de 1.300.000 km², estando localizada na região litorânea brasileira, desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul (ALMEIDA, 2016). Para trabalhos de recuperação da Floresta Atlântica, cada vez mais, têm sido utilizados resultados provenientes de pesquisas sobre solo e serapilheira no monitoramento do processo de restauração dessas florestas (OLIVEIRA; ENGEL, 2017).

Como citado anteriormente, em geral, solos em ambientes tropicais apresentam baixa fertilidade, sendo a matéria orgânica de importância fundamental para o ambiente, por meio da liberação de seus nutrientes (CARNEIRO et al, 2013). Os elementos químicos são reciclados por ciclos biogeoquímicos, responsáveis pela disponibilização de nutrientes no solo (ODUM, 2004). Assim, elementos essenciais, como nitrogênio, fósforo, cálcio, entre outros, percorrem esses ciclos, unindo todos os componentes bióticos e abióticos (ROSA et al., 2003).

Em ambientes de florestas nativas, estes ciclos são responsáveis pelo suprimento nutricional dos organismos vivos presentes, vegetais e animais. Contudo, o mau uso do solo ou a retirada da vegetação podem prejudicar a fixação de mudas e causar restrição na disponibilidade de sementes e no estabelecimento de plantas lenhosas. Alguns agentes causadores dessas situações são as queimadas e o pousio curto, contribuindo para a redução da fertilidade do solo, da capacidade de retenção de água e aumento da compactação do solo (CHAZDON, 2012).

Essas são as condições de um ambiente perturbado, no entanto, uma floresta não explorada tende a estar em equilíbrio, podendo ser um verdadeiro ecossistema de referência, quando se visa analisar a qualidade do solo comparativamente a áreas sob outros Sistemas de uso do solo. Pesquisas nestes ambientes podem demonstrar a importância e necessidade de mantê-los conservados, uma vez que

seus benefícios ecossistêmicos são imensuráveis não apenas para o meio ambiente, como também para a sociedade.

2.2.2 Pastagem

Pela alta demanda de alimentos com base na produção de carnes, extensas áreas produtivas são utilizadas com vegetação para alimentação animal. Ocupando dois terços de toda área agricultável mundial, a pastagem é a principal forma de uso da terra (FAO, 2015). No território brasileiro, a pastagem é a principal forma de ocupação da terra, abrangendo cerca de 172 milhões de hectares (BRASIL, 2015).

Para implantação de áreas de pastagem, após o corte da vegetação, os resíduos florestais são queimados. Com o depósito de nutrientes nas cinzas, a fertilidade natural do solo é aumentada e isto é, inicialmente, um fator influenciador para o estabelecimento das pastagens (ARAÚJO et al., 2011). No entanto, com a ocupação extensiva da pecuária, dificilmente é adotado um manejo adequado do solo após a sua implantação, o que provoca a degradação das pastagens com o tempo (MAZZETO et al., 2015).

Quando bem manejadas, as pastagens podem ser produtivas por mais tempo, sendo, então, a forma mais econômica na alimentação de ruminantes (CARVALHO et al., 2017). Por outro lado, com o manejo inadequado, as pastagens podem sofrer processos de degradação e, conseqüentemente, ficar improdutivas. O processo de degradação de uma pastagem ocorre de forma gradual, diminuindo a sua capacidade produtiva. Isso gera a diminuição da produção de forragem, mesmo as condições ambientais estando favoráveis ao desenvolvimento da pastagem, a mesma não tem ganho em questões de qualidade e quantidade (SOARES FILHO et al., 1992), sendo esse tipo de ambiente propício ao aparecimento de espécies invasoras.

O pasto extensivo é a principal forma de alimentação na produção de ruminantes no País e a degradação dessas áreas em várias regiões do País tem reduzido a produtividade, afetando a sustentabilidade e rentabilidade da atividade pecuária (SILVA; MEDINA; JOLOMBA, 2017). A queda na capacidade de suporte de animais de uma pastagem é afetada pela redução da fertilidade do solo, muitas vezes, gerando o abandono dessas áreas para a implantação de novas pastagens

em outras áreas (OLIVEIRA et al., 2013). Com o tempo, as forrageiras utilizadas não conseguem manter o desenvolvimento por diversos motivos, entre eles: consumo excessivo de massa verde pelo animal, falta de reposição de nutrientes, acidificação do solo, perda de matéria orgânica e compactação do solo (OLIVEIRA et al., 2013).

Em relação à recuperação de pastagens, existem várias técnicas que podem ser utilizadas, sendo elas diretas e indiretas. CARVALHO et al. (2017) explicam como cada técnica funciona. As técnicas diretas geralmente são empregadas em graus iniciais de degradação, sendo exemplificadas pelas práticas mecânicas e químicas. Já as técnicas indiretas, empregadas em graus elevados de degradação, consistem na consorciação da pastagem com outras culturas. Não é fácil identificar o grau de degradação de uma pastagem. Zimmer et al. (2012) descrevem uma série de critérios para classificar o grau de degradação de uma pastagem (Tabela 2).

Tabela 2: Grau de degradação das pastagens (adaptado de ZIMMER et al., 2012)

Grau	Característica	Forma de recuperação
1	Redução na produção da forrageira, sendo o grau mais fácil de ser identificado porque a capacidade de lotação animal é reduzida com o tempo de exploração, como 75% a 100% do potencial de produção de forragem, com todo o solo ocupado por plantas.	Adubação, controle de plantas invasoras e sobressemeadura da espécie.
2	Características do grau 1, com redução da cobertura do solo pelo pasto, pouca emergência de plantas novas. As plantas ocupam de 50% a 75% da cobertura do solo.	Adubação, controle de plantas invasoras e sobressemeadura da espécie.
3	Características do grau 2, com surgimento de plantas invasoras e início do processo erosivo, tanto pelo pisoteio animal como a exposição do solo pela ausência de plantas forrageiras. As plantas ocupam 25% a 50% da cobertura do solo.	Recuperação direta com parcial destruição da vegetação.
4	Características do grau 3, com demasiado aumento da população das plantas invasoras, colonização do pasto por gramíneas nativas e plantas arbustivas. Menos de 25% da cobertura do solo é coberta por plantas.	Recuperação direta com total destruição da vegetação.

2.2.3 Sistemas florestais

Grande parte da extensão territorial do planeta é recoberta por vegetação, provocando efeitos benéficos sobre o clima e recursos hídricos, refletindo em grande biomassa e fixação de C (SOUSA, 2019). Dentre essa vegetação, encontram-se

áreas de vegetação nativa, cultivos agrícolas e pastagens, além de sistemas que associam estes dois tipos de vegetação em Sistemas florestais. Estes são considerados alternativos no uso dos recursos naturais e provocam pouca degradação ao meio ambiente (CANUTO, 2017). Atualmente, a cobertura vegetal do planeta vem sofrendo reduções, sendo essas provocadas pela exploração extensiva da agropecuária, queimadas, supressão da vegetação, entre outras atividades exploratórias.

Visando o aproveitamento e uso desses solos de forma sustentável, bem como uma oportunidade de geração de renda, sistemas de cultivo de espécies vegetais consorciadas com espécies agrícolas e gramíneas, ou seja, “Sistemas Agroflorestais”, estão sendo cada vez mais empregados nesses ambientes por produtores rurais. Além disso, plantações de apenas uma espécie florestal têm, cada vez mais, sido plantadas, face aos benefícios que as árvores impõem ao solo. A agricultura de forma sustentável deve atender à crescente demanda da produção de alimentos.

Um das principais vantagens das árvores são as melhorias que elas provocam no solo ao promoverem a ciclagem de nutrientes e proteção do solo contra a lixiviação e erosão (SOUSA, 2019). Possuem potencial sustentável por causa da conservação das águas e do solo, possibilitam uma adequação à pequena produção, recuperação de fragmentos e matas ciliares e conservação da biodiversidade (ABDO et al., 2008). Além de reduzir a degradação, as espécies florestais melhoram as condições físicas e químicas do solo por meio do aumento na quantidade de matéria orgânica e são economicamente viáveis porque a produção por unidade de área é alta (MATTOS, 2010; BOLFE, 2020).

Os sistemas agroflorestais, por exemplo, abordam de forma integrada a utilização de benefícios interativos, combinando agricultura com pastos e tecnologias florestais para a criação de um sistema de uso da terra mais diversificado, intensificando também a eficiência na captura de água, luz e nutrientes (HAILESELASIE et al., 2012). Sendo ainda possível a captura do dióxido de C atmosférico (CO₂), podendo ser armazenado nas plantas, raízes, serapilheira e no solo (NAIR, 2011). O sistema agroflorestal é um sistema que integra a floresta com culturas agrícolas e/ou animais, visando a recuperação de áreas degradadas para

sua inclusão no sistema produtivo, sendo que, ao intensificar o uso com manejo adequado dessas áreas, podem contribuir para redução da perda de nutrientes e incremento de C no solo (MAIA et al., 2006; LEITE et al., 2013).

Por vezes, uso correto do ambiente é omitido durante a implantação de um sistema agroflorestal, uma vez que há uma visão incorreta de se obter apenas o retorno financeiro ao se investir nesse tipo de atividade, sem levar em consideração os ganhos ecológicos (SANTOS, 2014). Apesar dos benefícios, como todo empreendimento, pode-se ter dúvidas e incertezas em relação ao retorno que se recebe. Hoffmann (2013) afirma que, apesar do consenso de que os SAF's apresentam vantagens ecológicas e que podem reduzir os riscos de investimento em uma só cultura, constata-se que se constituem em sistemas complexos que apresentam riscos e incertezas, assim como outros negócios em atividades agrícolas e florestais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da região

A vegetação na região de estudo tem formação vegetal do tipo subcaducifólia e caducifólia, características da Região Agreste de Pernambuco. O clima é do tipo tropical chuvoso, com verão seco. A estação chuvosa se inicia em janeiro/fevereiro com término em setembro, podendo se adiantar até outubro. Os tipos de solo mais ocorrentes são os Planossolos (CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2005). A temperatura média anual no município é de 22 °C e a precipitação média anual é de 725 mm.

3.2 Caracterização das áreas de amostragem

O trabalho foi conduzido na Fazenda São Francisco, de propriedade particular, localizada na zona rural do município de Gravatá-PE, com aproximadamente 80 ha de extensão, entre as coordenadas 08°21'39.29" de latitude Sul e 35°36'6.92" de longitude Oeste (Figura 1). Na amostragem, foram usados

quatro sistemas de uso do solo: Mata Nativa, Sistema Agroflorestal, Plantio de Mogno Africano e Pastagem. A descrição das áreas de estudo está na Tabela 3.

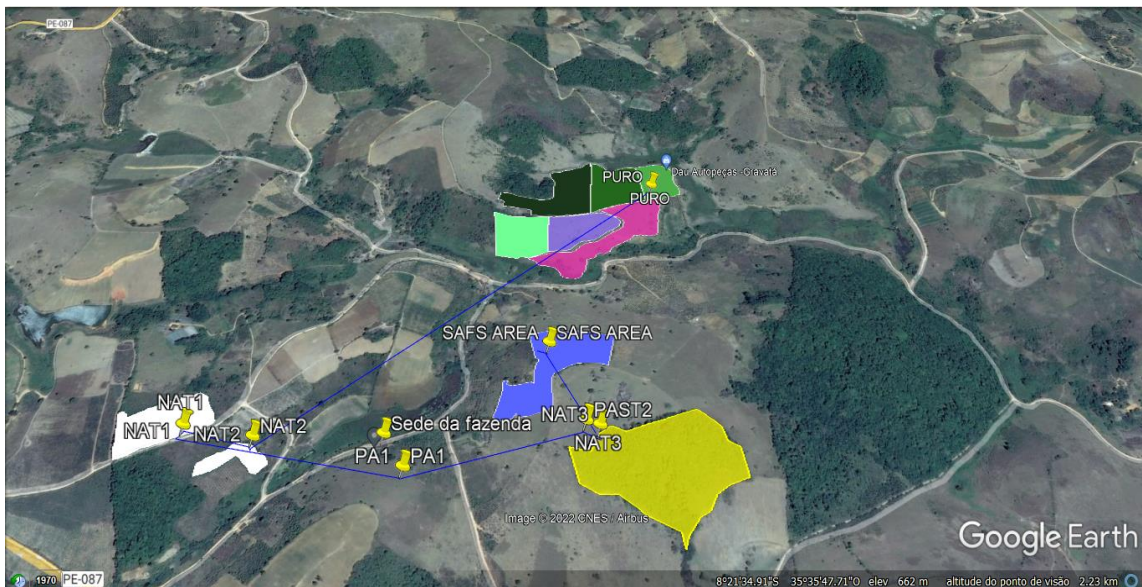
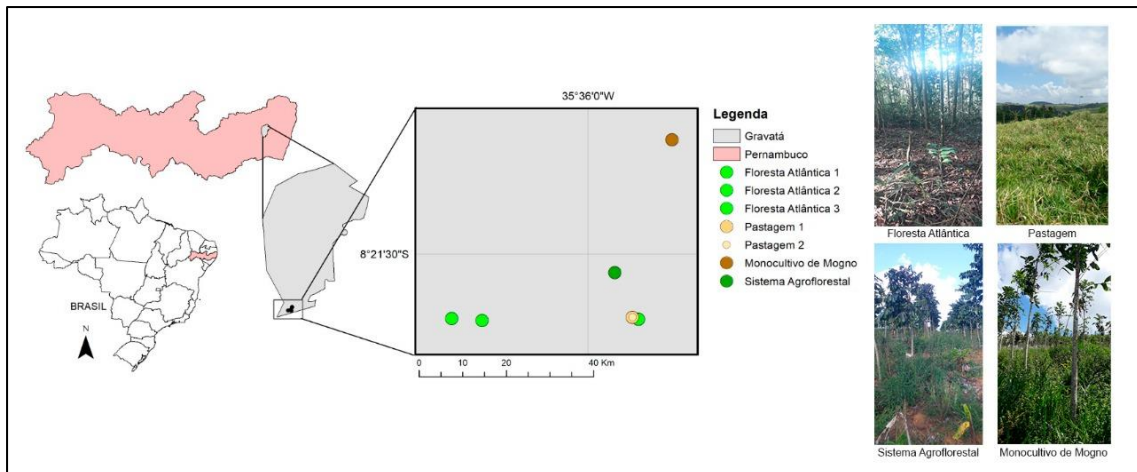


Figura 1: (A) e (B). Mapa de localização dos sistemas de uso do solo em Gravatá, PE, Brasil. Fonte: adaptado do Google Earth. Autor: NUNES, T. S.

Tabela 3: Descrição das áreas de estudo

Áreas	Descrição
Mata nativa	São três fragmentos de Mata nativa: O primeiro fragmento possui área total de 2 ha, 675 m de altitude, latitude de 8° 21' 39.38" (S) e longitude 35° 36' 19.84" (O). O segundo fragmento possui área total de 0,52 ha, 652 m de altitude, latitude de 8° 21' 39.68" (S) e longitude 35° 36' 15.42" (O). O terceiro fragmento possui área total de 4,83 ha, 639 m de altitude, latitude de 8° 21' 39.50" (S) e longitude 35° 35'

	52.66" (O). Pouca ação antrópica nos fragmentos, todos com idade estimada em mais de 100 anos.
Sistema Agroflorestal	O Sistema Agroflorestal possui área total de 2,5 ha, 674 m de altitude, 8° 21' 32.68" (S) e longitude 35° 35' 56.10" (O).
Plantio de Mogno africano	A área de Monocultivo de Mogno possui área total de 1,4 ha, 572 m de altitude, latitude 8° 21' 13.32 (S) e longitude 35° 35' 47.79"(O).
Pastagem	São duas áreas de pastagem: A primeira possui área total de 1 ha, 601 m de altitude, latitude 8° 21' 39.20" (S) e longitude 35° 35' 53.54" (O). A segunda possui área total de 2,5 ha, 224 m de altitude, 8° 21' 39.19" (S) e longitude 35° 35' 53.56" (O). Ambas as áreas possuem mais de 30 anos de uso e são pastagens de grau 1, ou seja, possuem de 75%-100% do solo com cobertura vegetal. A cultivar implantada foi a <i>Brachiaria brizantha</i> , não sendo empregada adubação. As pastagens são usadas para alimentação de bovinos e equinos, sem sistema de rotação.

A implantação do sistema agroflorestal e do plantio de Mogno africano foram feitos no ano de 2018 com mudas de Mogno Africano (*Khaya senegalensis*). Antes da implantação do Sistema Agroflorestal, a área era utilizada para cultivo de inhame (*Colocasia esculenta* (L) Schott.). Já no plantio de Mogno Africano, a área era cultivada com milho (*Zea mays*). As sementes usadas na produção de mudas de ambos os plantios foram adquiridas de dois fornecedores: Ouro Verde (Estado do Ceará) e Caiçara (Estado de São Paulo). Em ambos os sistemas, foram realizados os seguintes procedimentos:

- Limpeza e preparo do solo para plantio, por meio de aração e gradagem da camada superficial;
- Controle de formigas e cupins e aplicação de inseticida no plantio de Mogno, aplicando-se cerca de 30 g/20 L de inseticida (Evidence 700 WG®);
- As espécies plantadas no sistema agroflorestal foram: Mogno Africano (*Khaya senegalensis*), culturas agrícolas (milho e banana). De forma espontânea, surgiu pimenta na área, não sendo explorada comercialmente. No plantio de Mogno, foi plantado apenas Mogno africano;
- O espaçamento para o Mogno Africano foi de 3,5 x 3,5 m, para o milho de 0,80 x 0,80 m e para bananeira de 3,5 x 3,5 m no sistema agroflorestal. No plantio de Mogno africano; o espaçamento foi de 2 x 3 m;
- Para a adubação das mudas de Mogno Africano, foi usada NPK 10-10-10, na dosagem de 40 mg por muda, em covas com dimensões de 25 x 40 cm em ambos os sistemas. No sistema agroflorestal, a cultura agrícola (milho) também recebeu adubação no início do plantio. Foram aplicadas 10 g de NPK 10-10-10 nas covas;

- A irrigação foi por aspersão, durante 12 h ao dia, em dias alternados, durante o período inicial do plantio (aproximadamente de 18 meses) no sistema agroflorestal e por gotejamento no plantio de Mogno, seguindo os mesmos procedimentos; e
- O plantio ocorreu em linhas alternadas, uma linha de Mogno e uma linha de bananeira no sistema agroflorestal em regiões de encostas.

3.3 Amostragem do solo

Em cada área foram demarcadas nove parcelas, aleatoriamente, com dimensões de 10m x 20 m, procurando obedecer ao mesmo tipo de solo e à mesma posição no relevo. A amostragem do solo foi realizada no interior destas parcelas, considerando-se distância de 10 m das bordas. Em cada parcela, foram coletadas 20 amostras simples (PREZOTI; GARÇONI, 2013), retiradas por caminhamento em ziguezague, nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm (para atributos químicos e físicos) e 0-10 cm (para os biológicos). As 20 amostras simples foram reunidas, formando uma amostra composta por profundidade em cada parcela. As amostras foram secas ao ar e, posteriormente, destorroadas e peneiradas em malha de 2 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar. Para os atributos biológicos, o peneiramento foi feito com o solo úmido.

A coleta da serrapilheira foi realizada com auxílio de gabarito (1 x 1 m), que foi colocado ao centro de cada parcela, para coleta do resíduo biológico dentro do gabarito e sobre o solo. Na coleta, foram incluídas: folhas, galhos, flores e frutos. A serrapilheira coletada foi colocada em sacos de papel devidamente identificados e transportada para o laboratório de Química do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) e colocada em estufa de circulação de ar a 65 °C (SILVA, 2017). Foi feita a pesagem do peso úmido da serrapilheira em balança analítica para a determinação do estoque e, depois de seca, a serrapilheira foi moída, em moinho tipo Willey, para determinação do teor de C.

3.4 Avaliações

3.4.1 Atributos químicos

Dentre os atributos químicos do solo, foi medido o pH em água; determinados os teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3} , extraídos por KCl $1,0 \text{ mol L}^{-1}$, sendo Ca^{+2} e Mg^{+2} dosados por absorção atômica e Al^{+3} por titulometria; acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$) extraída por $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, pH 7,0 e dosada por volumetria; P disponível, K^+ e Na^+ extraídos por Mehlich-1, sendo P determinado por espectrofotometria e K^+ e Na^+ por fotometria de emissão de chama. Com os resultados dos cátions trocáveis, foram calculados os valores de: soma de bases trocáveis (S), capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva e potencial, saturação por bases (V), saturação por alumínio (m) e hidrogênio extraível (H). As análises foram realizadas conforme (TEIXEIRA et al., 2017).

O C orgânico total (COT) foi determinado por oxidação com dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal (YEOMANS; BREMNER, 1988). As frações humina (HUM), ácidos húmicos (FAH) e ácidos fúlvicos (FAF) foram obtidas pelo fracionamento químico da MOS pelo método descrito por Swift (1996), com adaptações de Almeida et al. (2012) e os teores de C nessas frações foram determinados segundo Yeomans e Bremner (1998). Para o fracionamento granulométrico da matéria orgânica, adotou-se método descrito por Cambardella e Elliot (1992). Assim, quantificaram-se o C orgânico particulado (COp), associado à fração areia, e o C orgânico, associado aos minerais (COam), que está relacionado às frações silte e argila, obtido por diferença entre COT e COp.

3.4.2 Atributos físicos

A granulometria para caracterização textural das áreas de estudo e a argila dispersa em água (ADA) foram determinadas pelo método da pipeta. A densidade do solo (D_s) foi determinada pelo método do anel volumétrico, coletadas amostras indeformadas com auxílio de trado tipo Uhland (TEIXEIRA et al., 2017). A densidade das partículas (D_p) foi determinada pelo método do balão volumétrico, estimando-se a porosidade total (Pt) do solo com os dados de D_s e D_p . Também foi calculado o grau de flocculação, com dados de argila total e argila dispersa em água.

Os estoques de C nas camadas do solo sob os sistemas estudados foram calculados pela expressão (VELDKAMP, 1994): $Est C = (COT \times D_s \times e) / 10$, onde: Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (t ha^{-1}); COT = teor de

C orgânico total na profundidade amostrada (g kg^{-1}); D_s = densidade do solo da profundidade (kg dm^{-3}); e e = espessura da camada considerada (cm).

3.4.3 Atributos biológicos

A respiração basal do solo (RBS) foi determinada seguindo os procedimentos recomendados por Isermeyer (1952) e o C da biomassa microbiana (CBM), pelo método da irradiação/extração com uso de micro-ondas, de acordo com Islam e Weil (1998), em que os teores de C foram determinados nos extratos irradiados e não-irradiados pelo método colorimétrico (BARTLETT; ROSS, 1988).

O quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) foi obtido se dividindo o valor da RBS pelo valor do CBM (ANDERSON; DOMSCH, 1985). O quociente microbiano ($q\text{MIC}$) foi obtido pela divisão do CBM pelo COT do solo.

3.4.4 Serrapilheira

Os resultados de serrapilheira coletada nos gabaritos foram convertidos para Mg ha^{-1} para calcular o estoque de serrapilheira acumulada. Para análise do C na serrapilheira, foi seguida a metodologia descrita por Bezerra Neto e Barreto (2011), com adaptações de Araújo et al. (2020). Para isso, pesou-se 0,1 g da amostra pré-seca em tubos de digestão e, em seguida, adicionou-se 20,0 mL de dicromato de potássio 1 mol L^{-1} e se acrescentou, nos tubos, 10,0 mL de ácido sulfúrico. Os tubos foram tampados e levados para aquecimento em fervura branda por cinco minutos em bloco digestor, numa temperatura de $\pm 105 \text{ }^\circ\text{C}$. Depois de aquecidos, os tubos foram suavemente agitados por um minuto e deixados em repouso por 30 minutos. Em seguida, o material foi transferido quantitativamente para erlenmeyers de 500 mL com o auxílio de 200 mL de água destilada. Em cada erlenmeyer, foram adicionados 10,0 mL de ácido fosfórico concentrado e 1,0 mL de difenilamina. O excesso do oxidante foi titulado com solução de sulfato ferroso amoniacal $0,5 \text{ mol L}^{-1}$, até viragem da cor púrpura para verde.

4.4.5 Entomofauna do solo

Para a coleta da fauna edáfica, ao todo foram instaladas 9 armadilhas de queda (pitfall), em cada sistema de uso do solo (Mata Nativa, Sistema Agroflorestal, Mogno Africano e Pastagem). Cada armadilha foi distribuída ao centro de cada

parcela, visando, dessa forma, a redução da influência do efeito de borda (Figuras 2 e 3). Os grupos que foram analisados no trabalho em questão são pertencentes à meso e à macrofauna, mais precisamente, os do filo dos artrópodes.

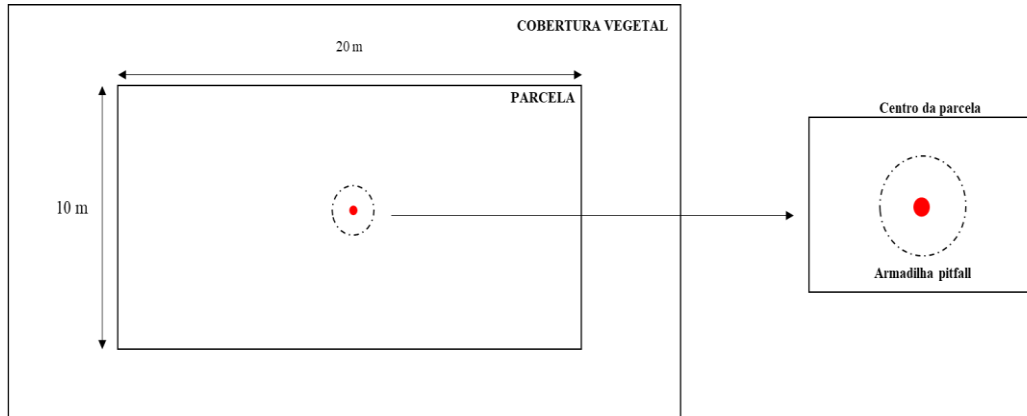


Figura 2: Disposição das armadilhas tipo pitfall dentro da parcela em cada cobertura vegetal na fazenda São Francisco em Gravatá-PE. Fonte: SANTOS (2021).

As armadilhas usadas foram confeccionadas com garrafas de politereftalato de etileno (PET) com capacidade de 2 L, com 15 cm de altura e 10 cm de diâmetro, foram enterradas, ficando a borda ao nível do solo. Dentro de cada armadilha foram inseridos 200 mL de solução conservante (água, sal e detergente) para a captura de insetos (adaptado de AQUINO et al., 2006).



Figura 3: Detalhes das armadilhas pitfall instaladas nas parcelas em cada sistema de uso do solo em Gravatá, PE, Brasil. (A) Mata Nativa, (B) Sistema Agroflorestal, (C) Pastagem e (D) Plantio de Mogno. Fonte: SANTOS (2021).

Após 48 h em campo, as armadilhas foram retiradas e os organismos capturados acondicionados em geladeira a 4 °C. O material foi então transportado para o Laboratório de Proteção Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, sendo realizada a passagem do material para álcool 70%. Em laboratório, foi realizado o reconhecimento dos táxons, por meio de microscópio estereoscópico, baseado em caracteres morfológicos e em chaves de identificação específica para cada grupo de artrópodes (GALLO et al., 2002; CARRANO-MOREIRA, 2014), sendo caracterizados até o nível de ordem.

3.5 Análises dos dados

Os dados referentes aos atributos químicos, físicos, biológicos e serrapilheira do solo foram submetidos à análise de variância ($F \leq 0,05$). Quando houve diferenças entre os usos do solo e/ou camadas avaliadas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância. A análise de componentes principais (ACP) foi realizada utilizando o Software estatístico R, versão 4.1.0.

Para a entomofauna edáfica, foram calculados os índices: dominância, abundância, frequência e constância, segundo Silveira Neto et al. (1976), assim como índices de diversidade, variância H e intervalo de confiança, sendo essas análises realizadas no software estatístico Anafau (MORAES et al., 2003). Na comparação das médias das diferentes áreas avaliadas, foi utilizado o teste de Tukey a 5% de probabilidade, usando o software Sisvar versão 5.8 (FERREIRA, 2018).

4. RESULTADOS e DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos

Os valores das bases trocáveis (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+) foram relativamente baixos em todas as profundidades. Em relação ao Ca^{2+} , houve diferença significativa entre os sistemas de uso do solo nas camadas superficiais (0,0-10,0 e 10,0-20,0 cm), em que a área de cultivo de Mogno teve os maiores valores (Tabela 4). Nessas mesmas camadas, os menores valores encontrados foram para a área de pastagem

(0,0-10,0 cm) e para a mata nativa e SAF na camada de 10,0-20,0 cm. Semelhante ao Ca^{2+} , para o Mg^{2+} também houve diferença significativa apenas nas duas primeiras camadas, com destaque para o SAF. A partir de 20 cm de profundidade, os valores de Ca^{2+} e de Mg^{2+} não diferiram entre os usos do solo.

Tabela 4: Cátions trocáveis do solo sob os usos Mata Nativa, Sistema Agroflorestal (SAF), Plantio de Mogno Africano e Pastagem nas camadas 0,0-10,0; 10,0-20,0; 20,0-40,0 e 40,0-60,0 cm, em Gravatá, PE, Brasil

Uso	Prof. cm	Complexo sortivo						
		Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	Na^+	Al^{3+}	H^+	(H + Al)
		cmol _c kg ⁻¹						
Mata Nativa		2,53 ab	0,70 ab	0,002 a	0,007 a	0,38 ab	10,18 a	10,57 a
SAF	0 – 10	1,61 bc	0,82 a	0,001 a	0,007 a	0,12 b	5,48 b	8,30 b
Plant. Mogno		2,68 a	0,56 b	0,002 a	0,007 a	0,59 a	8,18 a	6,08 c
Pastagem		1,31 c	0,54 b	0,002 a	0,007 a	0,13 b	12,48 a	12,61 a
CV (%)		39,39	25,65	30,86	20,07	73,51	19,24	18,09
Mata Nativa		0,97 c	0,51 ab	0,001 a	0,008 a	0,43 b	8,52 a	8,91 b
SAF	10 – 20	1,30 c	0,70 a	0,000 b	0,007 a	0,00 c	8,18 a	8,26 b
Plant. Mogno		3,04 a	0,64 ab	0,001 a	0,007 a	0,53 b	8,44 a	8,97 b
Pastagem		2,04 b	0,41 b	0,002 a	0,007 a	1,59 a	10,00 a	11,60 a
CV (%)		29,91	36,80	56,22	13,23	38,67	23,36	21,71
Mata Nativa		0,86 a	0,22 a	0,005 a	0,002 a	4,61 a	2,90 b	7,51 b
SAF	20 – 40	1,32 a	0,22 a	0,006 a	0,001 a	1,91 b	5,22 b	7,13 b
Plant. Mogno		1,44 a	0,35 a	0,006 a	0,001 a	2,46 b	2,79 b	5,26 c
Pastagem		1,00 a	0,22 a	0,006 a	0,002 a	1,59 b	16,85 a	18,45 a
Cont.								
CV (%)		60,25	90,53	30,18	21,45	30,73	43,88	31,06
Mata Nativa		0,83 a	0,19 a	0,006 a	0,001 b	3,79 a	8,58 b	12,37 b
SAF	40 – 60	1,27 a	0,22 a	0,005 a	0,001 b	1,97 bc	6,67 b	7,78 c
Plant. Mogno		1,20 a	0,23 a	0,006 a	0,001 b	1,97 bc	3,01 c	4,99 d
Pastagem		0,66 a	0,16 a	0,002 a	0,002 a	1,39 c	14,61 a	16,00 a
CV (%)		79,46	47,28	40,43	19,33	31,72	22,99	18,31

Médias seguidas pela mesma letra indicam não existir diferença significativa entre as áreas dentro de cada camada de solo, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os cátions Mg^{2+} e Ca^{2+} têm padrão de distribuição similar, estando o Mg^{2+} em menores concentrações em relação ao Ca^{2+} (TROEH; THOMPSON, 2007), tendendo à diminuição em profundidade. Lustosa Filho et al. (2017), estudando os atributos químicos em dez áreas (plantio direto com três, seis e nove anos de cultivo, pastagem com dois e seis anos de cultivo, plantio de eucalipto de seis e doze anos, plantio convencional com dois e oito anos, e cerrado nativo), em quatro profundidades (0,0-10,0; 10,0-20,0; 20,0-30,0 e 30,0-40,0 cm), verificaram decréscimo nos valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} para todas as áreas e em todas as camadas. Em locais onde ocorre elevada precipitação, a tendência é que estes nutrientes ocorram nos solos em baixas concentrações, pois a água promove sua lixiviação do solo. A área em estudo fica numa zona de transição entre a região mais úmida e o semiárido de Pernambuco, com precipitação média anual de 725 mm, fazendo com que os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} não fossem tão baixos.

A deficiência de Ca^{2+} e Mg^{2+} pode provocar prejuízos, especialmente em plantios florestais, pois o Ca^{2+} participa da composição da membrana celular e sua deficiência afeta o crescimento de ramos e raízes; e o Mg^{2+} compõe a molécula da clorofila, podendo provocar clorose foliar quando estiver em baixas concentrações no solo (CAMPOS et al., 2017).

Os teores de K^+ e de Na^+ foram baixos nos quatro usos e camadas avaliados, comprovando a natureza mais solúvel destes cátions, que são os primeiros perdidos por lixiviação. Isso pode representar problema em relação à nutrição potássica das plantas, uma vez que o K^+ é um dos elementos mais requeridos. Por outro lado, para o Na^+ , é preferível que os teores estejam abaixo dos demais cátions. Esses cátions trocáveis são importantes para a avaliação da qualidade do solo em diferentes sistemas de uso, uma vez que Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ são nutrientes, enquanto Na^+ pode causar desequilíbrios nutricionais e toxidez quando presente em elevadas concentrações (ARAÚJO et al., 2012).

Quanto aos teores de Al^{3+} , observaram-se diferenças significativas na camada de 0,00-10,0 cm, com variação de em 0,12 a 0,59 $cmol_c\ kg^{-1}$, sendo os maiores valores encontrados nas áreas de Mata Nativa e de Mogno. Para a camada de 10,0-20,0 cm, o uso com Pastagem teve os maiores valores de Al^{3+} (1,59 $cmol_c\ kg^{-1}$) e, na

área de SAF, o valor de Al^{3+} foi nulo. Nas camadas de 20,0-40,0 e 40,0-60,0 cm, a Mata Nativa apresentou os maiores valores de Al^{3+} (4,61 e 3,79 $cmol_c kg^{-1}$, respectivamente). É possível que isso seja consequência de aplicações de corretivos de acidez, que, geralmente, atuam mais nas camadas superficiais onde são incorporados, além de terem baixa solubilidade, que causa efeito residual ao longo do tempo. No geral, os teores de Al^{3+} foram altos a partir de 20 cm de profundidade, o que pode comprometer o desenvolvimento radicular das plantas em camadas mais profundas.

Umas das principais limitações em ecossistemas tropicais é a fitotoxidez por Al^{3+} , pela sua capacidade de promover acidez no solo, em decorrência de reações de hidrólise do Al^{3+} em solução (MARSCHNER, 1995). Em pH abaixo de 5,0, o complexo sortivo pode ser ocupado em mais da metade por Al^{3+} (FOY, 1974). Melo et al. (2017) também verificaram a maior ocorrência de Al^{3+} nas camadas mais profundas e com menor pH em solos sob cultivo de coqueiro, cana-de-açúcar, consórcio de mandioca, milho e feijão Caupi, sabiá e savana natural, nas profundidades de 0,0-5,0, 5,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-40,0 cm, tendo as áreas de savana natural e de os solos mais ácidos.

Com relação à acidez potencial ($H+Al$), a área de pastagem apresentou os maiores valores em todas as camadas estudadas e a área sob cultivo de Mogno teve os menores valores nas camadas de 10,0-20,0; 20,0-40,0 e 40,0-60,0 cm. Os teores de H^+ diferiram entre os usos na camada de 0,0-10,0 cm, sendo menor no SAF, e em 20,0-40,0 e 40,0-60,0 cm, maior na área de Pastagem. Tais resultados corroboram com Bezerra et al. (2019) e podem estar relacionados à associação entre a matéria orgânica e os elementos Al^{3+} e H^+ (CAMPOS et al., 2011).

Completando as informações dos cátions trocáveis, os valores de pH do solo variaram entre 4,46 e 6,06, sendo considerados solos fortemente a moderadamente ácidos (EMBRAPA, 2006). Na camada superficial de 0,0-10,0 cm, os maiores valores de pH foram verificados nas áreas de SAF, Pastagem e Mata Nativa. Nas camadas de 10,0-20,0 e 20,0-40,0 cm, também houve diferenças significativas, com o SAF apresentando os maiores valores de pH. Também na camada de 20,0-40,0 é possível observar o pH da Mata Nativa com valores abaixo de 5, mesmo padrão de distribuição que ocorre na camada de 40,0-60,0 cm, no qual o solo da Mata Nativa

foi o mais ácido, podendo estar associado aos teores mais altos de matéria orgânica em ambiente natural de vegetação mais preservada (Tabela 5).

Tabela 5: Valores de pH, P disponível, soma de bases capacidade de troca de cátions efetiva e potencial, saturação por bases e por alumínio do solo sob os usos Mata Nativa, Sistema Agroflorestal (SAF), Plantio de Mogno Africano e Pastagem nas camadas 0,0-10,0; 10,0-20,0; 20,0-40,0 e 40,0-60,0 cm, em Gravatá, PE, Brasil

Uso	Prof. Cm	Complexo sortivo						
		pH _{água}	P ¹ mg dm ⁻³	S ²	t ³ cmol _c kg ⁻¹	T ⁴	V ⁵ %	m ⁶
Mata Nativa		5,56 a	0,90 c	3,25 a	3,64 ab	13,82 a	23,06 a	14,58 a
SAF	0 – 10	5,91 a	9,56 a	2,44 ab	2,57 bc	10,75 b	22,68 b	5,39 a
Plan. Mogno		5,16 b	3,73 ab	3,26 a	3,85 a	9,34 b	35,14 a	14,83 a
Pastagem		5,86 a	1,28 b	1,86 b	1,99 c	14,47 a	13,04 c	6,87 a
CV (%)		7,92	52,33	31,31	28,44	15,32	26,78	53,76
Mata Nativa		5,48 bc	1,21 c	1,50 c	1,93 b	10,45 b	14,31 b	24,70 b
SAF	10 – 20	6,04 a	8,25 a	2,10 bc	2,10 b	10,29 b	19,62 b	0,00 c
Plant. Mogno		5,29 c	3,92 b	3,69 a	4,22 a	12,66 ab	30,96 a	12,67 c
Pastagem		5,77 ab	1,32 c	2,50 b	4,10 a	14,10 a	17,93 b	39,04 a
CV (%)		5,60	21,05	24,76	22,09	17,68	30,21	42,27
Mata Nativa		4,47 c	0,63 b	1,09 a	2,90 b	8,61 b	14,43 ab	81,57 a
SAF	20 – 40	5,45 a	1,94 a	1,55 a	5,22 a	8,68 b	17,67 ab	56,75 b
Plant. Mogno		5,03 b	0,71 b	1,81 a	2,79 b	7,07 b	24,72 a	58,14 b
Pastagem		5,01 b	0,49 b	1,23 a	2,82 b	19,69 a	6,66 b	56,10 b
CV (%)		5,19	46,91	55,46	43,88	27,08	62,10	22,68
Mata Nativa		4,44 b	0,50 b	1,03 a	4,82 a	13,41 b	7,21 c	80,63 a
SAF	40 – 60	5,26 a	1,32 a	1,50 a	2,61 b	9,29 c	15,20 b	47,31 b
Plant. Mogno		5,05 a	0,40 b	1,45 a	3,43 b	6,44 c	22,16 a	58,32 b
Pastagem		5,26 a	0,37 b	0,83 a	2,33 b	16,84 a	4,66 c	64,63 ab
CV (%)		4,83	61,97	65,96	33,08	20,08	46,06	23,97

¹Fósforo disponível; ²Soma de bases; ³Capacidade de troca de cátions efetiva; ⁴Capacidade de troca de cátions potencial; ⁵Saturação por bases; e ⁶Saturação por alumínio. Médias seguidas pela mesma letra indicam não existir diferença significativa entre as áreas dentro de cada camada de solo, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

No geral, o solo sob o SAF apresentou os maiores valores de pH em todas as camadas, indicando que o manejo empregado nesse sistema está promovendo

melhorias no pH do solo. Melloni et al. (2018), estudando a qualidade do solo em café em Pedralva-MG, verificaram valores de pH em sistemas agroflorestais de café plantados em sub-bosque de araucária, na camada de 0-10 cm (5,36-6,11). Nesses sistemas, é empregado o consórcio de espécies vegetais e animais, sendo geralmente realizado o preparo inicial da área. Situação diferente da área sob Mata Nativa, que, por ser menos perturbada e não receber tratos culturais, apresenta solo mais ácido (CARNEIRO et al., 2009).

Oliveira et al. (2017) estudaram a qualidade química do solo em seis sistemas de uso (vegetação nativa, seringueira solteira, seringueira consorciada com abacaxi, pastagem de *Brachiaria* sp. com 30 anos, pastagem de *Brachiaria brizanta* cv. Marandu com 3 anos e área de plantio convencional) nas camadas de 0,0-10,0; 10,0-20,0 e 20,0-30,0 cm no cerrado Sul Mato-Grossense. Os autores observaram menores valores de pH na área sob vegetação nativa em todas as camadas estudadas (valores de 4,49-4,56). Consideraram o resultado esperado para áreas nativas, uma vez que essas áreas são caracterizadas por solos de baixa fertilidade natural, por não receberem os mesmos tratos (fertilizantes e corretivos) que uma área cultivada.

O pH ácido em sistemas de plantio de Eucalipto e Pinus também foi observado por Klug et al. (2020), em camadas superficiais do solo (0,0-5,0; 5,0-10,0 e 10,0-20,0 cm) no Rio Grande do Sul. Uma possível explicação para esse tipo de resultado seria a relação da acidez com a quantidade de ácidos orgânicos liberados no solo pelas espécies florestais, que, ao longo do tempo, vão se acumulando por causa da decomposição e da mineralização de resíduos vegetais (SILVA et al., 2008).

Para o P disponível, foi verificada diferença entre os usos do solo em todas as camadas avaliadas, sendo observada redução de seus valores com a profundidade (Tabela 5). A área de SAF teve maior teor de P em relação às demais áreas, seguida nas duas primeiras camadas superficiais pela área de Mogno. Isso ocorreu, possivelmente, pela adubação de NPK que foi aplicada nas mudas, no estágio inicial das mesmas, em ambos os plantios. Para a área de SAF, além da adubação das mudas, possivelmente, ocorreu efeito residual da aplicação de fertilizantes na cultura agrícola anterior (milho), elevando esses valores de P.

A baixa mobilidade do P no solo dificulta encontrar maiores concentrações do mesmo em ambientes em que não se faça adição de P no ambiente, como em áreas nativas e pastagem. Além disso, essa baixa mobilidade do P no solo torna menos comuns altas concentrações desse nutriente em camadas mais profundas, uma vez que a adubação, quando empregada, é aplicada nas camadas mais superficiais e nas proximidades das raízes das plantas.

O incremento de argila com o aprofundamento das camadas pode ser um dos motivos dessa menor disponibilidade de P, pois o teor de argila é um dos principais fatores que favorecem a adsorção de P no solo (SILVA et al., 2011). Araújo et al. (2004), estudando quatro usos do solo e 12 camadas na Amazônia ocidental, observaram redução nos valores de P nas cinco primeiras camadas para mata, queimada e pupunha, enquanto que na área sob Pastagem essa redução se deu de 2 mg dm^{-3} na primeira camada para 1 mg dm^{-3} na segunda camada e se manteve constante nas demais camadas.

Os maiores valores de soma de bases (S) foram observados nas duas camadas superficiais, com a pastagem apresentando o valor inferior de S na camada de 0,0-10,0 cm, em relação aos demais usos, e a área de Mogno sendo maior na camada de 10,0-20,0 cm (Tabela 5). O Ca^{2+} foi o elemento que mais contribuiu para os valores da S, por isso, as camadas e áreas que apresentaram maiores teores de Ca^{2+} também apresentaram maiores valores na S. A soma de bases mostra o número de cargas negativas nos coloides do solo que estão neutralizadas pelos cátions básicos, o que corresponde à maior parte das cargas no valor de pH natural do solo (SOUZA et al., 2018).

Quanto à CTC efetiva (t), esta foi mais alta na área sob Mogno e Mata Nativa na camada de 0,0-10,0 cm, com o SAF sendo maior em 20,0-40,0 e Mata Nativa em 40,0-60,0 cm (Tabela 5). Já para a CTC potencial (T), a Pastagem teve um destaque maior, com maior valor de T em todas as camadas estudadas, e sendo, na primeira camada, acompanhada pela Mata Nativa e, na segunda camada, pelo Mogno. Se a CTC do solo for ocupada em sua maior parte pelos cátions trocáveis essenciais (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), o solo é considerado bom para nutrição das plantas, porém, se essa ocupação em sua maior parte for por Al^{3+} e H, o solo é considerado pobre (RONQUIM et al., 2010).

Pelos valores de saturação por bases (V%), foi possível identificar o caráter distrófico no solo de todas as áreas e camadas avaliadas, pois os valores obtidos não superaram os 50% em nenhum dos sistemas de usos e suas camadas (Tabela 5). Apesar dos baixos valores de (V%), comparando entre as áreas, a área sob Mogno apresentou os maiores valores de V, seguido da Mata Nativa (0,0-10,0 e 20,0-40,0 cm) e SAF (20,0-40,0 cm). A saturação por bases, segundo Santiago et al. (2015), é um ótimo indicador de fertilidade natural do solo, pois reúne em termos estequiométricos os macronutrientes (Ca, Mg e K), que são elementos essenciais para o desenvolvimento da planta. Através desse resultado, assim como encontrado por Cunha Neto et al. (2018), é possível constatar que os cultivos florestais, por conta do pouco tempo de implantação, ainda não geraram melhorias no teor de nutrientes do solo.

Já a saturação por alumínio (m%) não diferiu entre solo sob os usos na camada de 0,0-10,0 cm (Tabela 5). Na camada de 10,0-20,0 cm, a área sob Pastagem teve a maior saturação por alumínio e, sob SAF e Mogno, os menores valores. Na camada de 20,0-40,0 e 40,0-60,0 cm, a maior saturação por alumínio foi verificada na Mata Nativa. No geral, a saturação por alumínio aumentou em todos os usos com o aprofundamento das camadas.

Os solos sob Mata Nativa e Pastagem apresentaram os maiores teores de C orgânico total (COT) na camada de 0,0-10,0 cm (36,43 e 27,73 g kg⁻¹, respectivamente). Enquanto que, na área sob mogno, foram encontrados os menores teores tanto na camada de 0,0-10,0 cm como de 10,0-20,0 cm, ambas de 9,37 g kg⁻¹. Na camada de 20,0-40,0 cm, não houve diferença significativa do COT entre as áreas e, na camada de 40,0-60,0 cm, o solo sob Mata Nativa e SAF apresentaram os maiores teores (12,54 e 14,27 g kg⁻¹, respectivamente) (Figura 4). No geral, o solo sob Mata Nativa apresentou os maiores teores de COT em todas as camadas, seguido pela Pastagem nas três primeiras camadas. Além do mais, os teores de COT em todas as áreas decresceram com a profundidade.

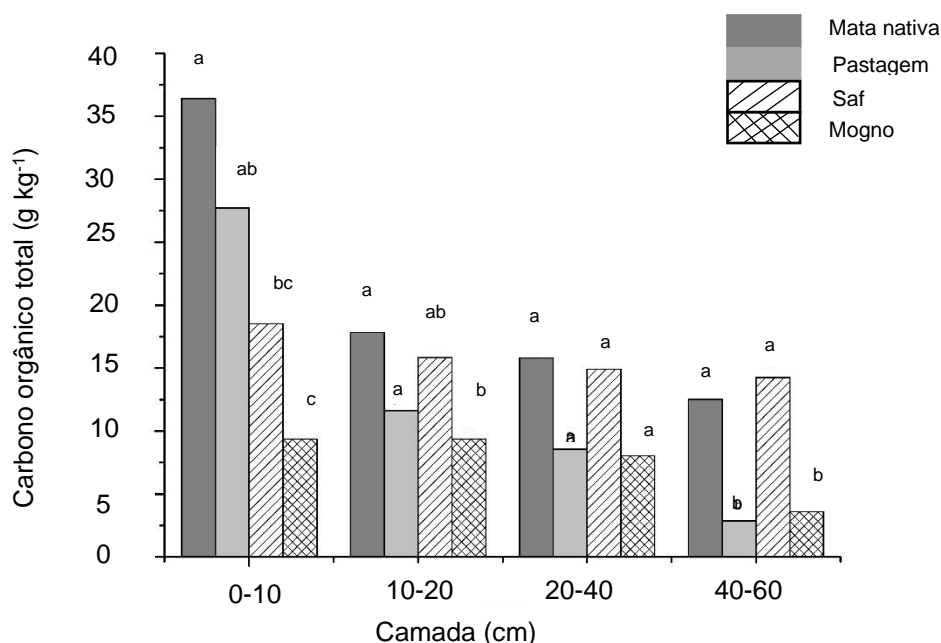


Figura 4: Teores médios (g kg^{-1}) de C orgânico total (COT) em solos sob os usos Mata Nativa, Pastagem, Sistema Agroflorestal e Plantio de Mogno Africano em Gravatá, PE, Brasil. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, dentro de cada camada de solo.

Assim como no presente estudo, Machado et al. (2014) encontraram maiores teores de COT nas áreas de mata nativa ($62,09 \text{ g kg}^{-1}$), em relação às demais áreas estudadas. Além da mata, avaliaram café consorciado e café a pleno sol ($32,87$ e $37,01 \text{ g kg}^{-1}$ de COT, respectivamente) na camada superficial de $0,0-5,0 \text{ cm}$. E, na camada $5,0-10,0 \text{ cm}$, estes autores também encontraram maiores teores de COT para a área de mata nativa. Tori e Kibret (2019) também encontraram maiores teores de COT em floresta nativa, em comparação às demais áreas estudadas. A matéria orgânica do solo tende a ocorrer em maior concentração na superfície do solo, tendo seu teor reduzido com o aumento da profundidade (SANTOS et al., 2017; SILVA, et al., 2020). Esse padrão é justificado pela posição do material orgânico (serrapilheira) nessas áreas nativas, concentrando-se superficialmente em função da maior atividade biológica e da humificação da matéria orgânica (MAFRA et al., 2008). Devido ao seu porte arbóreo e à riqueza em espécies vegetais e animais, a Mata Atlântica consegue produzir grandes quantidades de serrapilheira e, assim, incrementar C no solo em maiores concentrações.

Já para a Pastagem, que também apresentou teores consideráveis de COT no solo, isso pode estar associado às espécies de gramíneas presentes. Estas, geralmente, apresentam grande produção e renovação de biomassa radicular, aumentando, assim, a matéria orgânica do solo (ALVES et al., 2008). E a maior parte do sistema radicular das gramíneas se encontra na superfície do solo, o que torna as primeiras camadas do solo mais propícias a terem maiores quantidades de C (PULROLNIK et al., 2009).

Serpa et al. (2020) encontraram alto valor de COT em pastagem (36,29 g kg⁻¹), sendo esse valor superior ao da mata nativa (25,18 g kg⁻¹). Eles atribuíram esse alto valor à ausência de pastejo na pastagem, o que não foi verificado nas áreas do presente estudo. Em algumas camadas do solo da área de SAF, foram encontrados valores de COT semelhantes aos da área de Mata Nativa, provavelmente, pela sua diversidade vegetal, que contribui para o aumento do COT no solo (RIBEIRO et al., 2019). Gamas-Rodrigues et al. (2010) observaram que o COT em sistemas agroflorestais não diferiu entre as áreas, mostrando o benefício que o SAF proporciona ao COT do solo.

Na profundidade de 0,0-10,0 cm, a área de Mata Nativa apresentou os maiores valores de Humina (HUM), enquanto a Pastagem teve os menores valores. Na camada 10,0-20,0 cm, o SAF e a Pastagem apresentaram os maiores valores, com a Mata Nativa tendo o menor. Na camada de 20,0-40,0 cm, o menor teor de C-HUM também foi encontrado na Mata Nativa. Já na camada de 40,0-60,0 cm, a Mata Nativa e o SAF alcançaram os maiores valores (Tabela 6).

Tabela 6: Teores médios (g kg⁻¹) de C nas frações humina (HUM), ácidos húmicos (FAH), ácidos fúlvicos (FAF), particulado (CO_P) e associado a minerais (CO_{AM}) do solo sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal (SAF), Plantio de Mogno africano e Pastagem em Gravatá, PE, Brasil

Uso	Prof. cm	C nas frações da matéria orgânica				
		HUM	FAH	FAF	CO _P	CO _{AM}
Mata Nativa		14,93 a	2,68 a	5,41 a	7,50 a	28,93 a
SAF	0 – 10	6,81 b	2,81 a	4,19 ab	5,43 ab	13,10 bc
Plan. Mogno		5,01 bc	1,03 b	2,87 b	3,48 b	6,88 c
Pastagem		3,50 c	2,80 a	4,44 a	4,71 b	19,75 ab

Cont.						
CV (%)		21,77	55,15	44,26	31,96	53,79
Mata Nativa		1,49 c	4,05 a	1,03 b	2,69 ab	17,95 a
SAF		5,63 a	2,54 b	3,95 a	2,78 ab	13,04 ab
Plant. Mogno	10 – 20	3,32 b	0,80 c	2,46 ab	3,11 a	7,04 b
Pastagem		5,33 a	2,17 bc	4,68 a	1,95 b	9,63 ab
CV (%)		19,07	46,86	66,10	26,88	60,04
Mata Nativa		0,60 b	2,13 a	3,88 a	4,14 a	11,67 a
SAF		5,54 a	1,93 a	3,65 ab	1,82 b	13,10 a
Plant. Mogno	20 – 40	3,63 a	0,58 b	1,82 b	2,50 b	5,53 b
Pastagem		3,81 a	1,13 ab	2,02 ab	1,88 b	6,66 a
CV (%)		44,38	68,07	55,07	36,08	40,26
Mata Nativa		5,25 a	1,61 ab	2,63 ab	2,13 a	2,13 b
SAF		5,31 a	2,26 a	3,71 a	0,73 b	13,54 a
Plant. Mogno	40 – 60	1,37 b	2,00 a	3,71 a	0,42 b	3,17 b
Pastagem		0,65 b	0,24 c	0,61 c	0,62 b	2,24 b
CV (%)		57,22	79,46	58,77	90,01	43,58

Para a FAH, os maiores valores foram encontrados nas áreas de Mata Nativa, SAF e Pastagem (0,0-10,0 cm e 20,0-40,0 cm), Mata Nativa (10,0-20,0 cm) e Mata Nativa, SAF e Mogno (40,0-60,0 cm) (Tabela 6). A FAF também foi maior na Mata Nativa e Pastagem na camada de 0,0-10,0 cm e menor na área de Mogno. E, na camada de 40,0-60,0 cm, os maiores teores encontrados foram nas áreas sob Mata Nativa e SAF e os menores teores sob pastagem.

A humina é considerada a fração com maior reserva de C no solo (EBELING et al., 2011). Por ser a fração que mais abriga C no solo, é coerente que seus maiores teores sejam nas áreas e camadas com maiores teores de C orgânico total, como as áreas sob Mata Nativa e Pastagem. Não somente a matéria orgânica, mas suas frações também são importantes indicadores de qualidade do solo (ROSA et al., 2017). Em solos de regiões tropicais, a humina é responsável pelo mecanismo da agregação das partículas do solo (BENITES et al., 2013), estando a mesma relacionada com a textura do solo e o porte arbóreo da vegetação (CLEMENTE et

al., 2018). Silva (2019) observou que as áreas de cerrado e cerradão apresentaram maiores valores de humina em relação a uma área degradada.

O C, associado às frações FAH e FAF, está em formas mais instáveis, em função da solubilidade. Sendo a FAF a mais solúvel e mais susceptível a perdas do solo, é importante que esteja presente em concentração abaixo das demais frações (SOUSA et al., 2020). Miranda et al. (2007) observaram maiores valores de C na FAF em Mata Atlântica (2 g kg^{-1}) do que em cultivos de eucalipto com 14, 16 e 18 anos (1,9; 1,8 e $1,5 \text{ kg}^{-1}$), nas profundidades entre 0,0-10,0 cm e 10,0-20,0 cm, na região entre Rio das Ostras e Casimiro de Abreu-RJ.

Enquanto Loss et al. (2020), em estudo de distribuição de C em FAF e FAH em áreas de mata nativa, pousio com 15 anos, pousio com 10 anos, roça com cultivo de aipim (2 anos), cultivo de eucalipto e sistema agroflorestral, observaram maiores valores na FAH em quatro das cinco áreas estudadas na camada superficial de 0,0-5,0 cm, enquanto que os valores de C na FAF foram maiores nas camadas mais profundas (5,0-10,0 e 10,0 cm). Essas frações químicas da matéria orgânica são mais sensíveis ao tipo de manejo adotado e estão relacionadas à estabilização da matéria orgânica, que se inicia com os ácidos fúlvicos, depois parte para a formação de ácidos húmicos e, por fim, torna-se humina (OHLAND et al., 2019).

Para o CO_P , os maiores teores na camada de 0,0-10,0 cm foram encontrados na área de Mata Nativa e SAF, não havendo diferenças entre os demais usos (Tabela 6). Na camada de 10,0-20,0 cm, o menor teor encontrado foi na área de Pastagem, com as demais áreas não diferindo entre si. Nas camadas de 20,0-40,0 e 40,0-60,0 cm, a Mata Nativa teve os maiores teores de CO_P e as demais áreas não diferiram entre si. Já para o CO_{AM} , nas camadas de 0,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-40,0 cm, os menores teores foram encontrados na área de Mogno, com as demais áreas não diferindo entre si. Na camada de 40,0-60,0 cm, o SAF apresentou os maiores teores (Tabela 6).

O CO_P é considerado a fração mais lábil e sensível ao manejo, mostrando que esse compartimento da matéria orgânica pode ser utilizado como um excelente indicador de qualidade do solo para avaliar sistemas de manejo em que as alterações no C orgânico do solo ainda não tenham sido em grande escala (CONCEIÇÃO et al., 2005). A curto prazo, o CO_{AM} é o menos afetado pelas práticas

de manejo, pois, o mesmo responde de forma lenta ao manejo do solo e, ao interagir com a fração argila do solo, o CO_{AM} se torna mais protegido e estável no sistema, especialmente em solos argilosos e muito argilosos (BAYER, 2004; DORTZBACH et al., 2020).

Balin et al. (2017) observaram maiores teores de CO_P na camada de 0,0-5,0 cm na área de Mata (2,64 g kg⁻¹) e CO_{AM} na área de lavoura de plantio direto também na camada de 0,0-5,0 cm (6,08 g kg⁻¹) em relação às demais áreas (pastagem com grama estrela e plantio de eucalipto com mais de 10 anos e profundidades 5,0-10,0, 10,0-20,0 e 20,0-40,0 cm).

Em relação aos estoques de serrapilheira entre os sistemas de uso do solo, a área sob plantio de Mogno Africano teve o menor estoque, com a Mata Nativa e o SAF não diferindo entre si. Para o C da serrapilheira, não se verificou diferença entre os sistemas de uso do solo avaliados (Tabela 7). O SAF, por ser mais diversificado em relação ao plantio de Mogno, apresentou serviço ecológico semelhante à Mata Nativa, demonstrando que o mesmo tem possibilitado melhorias na produção de serrapilheira, o que facilita o incremento de C ao solo.

Tabela 7: Estoque de serrapilheira e carbono da serrapilheira sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal (SAF) e Plantio de Mogno africano em Gravatá, PE, Brasil

Uso do solo	Estoque de serapilheira	C da serrapilheira
	Mg ha ⁻¹	%
Mata Nativa	190,61 a	22,33 a
SAF	159,21 a	20,73 a
Mogno	101,96 b	25,86 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si na coluna, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Apesar do pouco tempo de instalação do SAF na área, o estoque de serrapilheira já foi similar ao da Mata Nativa, fator que deve ser intensificado ao longo do tempo. Sistemas mais preservados de uso do solo possibilitam a melhoria das condições gerais de qualidade do solo e, com isso, do retorno às condições iniciais do ambiente antes da intervenção humana. Em função disso, presume-se que tempos maiores de estabelecimento deste sistema reflitam em maior intensidade os efeitos benéficos do aumento da cobertura vegetal sobre áreas antropizadas. Entretanto, as diferenças no estoque de serrapilheira ainda não foram observadas sobre o acúmulo de C desta biomassa no solo, possivelmente, pela alta variabilidade dos resultados de trabalhos realizados a campo.

4.2 Atributos físicos

Em relação à granulometria das áreas estudadas, verificou-se maior presença de argila em todas as camadas e usos da terra, sendo, então, a textura desses ambientes classificada como argilosa (Tabela 8). A granulometria tem relação com os processos de estabilização e de agregação, geralmente, sendo os solos mais argilosos aqueles mais agregados. Isso se justifica pela existência de forças de atração eletrostática, proporcionando ligações entre os componentes do solo e, com isso, a formação de agregados (FREITAS et al., 2020).

No geral, os teores de areia, silte e argila não diferiram entre as áreas sob os usos estudados, indicando a similaridade entre os solos nas quatro áreas. Por outro lado, vale destacar que os teores de silte observados indicam que os solos ainda estão em processo de intemperismo, pois esta fração geralmente está em baixas proporções em solos mais evoluídos.

Tabela 8: Composição granulométrica do solo nas camadas 0,0 - 10,0; 10,0 - 20,0; 20,0 - 40,0; e 40,0 - 60,0 cm sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal (SAF), Plantio de Mogno Africano e Pastagem, em Gravatá, PE, Brasil

Uso	Prof. cm	Composição granulométrica				
		Areia Grossa	Areia Fina	Areia total	Silte	Argila
		g kg ⁻¹				
Mata Nativa		203,89 a	126,71 ab	330,60 b	181,24 a	488,15 a
SAF		171,62 a	209,67 a	381,30 b	186,05 a	432,65 a
Plan. Mogno	0 – 10	264,95 a	148,77 ab	413,72 a	235,17 a	351,09 a
Pastagem		173,34 a	106,62 b	279,97 c	276,39 a	443,60 a
CV (%)		47,10	49,15	29,27	70,77	32,53
Mata Nativa		195,83 a	137,74 ab	333,58 a	234,42 a	431,99 a
SAF		196,26 a	185,48 a	381,74 a	181,68 a	436,56 a
Plant. Mogno	10 – 20	195,98 a	185,33 a	381,31 a	125,53 a	463,44 a
Pastagem		175,29 a	90,87 b	266,16 ab	276,43 a	457,39 a
CV (%)		39,08	43,96	30,22	66,07	31,05
Mata Nativa		181,93 ab	149,53 a	331,47 ab	236,23 a	432,29 b
SAF		150,45 b	166,22 a	316,67 ab	218,55 a	465,77 ab
Plant. Mogno	20 – 40	255,26 a	119,59 a	374,85 a	136,81 b	488,32 ab
Pastagem		123,82 b	130,65 a	254,48 b	179,55 ab	565,95 a
CV (%)		34,15	26,80	28,25	31,44	16,47
Mata Nativa		159,55 ab	156,45 a	316,01 ab	185,98 ab	498,00 a
SAF		149,63 b	181,90 a	351,53 a	142,78 bc	565,67 a
Plant. Mogno	40 – 60	212,41 a	158,85 a	371,26 a	106,26 c	522,47 a
Pastagem		127,06 b	110,92 b	237,99 b	230,08 a	531,91 a
CV (%)		29,29	22,03	19,53	33,24	14,57

Médias seguidas da mesma letra indicam não existir diferença significativa entre os usos em cada camada de solo, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Os altos teores de argila observados influem, também, na maior retenção de água no solo e por períodos mais longos. Isto, provavelmente, tem possibilitado o desenvolvimento da vegetação arbórea na área, com porte alto em relação a outras áreas no Agreste de Pernambuco.

Em relação à densidade partículas (Tabela 9), apenas a camada de 40,0-60,0 cm não mostrou diferença entre as áreas. Para as duas primeiras camadas superficiais, a área de mata mostrou os menores valores, enquanto que a de SAF se mostrou menor na camada de 20,0-40,0 cm. A pastagem apresentou as maiores densidades de partículas em todas as camadas estudadas.

De modo geral, os menores valores de densidade do solo foram observados nas camadas superficiais na Mata Nativa ($1,07 \text{ g cm}^{-3}$) e Pastagem ($1,17 \text{ g cm}^{-3}$), no entanto, com o aprofundamento das camadas, os valores de densidade do solo aumentaram (Tabela 9). Contrariamente, os maiores valores de D_s foram encontrados nas áreas sob cultivo de Mogno Africano, influenciando nos menores valores de porosidade total. E foram observadas diferenças para o volume total de poros até 40 cm de profundidade, onde as áreas sob cultivo de Mogno Africano tiveram os menores valores.

Especialmente nas camadas superficiais (0,0-10,0 e 10,0-20,0 cm), o volume de poros superou 50%, exceto sob cultivo de Mogno Africano. É possível que o pouco tempo de estabelecimento destas árvores não tenha sido suficiente para a melhoria das condições físicas do solo, que exigem maior período para que sejam observadas mudanças significativas. E isso também pode ser atribuído ao uso anterior na área, atualmente sob cultivo de Mogno Africano.

Assim como no presente estudo, Nicodemo et al. (2018), analisando a densidade do solo para quatro sistemas de uso da terra e em três profundidades, observaram menores valores para área de mata ($1,21 \text{ g cm}^{-3}$). Para os autores, a matéria orgânica proveniente dos restos vegetais é um dos fatores a agregar às partículas do solo, reduzindo a densidade. Já Sales et al. (2018), conduzindo estudos em quatro usos do solo e sete profundidades, assim como no presente estudo, verificaram aumento da densidade do solo no sistema agroflorestal e pastagem consorciada com milho, obtendo valores de $1,44 \text{ g cm}^{-3}$ na profundidade de 30,0-40,0 cm no uso de pastagem consorciada com milho.

Tanto a densidade do solo como o volume total de poros são propriedades relevantes na avaliação do solo, uma vez que ambos refletem nas taxas de infiltração de água no solo (CUNHA NETO et al., 2018). Uma maior densidade do solo está relacionada à maior resistência à penetração, provocada, principalmente,

pelo tráfego de máquinas pesadas e/ou animais. Partindo deste pressuposto, justifica-se porque na Mata Nativa foram verificados os menores valores de densidade do solo, uma vez que este ambiente natural é heterogêneo com variadas espécies e raízes e não é perturbado por atividades antrópicas (TORRES et al., 2011; NICODEMO et al., 2018).

Tabela 9: Atributos físicos e estoque de carbono do solo nas camadas 0,0 – 10,0; 10,0 – 20,0; 20,0 – 40,0; e 40,0 – 60,0 cm sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal (SAF), Plantio de Mogno Africano e Pastagem, em Gravatá, PE, Brasil

		Ds ¹	Pt ³	GF ⁵	Estoque de C
cm		g cm ⁻³	%	%	t ha ⁻¹
Mata Nativa		1,07 c	56,08 a	87,34 ab	39,5 a
SAF		1,25 ab	51,46 ab	73,36 b	23,29 bc
Plant. Mogno	0 – 10	1,38 a	45,55 b	99,06 a	15,59 c
Pastagem		1,17 bc	55,17 a	98,97 a	28,6 ab
CV (%)		10,53	11,66	36,74	42,83
Mata Nativa		1,24 b	50,88 a	98,70 a	25,54 a
SAF		1,18 b	54,3 a	98,42 a	18,66 ab
Plant. Mogno	10 – 20	1,42 a	42,5 b	98,63 a	14,48 b
Pastagem		1,23 b	53,77 a	97,90 a	14,31 b
CV (%)		8,96	9,30	1,97	45,26
Mata Nativa		1,37 a	46,79 b	96,83 a	43,51 a
SAF		1,25 b	49,46 b	36,90 b	37,36 a
Plant. Mogno	20 – 40	1,37 a	46,11 b	43,98 b	22,01 b
Pastagem		1,18 b	55,97 a	80,56 a	19,85 b
CV (%)		7,03	7,24	36,93	29,56
Mata Nativa		1,36 a	45,57 a	94,47 a	37,22 a
SAF		1,34 a	34,08 a	58,60 b	33,08 a
Plant. Mogno	40 – 60	1,37 a	44,82 a	64,49 ab	10,01 b
Pastagem		1,22 a	53,09 a	63,08 ab	7,17 b
CV (%)		12,05	35,11	35,44	50,75

¹Densidade do solo; ² Densidade de partículas; ³Porosidade total; ⁴Argila dispersa em água; e ⁵Grau de floculação. Médias seguidas da mesma letra indicam não existir diferença significativa entre os usos do solo dentro de cada camada, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro.

Como observado na Tabela 10, as áreas antropizadas tiveram os maiores valores de densidade do solo, reflexo da provável forma como as atividades vêm sendo desenvolvidas nessas áreas. Embora o maior valor de densidade do solo observado tenha sido de $1,42 \text{ g cm}^{-3}$, os valores encontrados no estudo ainda estão abaixo do valor crítico de desenvolvimento, que é de $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ (REINERT; REICHERT, 2016). Nessas áreas, os maiores valores de densidade do solo em camadas mais profundas podem estar associados ao processo de compactação do solo por meio das atividades de aração e gradagem. Tais atividades dificilmente atingem essas camadas mais profundas, no entanto, vão sendo adensadas e tendo perda de porosidade por meio da colmatação e pela movimentação de partículas de argila translocadas das camadas superiores (KAISER, 2010; MEDEIROS, 2016; SALES et al., 2018).

Altos valores de argila dispersa em água demonstram que o solo pode estar sofrendo desagregação e se tornando susceptível à erosão. A argila dispersa pode variar de acordo com alguns fatores, como, por exemplo, a textura do solo e o manejo (Teixeira et al., 2017). Maiores teores de argila dispersa no solo refletem baixos graus de floculação, comportamento este observado nos dados da Tabela 9. A floculação do solo está relacionada à interação de suas partículas coloidais por meio das cargas elétricas de superfície e depende do equilíbrio físico-químico do meio, resultando em um ambiente floculado (VAN LIER, 2010).

Foram verificadas diferenças no estoque de C entre os usos estudados em todas as camadas avaliadas, com destaque para a área sob Mata Nativa (Tabela 9). Na camada superficial de 0,0-10,0 cm, os maiores valores observados foram na Mata Nativa ($39,15 \text{ t ha}^{-1}$) e na Pastagem ($28,06 \text{ t ha}^{-1}$). Nas demais camadas, as áreas sob Mata Nativa e SAF apresentaram os maiores valores de estoque de C, embora esses valores não tenham seguido uma ordem contínua de acordo com as profundidades.

Em relação ao somatório do estoque de C das camadas, observa-se o maior estoque na área sob Mata Nativa ($145,20 \text{ t ha}^{-1}$), seguido da área de SAF ($117,42 \text{ t ha}^{-1}$), da área de Pastagem ($69,39 \text{ t ha}^{-1}$) e área de plantio de Mogno Africano ($62,82 \text{ t ha}^{-1}$) (Figura 5).

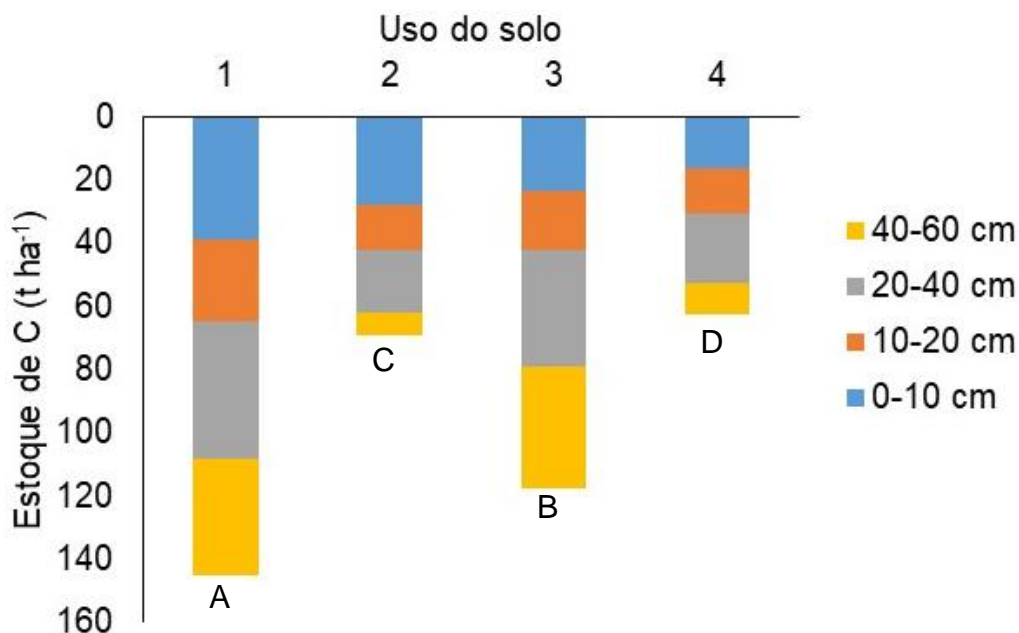


Figura 5: Estoque de carbono do solo nas camadas 0,0 - 10,0; 10,0 - 20,0; 20,0 - 40,0; e 40,0 - 60,0 cm sob Mata Nativa (1), Pastagem (2), Sistema Agroflorestal (3) e Mogno Africano (4), em Gravatá, PE, Brasil. Médias de estoque de carbono de 0-60 cm seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Corroborando com o estudo, Troian et al. (2020) também encontraram maiores estoques de C em área sob mata ($8,76 - 14,79 \text{ Mg ha}^{-1}$). Esses maiores valores de estoque de C são atribuídos ao constante aporte de resíduos vegetais sobre a superfície do solo e à ausência de perturbação no sistema ao natural (REIS et al., 2018; ASSUNÇÃO et al., 2019).

O ciclo de vida da pastagem, por ser relativamente curto, tem uma rápida ciclagem do sistema radicular, o que ocasiona uma rápida decomposição do material vegetal e o retorno do C ao solo, e isso pode aumentar os teores de C na camada superficial do solo nesse tipo de uso (SOUZA et al., 2012).

Sistemas agroflorestais podem ser considerados alternativas viáveis no incremento de C no solo, seja pelas espécies que compõem o sistema ou pelas técnicas empregadas pelos produtores (SANTOS et al., 2019). No mais, o estoque de C aumenta quando se adiciona biomassa vegetal, especialmente quando se consegue disponibilizar C em maiores profundidades (BALESDENT; BALABANE, 1996), sendo estes influenciadores no estoque final de C do solo (SCHETTINI et al., 2019).

4.3 Atributos biológicos

Dentre os atributos biológicos do solo, o C da biomassa microbiana (CBM) não variou significativamente entre os sistemas estudados (Figura 6), apesar do tipo de uso do solo influenciar a ação da biomassa microbiana, o que pode aumentar ou diminuir as concentrações de C no solo (D' Andrea et al., 2006). Esse resultado evidencia que, na situação estudada, todos os ambientes, mesmo sofrendo ações antropizadas, ainda estão propícios a oferecer condições favoráveis ao desenvolvimento dos micro-organismos de forma semelhante ao ambiente natural. No entanto, observou-se, também, alta variabilidade dos resultados, o que pode ter interferido para não serem verificadas diferenças entre os sistemas de uso do solo.

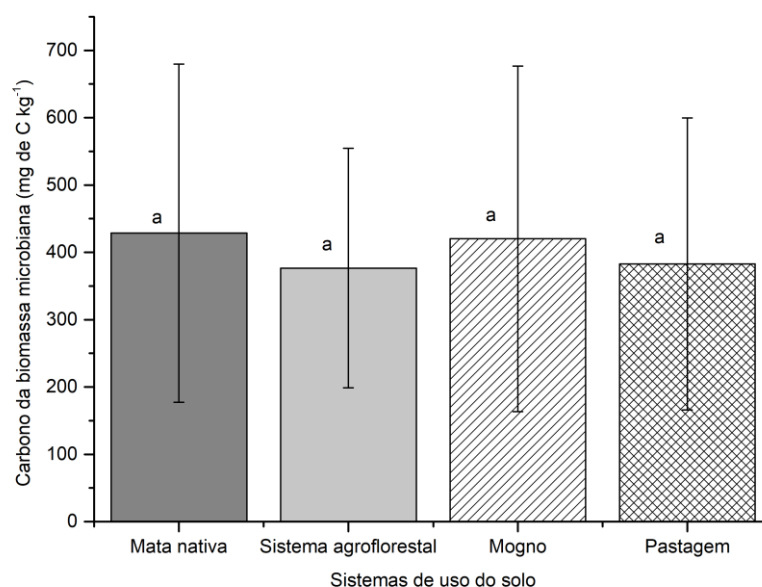


Figura 6: Carbono da biomassa microbiana em áreas sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal, Plantio de Mogno Africano e Pastagem na camada de 0,0-10,0 cm, em Gravatá, PE, Brasil. Coeficiente de variação: 56,49%. Barras de desvio padrão.

Os resultados obtidos divergem de outros trabalhos, nos quais áreas sob vegetação nativa apresentaram maiores valores de CBM, a exemplo de Primieri et al. (2017). Estes autores averiguaram maior atividade microbiana nos solos de

campo nativo (1353, 60 mg kg⁻¹ de C no solo) e floresta ombrófila mista (1333,19 mg kg⁻¹ de C no solo), em relação aos plantios de eucalipto e pinus, na profundidade 0,0-20,0 cm, sendo que, de acordo com os autores, esse resultado talvez esteja associado ao tipo de resíduo vegetal depositado no solo, já que, em ambientes naturais, a cobertura do solo tende a ser mais heterogênea e a microbiota mais diversificada. Já Santana et al. (2017), trabalhando também na camada de 0,0-20,0 cm, verificaram maiores valores de CBM na área sob mata nativa (257,9 mg kg⁻¹ de C no solo) em relação a áreas sob cultivo de bananeira e pastagem (129,5 e 188 mg kg⁻¹ de C no solo, respectivamente).

São comuns variações nos valores de CBM, como os da presente pesquisa e os de Primieri et al. (2017) e de Santana et al. (2017), isso pode ser justificado pelas diferentes condições ambientais em que as pesquisas se desenvolveram. No caso estudado, trata-se de uma área de transição entre a Zona da Mata e a Região do Agreste de Pernambuco, com precipitação média anual de 725 mm, caracterizada pela distribuição irregular no tempo e anos mais secos.

Áreas sob matas nativas, por serem menos perturbadas, produzem maiores quantidades de material orgânico, que ficam disponíveis no ambiente para a atividade microbiana (TAVARES et al., 2018). Em contrapartida, os sistemas de cultivo tendem a abrigar menor atividade microbiana, por conta da perturbação sofrida pelo manejo empregado (KASHUK et al., 2010).

Por outro lado, foi observada maior respiração basal na área sob Mata Nativa (30,53 mg kg⁻¹ h⁻¹ de CO₂ no solo) (Figura 7), destacando-se em relação às demais áreas. Assim como no presente estudo, Canei et al. (2018) observaram incremento de cerca 113% de respiração basal em área nativa na camada de 0,0-20,0 cm, no mesmo bioma das outras áreas estudadas (pinus e araucária). A atividade microbiana é considerada uma propriedade importante, principalmente quando se leva em consideração a decomposição de resíduos orgânicos para a disponibilização de nutrientes (PRIMIERY et al., 2017). Este atributo se torna importante porque sugere alta atividade biológica diretamente associada com a disponibilidade de C (MERCANTE et al., 2006; ALLEN et al., 2011), sendo muitas vezes utilizado como atributo de qualidade do solo.

Deste modo, uma alta taxa de respiração basal pode ser considerada uma característica benéfica, considerando-se que ocorrerá maior disponibilidade de nutrientes para as plantas pela decomposição de materiais orgânicos (ROSCOE et al., 2006). No entanto, ainda de acordo com estes mesmos autores, uma alta taxa de respiração pode liberar C da matéria orgânica estável, diminuindo as reservas que ficariam no solo, participando de processos químicos e físicos, como agregação, disponibilidade de nutrientes, capacidade de troca catiônica e capacidade de retenção de água.

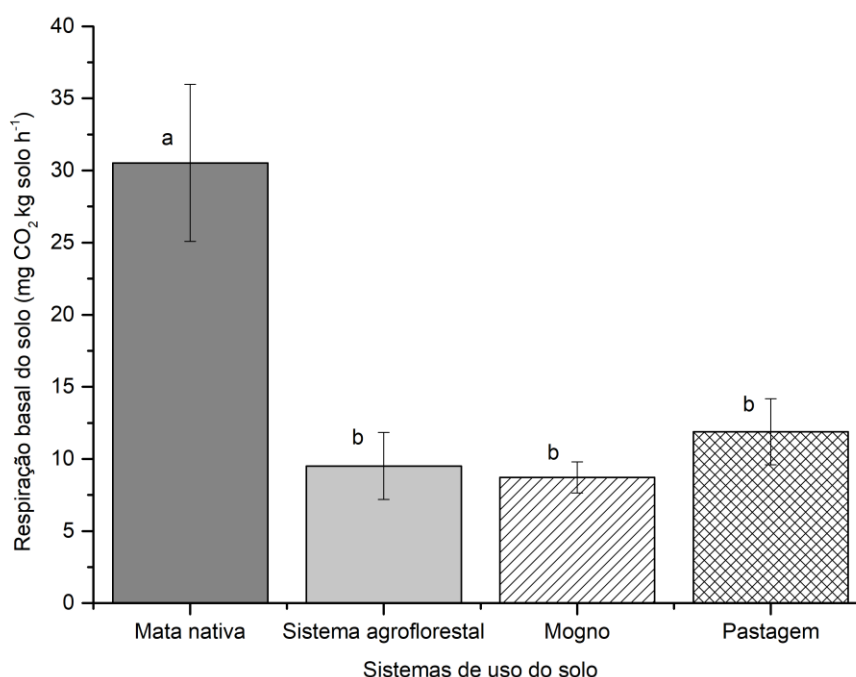


Figura 7: Respiração basal do solo em áreas sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal, Plantio de Mogno Africano e Pastagem na camada de 0,0-10,0 cm, em Gravatá, PE, Brasil. Coeficiente de variação: 21,46%. Barra de desvio padrão.

Foram observadas diferenças significativas para ambos os quocientes, onde a área sob Mata Nativa apresentou maior q_{CO_2} ($0,09 \mu g kg^{-1}$) e o plantio de Mogno Africano teve maior q_{Mic} (4,33%) (Figura 8A e 8B). Estas duas variáveis são

indicadoras da atividade microbiológica do solo e ajudam a identificar se o solo está aumentando ou não seu estoque de C (PRIMIERY et al., 2017). Essas variáveis indicam a eficiência da biomassa microbiana no uso de recursos do sistema e, quando ocorre uma perturbação nesse sistema, provavelmente, a população microbiana irá oxidar C da própria biomassa para a sua manutenção (ISLAM; WEIL, 2000).

Resultado semelhante foi encontrado por Francaviglia et al. (2017), quando estudaram os atributos microbiológicos do solo, na profundidade 0,0-20,0 cm em seis usos do solo no nordeste de Sardenha, Itália. Eles verificaram maiores valores de qCO_2 para a Floresta de Carvalho (nativa) ($3,28 \text{ mg kg}^{-1}$) e uma Antiga Lavoura de vinhedo de 66 anos ($2,63 \text{ mg kg}^{-1}$) em relação às demais áreas estudadas (Lavoura de vinhedo de 27 anos, Lavoura de vinhedo sem cultivo de pastagem de 31 anos, área de produção de feno e uma área de pastagem, ambas de 47 anos).

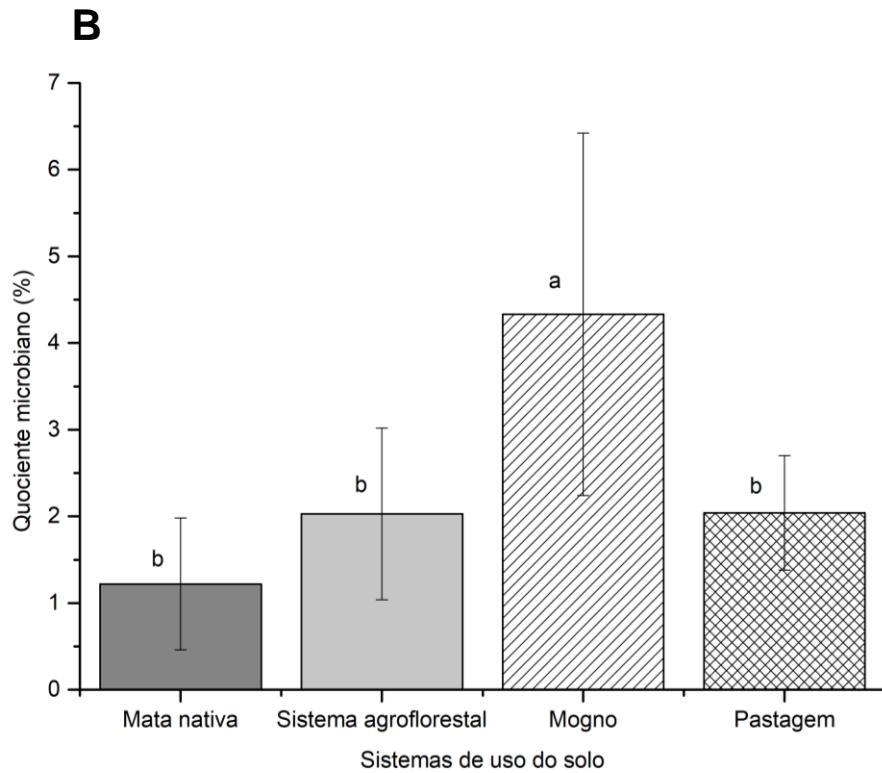
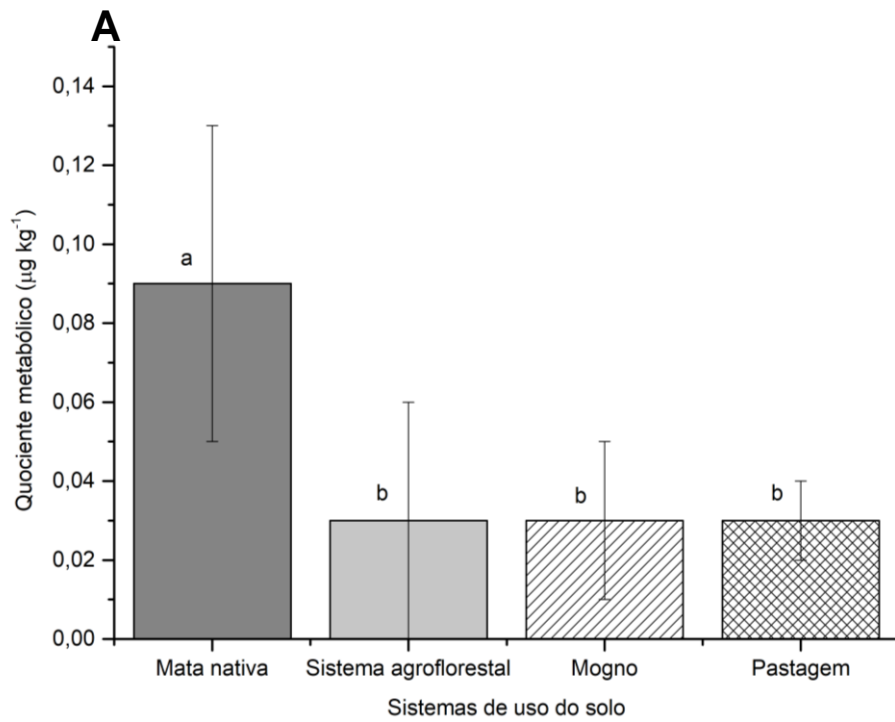


Figura 8 Quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) e quociente microbiano ($q\text{Mic}$) em áreas sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal, Plantio de Mogno Africano e Pastagem na camada de 0,0-10,0 cm, em Gravatá, PE, Brasil. Coeficiente de variação: 63,33 e 59,23%, respectivamente.

Leite et al. (2013) citam valores de referência para o quociente microbiano de 2 a 5% para nível de equilíbrio no solo. Baseando-se nesse intervalo, pode-se inferir que a área nativa está sofrendo estresse ambiental por apresentar valores abaixo desse intervalo (1,22%). Com base nesse intervalo proposto, as demais áreas, Mogno (4,33%), SAF (2,03%) e Pastagem (2,04%), evidenciam equilíbrio na microbiota desses ambientes. Corroborando com esse resultado, Silva et al. (2019) encontraram menores valores de $qMIC$ para floresta nativa (6,70%) e reflorestamento (5,97%), enquanto que, para os demais usos do solo, os valores variaram 6,49 - 10,52% (eucalipto, soja e milho e pastagem) na profundidade de 0,0-10,0 cm.

No entanto, esses resultados divergem dos encontrados por Pôrto et al. (2009), no qual o $qMIC$ variou entre 1,10% e 1,21%, mas não se verificaram diferenças significativas entre os usos dos solos estudados (mata nativa, fruticultura, cana-de-açúcar, sucessão de cultivos, pastagem e consórcios de culturas) na profundidade de 0,0-20,0 cm. De acordo com os autores, o $qMIC$ não discriminou possíveis alterações no uso do solo nessas áreas. Já Cardoso et al. (2009) observaram valores de $qMIC$ variando de 2,5 - 3,2% para áreas nativas no Pantanal Sul-Mato-Grossense, de 1,9 - 2,3% para pastagens nativas e 1,7 - 2,4% para pastagens cultivadas na camada de 0,00-10,0 cm.

Perturbações no $qMIC$ indicam estresse, que interferem na utilização de C pelos micro-organismos (WARDLE, 1997). Por exemplo, os baixos valores encontrados na área de Mata Nativa podem indicar baixa qualidade nutricional na matéria orgânica, o que pode atrapalhar uso do C orgânico do solo pela microbiota (GAMAS-RODRIGUES et al., 2008). E, nas áreas sob Pastagem, a ausência de serrapilheira e o pisoteio de animais podem atrapalhar no desenvolvimento da microbiota. Já para cultivos que usam espécies arbóreas, como as espécies florestais que possuem raízes profundas, como o mogno de aproximadamente 4 m (REIS et al., 2019), isso tende a proporcionar, nas camadas superficiais, mais biomassa para a proteção do solo e serrapilheira para ação da microbiota (BUDOWSKI, 1991), fator esse que pode ter contribuído para o maior valor de $qMIC$ na área de Mogno.

Para avaliar o conjunto das variáveis analisadas em todo o trabalho, foi realizada uma análise de componentes principais, com o objetivo de reduzir o

número de componentes para aqueles que tiverem a capacidade de explicar a maior parte de variabilidade nos dados originais (RIBAS; VIEIRA, 2011).

Assim, as variáveis físicas, químicas e biológicas das camadas estudadas entre 0,0 e 60,0 cm, juntas, explicaram 65% da variação dos dados nas duas componentes principais (CP1 e CP2) (Figura 9). O autovalor para o CP1 foi de 0,279, ou seja, o primeiro componente explica 27,90% da variância total. Já o autovalor para o CP2 foi de 0,171, isto é, o segundo componente explica 17,87% da variância total. Já o terceiro componente obteve autovalor de 0,164 ou 16,4%.

Para a análise de componentes principais, quanto maior for o vetor, mais dominante o mesmo será para a análise (BORCARD et al., 2011). Assim, para a área sob plantio de Mogno, os componentes que mais contribuíram foram saturação por bases (V), capacidade de troca de cátions efetiva (t) e cálcio. Já na área sob mata nativa, foram alumínio (Al^{3+}), grau de floculação (GF), respiração basal do solo (RBS), C particulado (COP) e saturação por alumínio (m) (Figura 9).

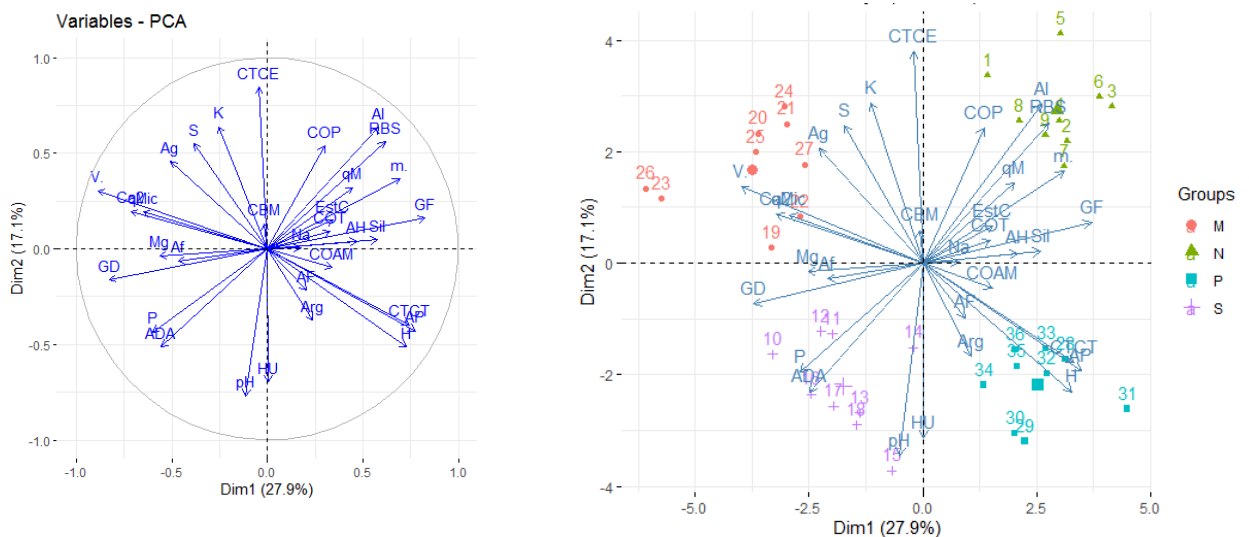


Figura 9: Análise dos componentes principais CP1 e CP2 de 32 atributos do solo, na profundidade de 0,0-60,0 cm, nos sistemas de uso Mata Nativa (N), Mogno Africano (M) Pastagem (P) e SAF (S), em Gravatá, PE, Brasil.

Na área sob Pastagem, capacidade de troca de cátions (CTC), hidrogênio (H) e acidez potencial (H+Al) foram os componentes que mais se destacaram. E, na área de SAF, os componentes que melhores explicaram as variações foram pH, fósforo disponível (P), argila dispersa em água (ADA) e C na fração humina (HUM).

Provavelmente isso tenha acontecido devido aos valores alcançados por esses atributos em cada área. Assim, o preparo de cada sistema pode ter influenciado nas variáveis, sendo praticamente impossível isolar apenas uma variável para explicar a variação ocorrida em cada sistema, sendo necessário o cruzamento de variáveis, pois a alteração que uma variável venha a sofrer pelo manejo do solo pode afetar as demais (SANTI et al., 2012, CASTILHO et al., 2017).

4.4 Entomofauna do solo

Para a entomofauna do solo foram observados o total de 3.005 indivíduos, em ordem decrescente: 1.806 na área de Mogno, 446 no SAF, 432 na Pastagem e 321 na Mata Nativa. Houve diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre os sistemas de uso do solo para o número de artrópodes, sendo a área de Mogno a de maior número de insetos ocorrentes (Figura 10).

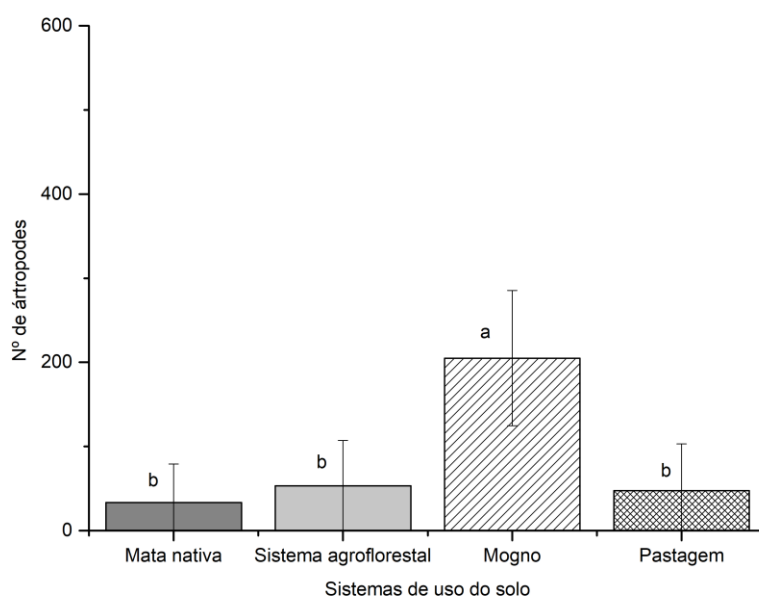


Figura 10: Número de artrópodes capturados em áreas sob Mata Nativa, SAF, Mogno Africano e Pastagem na camada de 0,0-10,0 cm, em Gravatá, PE, Brasil. Coeficiente de variação: 20,56%. Barra de desvio padrão.

A maior ocorrência de insetos em plantio simples também foi encontrada por Dantas et al. (2021) em plantio de macieira, cujo o número de indivíduos foi de 823, valor superior à área de tomateiros (605) e mata nativa (117). Nessas áreas em que apenas uma espécie é implantada, muitas vezes, o preparo convencional do solo é o manejo empregado e isso pode alterar a biodiversidade do solo (Coelho et al., 2018). Resultado similar foi encontrado por Pessoto et al. (2020), em florestamento de *Eucalyptus ssp.* e *Pinus ssp.*, lavoura de grãos, solo impactado por construção civil e pastagem natural, observando maiores quantidades de indivíduos nas áreas de florestamento, destacando-se a ordem collembola (310 e 418 indivíduos) para *Eucalyptus ssp.* e *Pinus ssp.*, por serem áreas com apenas uma espécie, o manejo destas é mais simples, como, por exemplo, a aplicação de produtos que podem impactar na entomofauna

O período da coleta dos insetos foi no mês de setembro de 2020, sendo este o terceiro mês com menor temperatura (21,8 °C) e o sexto mês com maior umidade (79%) no ano de 2020 para o município de Gravatá (Figura 11), tornando essa época do ano propícia para a coleta de insetos terrestres.

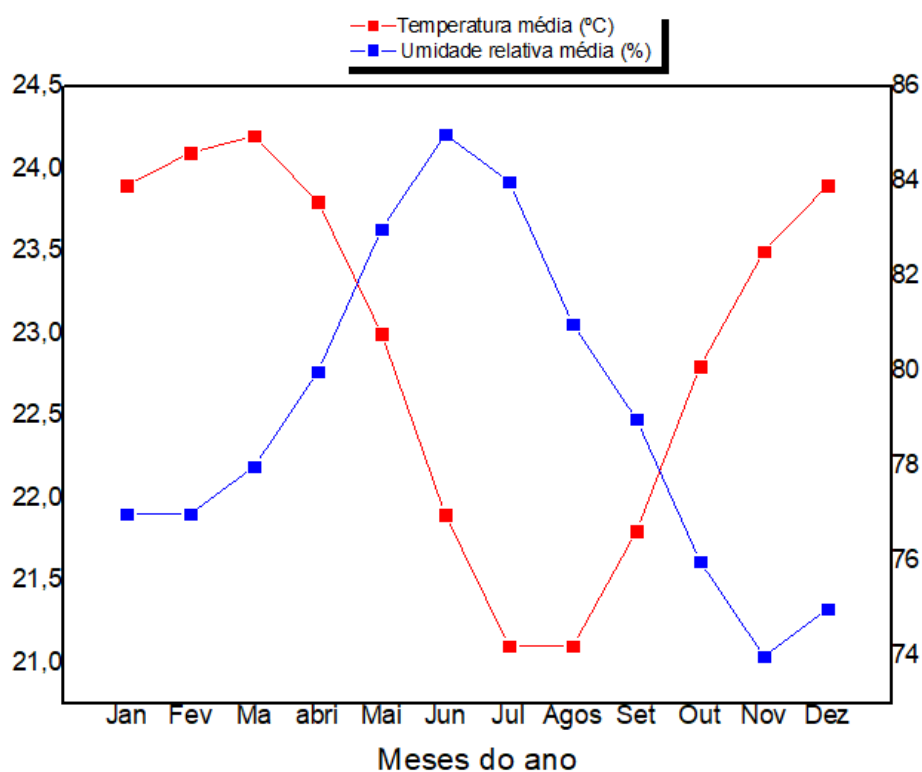


Figura 11: Temperatura e umidade relativa mensal para o município de em Gravatá, PE, Brasil no ano de 2020. Fonte: Clima-dat.org, 2021.

Goés et al. (2021), pesquisando o comportamento de artrópodes em duas estações do ano (inverno e verão) na região dos Pampas, observaram a maior ocorrência desses insetos no período mais frio e com temperaturas mais amenas (inverno), no entanto, o número de ordens foi maior no verão. Alves et al. (2018) também observaram uma maior ocorrência de indivíduos no inverno na região da Caatinga, evidenciando que, por não possuírem um sistema de termoregulação, a temperatura se torna um dos fatores mais importantes no desenvolvimento dos insetos, pois esta regula a temperatura do inseto (ROGRIGUES, 2004). Ainda segundo esse mesmo autor, a faixa de 15 – 38 °C é considerada ideal para o desenvolvimento da maioria dos insetos, pois, abaixo de 15 °C, entram em hibernação, podendo levar à morte com a redução da temperatura. E, acima de 38 °C, as espécies entram em estivação temporária, podendo também levar à morte com o aumento da temperatura.

Já a umidade ideal, para os insetos, está no intervalo de 40 a 80%, sendo essa faixa propícia a uma maior velocidade de desenvolvimento, longevidade e fecundidade (RODRIGUES, 2004), em que solos cuja umidade esteja acima desta faixa favorecem o aparecimento de fungos entomopatogênicos, que prejudicam o desenvolvimento de insetos. Essas informações demonstram que o clima na região estava propício para presença e captura dos insetos.

As ordens mais presentes foram Collembola (70,08%), Diptera (12,04%) e Hymenoptera (8,91%), correspondendo 91,03% dos insetos coletados (Tabela 1). Já em relação à distribuição das ordens dentro dos usos, as mais presentes foram Collembola (57,32%) e Diptera (19,31%) na área sob Mata Nativa; Collembola (32,40%), Diptera (46,52%) e Hymenoptera (15,97%) na área sob Pastagem; Collembola (42,15%), Diptera (9,64%) e Hymenoptera (21,97%) na área sob SAF; e Collembola (88,26%), Diptera (3,10%) e Hymenoptera (4,59%) na área sob Mogno (Tabela 10).

Em relação à área sob Mata Nativa, foram encontradas 10 ordens, das quais duas apresentaram superdominância: Collembola com 184 indivíduos e díptera com 62 indivíduos (Tabela 10). Essas mesmas ordens foram classificadas como superabundantes e superfrequentes. A taxa de constância, para todas as ordens encontradas nessa área, foi classificada como constante. Para as demais ordens, a dominância dos indivíduos foi classificada em 14,64% dominantes e 3,11% não dominantes; quanto à abundância, cerca de 11,83% dos indivíduos são classificados como muito abundantes, 4,67% dos indivíduos são comuns e 1,24% são dispersos. Já em relação à frequência, 11,83% dos indivíduos são muito frequentes, 4,67% são frequentes e 1,24% são poucos frequentes.

Tabela 10: Análise da entomofauna em áreas sob Mata Nativa, Sistema Agroflorestal, Plantio de Mogno Africano e Pastagem, em Gravatá, PE, Brasil

Mata Nativa							
Ordem	N	Dominância	Abundância	Frequência	Fa	Fr (%)	Constância
Araneae	9	D	C	F	66,66	14,63	W
*Collembola	184	SD	SA	SF	88,88	19,51	W
Diplura	1	ND	D	PF	11,11	2,44	W
*Diptera	62	SD	SA	SF	77,77	17,07	W
Hemiptera	1	ND	D	PF	11,11	2,38	W
*Hymenoptera	18	D	MA	MF	77,77	17,07	W
Protura	3	ND	C	F	22,22	4,88	W
Orthoptera	3	ND	C	F	22,22	4,88	W
Acarina	2	ND	D	PF	22,22	4,88	W
*Coleoptera	20	D	MA	MF	66,66	14,63	W
Total	321	-	-	-	455,55	100	-
Sistema Agroflorestal							

Ordem	N	Dominância	Abundância	Frequência	Fa	Fr(%)	Constância
Araneae	18	D	C	F	66,66	10,52	W
*Collembola	188	SD	SA	SF	55,55	8,77	W
Diptera	43	D	C	F	77,77	12,28	W
Diplópode	3	ND	D	PF	11,11	1,75	W
Hemiptera	15	D	C	F	66,66	10,53	W
*Hymenoptera	98	D	MA	MF	100	15,79	W
Protura	5	ND	D	PF	55,55	8,77	W
Orthoptera	9	D	C	F	66,66	10,53	W
*Acarina	58	D	MA	MF	55,55	8,77	W
Coleoptera	4	ND	D	PF	44,44	7,02	W
Indeterminado	5	ND	D	PF	33,33	5,26	W
Total	446	-	-	-	633,28	100	-

Mogno Africano							
Ordem	N	Dominância	Abundância	Frequência	Fa	Fr(%)	Constância
*Araneae	31	SD	SA	SF	88,89	14,81	W
*Collembola	1594	SD	SA	SF	100	16,67	W
*Diptera	56	SD	SA	SF	88,89	14,81	W
*Hemiptera	16	D	MA	MF	66,67	11,11	W
*Hymenoptera	83	SD	SA	SF	88,89	14,81	W
Protura	2	ND	C	F	11,11	1,85	W
Orthoptera	7	D	C	F	55,56	9,26	W
Coleoptera	6	D	C	F	33,33	5,56	W
Acarina	3	ND	C	F	11,11	1,85	W
Isoptera	3	ND	C	F	11,11	1,85	W
Blatodea	1	ND	D	PF	11,11	1,85	W
Indeterminado	4	ND	C	F	33,33	5,56	W
Total	1806	-	-	-	600	100	-

Pastagem							
Ordem	N	Dominância	Abundância	Frequência	Fa	Fr(%)	Constância
Araneae	4	ND	MA	F	44,44	11,11	W
*Collembola	140	D	MA	MF	88,88	22,22	W
*Diptera	201	D	MA	MF	100	25	W
Hemiptera	7	D	MA	MF	44,44	10	W
Hymenoptera	69	D	MA	F	77,77	19,44	W
Orthoptera	3	ND	MA	F	33,33	8,33	W
Acarina	6	D	MA	F	33,33	8,33	W
Coleoptera	1	ND	MA	F	11,11	2,78	W
Quilópode	1	ND	MA	F	11,11	2,78	W
Total	432	-	-	-	400	100	-

N: número de indivíduos capturados; ND: não dominante; D: dominante; SD: superdominante; D: disperso; C: comum; A: abundante; MA: muito abundante; SA: superabundante; PF: pouco frequente; F: frequente; MF: muito frequente; SF: superfrequente; e W: constante.

No SAF, foram encontradas 10 ordens, sendo superdominante a Collembola, com 188 indivíduos, bem como superabundante e superfrequente (Tabela 13). A taxa de constância foi a mesma para todas as ordens, sendo classificadas como constantes. Em relação às demais ordens, para dominância, os indivíduos se dividiram em dominantes, correspondendo a 54,04% dos indivíduos e 3,81% dos indivíduos não dominantes. Já para a abundância, 34,97% dos indivíduos são classificados como muito abundantes, 19,05% são classificados como comuns e 3,81% dos indivíduos são dispersos. Para a frequência, cerca de 34,97% dos indivíduos são muito frequentes, 19,05% são frequentes e 3,81% são pouco frequentes.

Na área de Mogno, foram encontradas doze ordens, sendo quatro ordens apresentadas com superdominância: Collembola (1594), Hymenoptera (83), Diptera (56) e Araneae (31). Essas mesmas ordens também foram classificadas como superabundantes e superfrequentes (Tabela 13). Assim como para as demais áreas, a taxa de constância foi constante para todas as ordens. Já para as demais ordens, 16,05% dos indivíduos foram dominantes e 7,19% dos indivíduos foram não dominantes. Para a abundância, 0,88% dos indivíduos foram muito abundantes, 1,38% dos indivíduos foram comuns e 0,05% dispersos. Para frequência, 0,88% foram muito frequentes, 1,38% dos indivíduos foram frequentes e 0,05% pouco frequentes.

É interessante ressaltar o elevado número de insetos encontrado na área sob cultivo de Mogno (Figura 9), sendo cerca de 88% desses insetos composto pela ordem Collembola. Há de se considerar todos os tratos culturais realizados neste sistema, como a aplicação de inseticidas, manejo adotado na propriedade avaliada, visando permitir maior desenvolvimento das árvores. Assim, este aumento dos insetos, em especial Collembolas, na área de Mogno pode estar associado ao inseticida. De acordo com Marquine et al. (2002), em áreas tropicais, a ação do inseticida pode ser mais branda e, em vez de promover a eliminação dos insetos, pode provocar um efeito contrário, como o aumento dessas populações. As altas temperaturas e precipitação nesses ambientes podem provocar a degradação do inseticida e promover a reprodução e desenvolvimento desses insetos, como afirmado por Paterniani (1990).

Na área de Pastagem, foram encontradas 9 ordens, onde duas ordens apresentaram superdominância: Collembola com 140 indivíduos e díptera com 201 indivíduos (Tabela 13). Essas ordens foram classificadas como dominantes, muito abundantes e muito frequentes. Para a taxa de constância, todas as ordens foram classificadas como constantes. Para as demais ordens, a dominância dos indivíduos foi classificada em 18,98% em dominantes e 1,15% em não dominantes. Para a abundância, todas as demais ordens se classificaram como muito abundantes e, para a frequência, cerca de 1,62% são muito frequentes e 21,06% dos indivíduos são frequentes.

Sabe-se que os insetos estão diretamente relacionados às atividades humanas, como por exemplo as atividades que envolvam plantios agrícolas e florestais. Os mesmos podem provocar prejuízos econômicos quando se comportarem como praga, prejudicando o crescimento e desenvolvimento do indivíduo vegetal. Por causa desse tipo de situação, a importância ecológica e até econômica dos insetos pode ser ofuscada devido a essa visão. No entanto, os insetos também exercem benefícios ecológicos, dependendo do objetivo que se quer alcançar ao se levar em consideração a ocorrência deles.

Além de poderem ser utilizados no controle biológico de pragas, o conhecimento dos tipos de ordens que ocorrerão em uma área pode ditar se aquele determinado local está em processo de desequilíbrio ou não. Dentre as coletas realizadas durante o trabalho, foram encontradas seis ordens descritas como bioindicadoras por (BROWN, 1997): Collembola, Isopetera, Hemiptera, Coleoptera, Diptera e Hymenoptera.

Partindo da premissa que os insetos são peças importantes na indicação da qualidade ecológica de um ambiente, pode-se destacar a importância das ordens que mais ocorreram nas coberturas vegetais do presente trabalho. Dentre essas ordens, tem-se a ordem Collembola, na qual os artrópodes são considerados os mais dominantes e abundantes do planeta Terra, sendo encontrados em todos os continentes (MARTINS et al., 2020a). Especialistas afirmam que existem cerca de 9000 espécies, sendo que a maioria ainda é desconhecida (BELLINGER et al., 2020). São considerados bons bioindicadores da qualidade do solo devido à alta sensibilidade dos mesmos em relação a mudanças no solo, como alteração de pH, matéria orgânica e outros (MACHADO et al., 2019). Além de que estão diretamente envolvidos com a ciclagem de nutrientes, regulação das populações microbianas e porosidade do solo (PESSOTTO et al., 2020).

Já a ordem Hymenoptera compreende os insetos considerados mais associados ao homem. Dentro desta ordem, estão as formigas, que possuem diversas funções ecológicas, desde insetos pragas até polinizadores de várias plantas (PEREIRA, 2017). Dentre as funções atribuídas a essa ordem, está a areação do solo, a decomposição da matéria orgânica e também a ciclagem de nutrientes (CREPALDI et al., 2014; BRITO et al., 2016). São insetos extremamente

sensíveis à perturbação ambiental, sendo, então, sua inclusão no grupo dos bioindicadores justificada por causa dessa sensibilidade.

No presente trabalho, essa ordem (Hymenoptera) foi encontrada em menor quantidade na área sob Mata Nativa (Tabela 13). Os insetos dessa ordem capturados em armadilhas terrestres, quase que em sua maioria, são compostos por formigas, e as formigas em grande quantidade no ambiente, em especial as formigas cortadeiras, denotam desequilíbrio. Provavelmente, ocorre um desequilíbrio ambiental nas áreas cultivadas, quando comparadas à área de vegetações nativa, já que a ocorrência de coleópteros indica um local ambientalmente mais saudável e as formigas evidenciam um ambiente com desequilíbrio. Por terem seu suprimento alimentar desequilibrado quando se faz um plantio florestal, a população de formigas tende a crescer, provocando prejuízos econômicos nos povoamentos.

A área sob Mata Nativa apresentou o maior número de indivíduos da ordem coleóptera, sendo 20 vezes maior do que a Pastagem, 5 vezes superior ao SAF e 3,3 vezes maior que na área sob mogno. Os coleópteros, por apresentarem natureza sedentária, são mais vulneráveis a mudanças ambientais, sendo sua distribuição local influenciada pelo tipo de cobertura vegetal (KIMBERLING et al., 2001; HALTER; ARELLANO, 2002). Corroborando com esse resultado, Moço et al. (2005), estudando a diversidade de insetos em coberturas vegetais, verificaram a maior quantidade de coleópteros na área de vegetação nativa, cerca de 37% dos insetos capturados. Também, Silva (2017) observaram a maior diversidade de insetos dessa ordem para floresta nativa.

Os coleópteros, em número de espécies, são os que apresentam maior riqueza (HAMADA; NESSIMIAN; QUERINO, 2014). Com um elevado número de espécies, suas funções no meio ambiente também são diversas, atuando como predadores, polinizadores, decompositores e dispersores de sementes, além de reciclarem a matéria orgânica, aumentando, assim, a produtividade do solo (DAVIS et al., 2001). Por conta dessa característica, esse grupo é um importante indicador ecológico que pode responder às diferenças estruturais entre coberturas vegetais (AZEVEDO et al., 2011). Além disso são insetos que promovem a remoção e reingresso da matéria orgânica no ciclo de nutrientes, contribuindo na aeração do solo e aumentando sua capacidade produtiva (MILHOMEM et al., 2003).

A ordem Hemiptera, representada pelos barbeiros, percevejos, cigarras e outros, alimentam-se da seiva de plantas, sendo alguns alimentados por outros insetos parasitas, contribuindo, assim, para o controle biológico (BORGES; SILVA; GIMENEZ, 2018). Também são sensíveis ao uso de produtos químicos e considerados bons indicadores de distúrbios em cultivos, níveis de poluição e plantas invasoras (WINK et al., 2005). Os dípteros, além de possuírem importância veterinária, também são importantes para o meio agrícola por serem usados na identificação de estágios sucessionais e no grau de antropização de uma área (OLIVEIRA et al., 2014).

A ordem Isoptera, representada pelos cupins, atuam na distribuição da matéria orgânica ao construírem suas galerias no solo, provocando mudanças na estrutura do solo e, conseqüentemente, em sua fertilidade (WINK et al., 2005). Também estão relacionados ao transporte de água e gases e são responsáveis pela criação de micro-habitats para outros organismos (BÜCHS, 2003). Além do mais, esses insetos são usados na indicação de acúmulo de metais pesados no solo (FILHO, 1995).

Dada a importância dos insetos como bioindicadores de qualidade, na literatura, também é encontrada a ocorrência desses animais em ecossistemas similares ao desta pesquisa (KLEIN; CERICATO; PREUSS, 2016), (TACCA; KLEIN; PREUSS, 2017), (BORGES; SILVA; GIMENEZ, 2018), (AQUINO et al., 2020) , (MARTINS et al., 2020b), (OLIVEIRA et al., 2014) e (PESSOTTO et al., 2020).

Os usos do solo SAF e Mogno apresentaram os maiores índices de diversidade ($H' = 1,73$ e $1,77$, respectivamente) (Tabela 12). Para o índice de equitabilidade, as áreas sob Mogno, SAF e Mata Nativa apresentaram os maiores valores ($E = 0,75$; $0,78$ e $0,85$, respectivamente). A maior riqueza, constatada pelo índice de Margalef, foi observada nas áreas sob Mogno e SAF ($\text{Alfa} = 1,87$ e $1,62$, respectivamente) (Tabela 11). Esses resultados demonstram que, nessas coberturas vegetais, os grupos de insetos são mais distribuídos, uniformes e mais frequentes.

Tabela 11: Índices de Shannon-Weaner, Limite de confiança, Margalef e Uniformidade calculados para cada cobertura vegetal

Uso do solo	H ¹	Limite de Confiança (H)		Alfa ²	E ³
		Inferior	Superior		

Mata Nativa	1,5308	1,503375	1,558244	1,4906	0,7867
Sistema agroflorestal	1,7393	1,732258	1,766358	1,6208	0,7554
Mogno	1,7792	1,743519	1,814843	1,8728	0,8556
Pastagem	1,1826	1,178891	1,186279	1,1566	0,5687

¹Índice de diversidade Shannon-Weaner; ²Índice de riqueza Margalef; ³Índice de Uniformidade ou equitabilidade.

Os maiores valores nos índices de diversidade corroboram com os valores obtidos para a quantidade de insetos (Figura 4), onde a área sob Mogno foi a que teve os maiores valores para a quantidade de insetos. Provavelmente, essa maior diversidade de insetos nesse uso do solo tenha sido influenciada pelo acentuado sub-bosque que se formou na área devido à ausência de capina (Figura 12).



Figura 12: Sub-bosque do Mogno em Gravatá, PE, Brasil.

Fonte: SANTOS (2021).

O sub-bosque pode estar atuando como um pequeno ecossistema, o qual esteja contribuindo para o equilíbrio da diversidade de insetos. Atrelado a isso, pode ter ocorrido influência da adubação química no momento do plantio das mudas e da irrigação que as plantas receberam durante o primeiro ano de estabelecimento do plantio.

Os insetos são excelentes indicadores ambientais por também estarem relacionados às propriedades do solo. A matéria orgânica se torna necessária para variadas ordens de insetos, que a utilizam como fonte de alimento. Algumas espécies de coleópteros atuam na fragmentação e transporte de matéria orgânica (POMPEU et al., 2016). Outros são sarcófagos, ou seja, alimentam-se de matéria orgânica em decomposição, logo, ambientes abundantes em matéria orgânica tendem a ser abundantes em coleópteros. Sendo assim, foi possível observar nesse estudo a relação direta entre a matéria orgânica e o número de coleópteros, estando evidenciado na área sob Mata Nativa, que teve os maiores teores de matéria orgânica superficialmente ($36,45 \text{ g kg}^{-1}$), como também maior número coleópteros (20). Assim, as demais áreas que apresentaram valores inferiores de C orgânico em superfície (Figura 4) também tiveram menor ocorrência desses indivíduos (Tabela 13).

De acordo com Lima et al. (2010), os sistemas agroflorestais são propícios para a ocorrência de formigas (Hymenoptera) por causa das condições de cobertura vegetal (serapilheira) que esses sistemas proporcionam ao disponibilizarem alimentação e abrigo a esses insetos. O fato da área sob SAF ter apresentado grande aporte de serapilheira ($159,21 \text{ Mg ha}^{-1}$), pode ter influenciado no elevado número de indivíduos (98) dessa ordem nesse sistema. Já nas áreas sob Pastagem, especialmente as que são manejadas, a tendência é que a diversidade de insetos diminua ao longo do tempo em decorrência dessas perturbações externas. Além de atuarem como dispersores, contribuindo para a diversidade vegetal, os insetos são considerados engenheiros do ecossistema, justamente pelos benefícios em que suas atividades proporcionam ao ambiente.

5. CONCLUSÕES

A área sob cultivo de Mogno apresentou os menores teores de carbono em três das quatro camadas estudadas. Padrão também observado para o fracionamento da matéria orgânica, com o C particulado sendo o atributo que promoveu melhor diferenciação entre as áreas. A densidade do solo foi a variável

física, que permitiu a melhor diferenciação entre as áreas, com a área sob Mogno apresentando a maior densidade em três das quatro camadas estudadas.

A área sob Mata Nativa foi a de melhor qualidade do solo pelos atributos biológicos, com maiores teores de C orgânico do solo e condições mais favoráveis à microbiota do solo. A área sob cultivo de Mogno reuniu a maior riqueza e abundância de insetos, sendo também o uso que teve a maior equitabilidade e diversidade de entomofauna. O estoque de C acumulado no solo permitiu a diferenciação entre as áreas com a mata nativa. Nos sistemas que usam árvores, houve acúmulo de serrapilheira e C, não diferindo do ambiente natural.

Ressalta-se que esses resultados condizem as condições em que as áreas estão sendo manejadas atualmente, sendo necessário a continuação do monitoramento dos atributos do solo a longo prazo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. L. .M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: Uma parceria florestal interessante. **Revista tecnologia e inovação agropecuária**, v.1, n.2, p.50-59, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/261706306_SISTEMAS_AGROFLORESTAIS_E_AGRICULTURA_FAMILIAR_UMA_PARCERIA_INTERESSANTE. Acesso em: 12 jan. 2021.
- ALLEN, D. E.; SINGH, B. P.; DALAL, R. C. Soil health indicators, soil health and climate change: A review of current knowledge. In: Singh, B.P.; Cowie A. & Chan K. (Eds.) . Soil Health and Climate Change. **Soil Biology**, v. 29, p.25-45, 2011. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20256-8_2.
- ALMEIDA, D. S. Atlântica. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**, p. 42–46, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.7476/9788574554402.0005>. Acesso em: 15 abr. 2021.
- ALVES, S. F. V.; FIALHO, J. S.; NOGUEIRA, F. C. B.; MAIA, L. S. Fauna edáfica como bioindicadora de restauração com arbóreas nativas, em área de caatinga. *Agrarian Academy, Goiânia-Goiás*, v.4, n.7, p.255, 2018. 10.18677/Agrarian_Academy_2017a25.
- ALVES, S. B.; LOPES, R. B.; VIEIRA, S. A.; TAMIA, M. A. Fungos entomopatogênicos usados no controle de pragas na América latina. In: ALVES, S. B.; LOPES, R. B. Controle Microbiano de pragas na América latina: Avanços e desafios. São Paulo: **Editora FAELQ**, 2008. p. 69-110.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in dormant state. **Biology and Fertility of Soils**, v.1, p.81-89, 1985. Disponível em: [Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state | SpringerLink](#). Acesso em: 11 jan. 2021.
- ANDREOLA, F.; COSTA, L. M.; OLSZEWSKI, N. Influência da cobertura vegetal de inverno e da adubação orgânica e, ou, mineral sobre as propriedades físicas de uma terra Roxa estruturada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p.857-865, 2000. <https://www.scielo.br/pdf/rbcs/v24n4/17.pdf>.
- ANTUNES, F. M. **Avaliação das propriedades física e química do solo em sistema agroflorestal no centro-sul fluminense**. 2017. 51p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: [DISSERTAÇÃO-Fernando.pdf \(ufrj.br\)](#). Acesso em: 03 mar. 2021.
- AQUINO, A. M.; MENEZES, E. L. A.; QUEIROZ, J. M. Recomendações para coleta de artrópodes terrestres por armadilhas de queda (“Pitfall-Traps”). **Circular técnica 18**. 2006.
- AQUINO, D. R; CHAVES, Q. S; PINA, W. C. Entomofauna edáfica em dois sistemas de cultivos de café conilon no extremo sul da Bahia. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba-PR, v.6, n.5, p.25703–25711, 2020.

<https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-138>.

ARAÚJO, E. A.; J. L.; LANI, AMARAL, E. F.; GUERRA, A. Uso da terra e propriedades físicas e químicas de argissolo amarelo distrófico na Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.28, p.307-315, 2004. [v28n2a09 \(scielo.br\)](https://doi.org/10.1590/S0034-737X2004000200009).

ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.187-206, 2012. [10.5777/PAeT.V5.N1.12](https://doi.org/10.5777/PAeT.V5.N1.12).

ARAÚJO, E. A.; KER, J.; MENDONÇA, E. S.; SILVA, I. V.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta amazônica**, v. 41, n. 1, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672011000100012>.

ARAÚJO, E. C. G.; SILVA, T. C.; COELHO, J. B. M.; BEZERRA NETO, E. BARRETO, L. P. Determinação do teor de carbono orgânico total em amostra vegetal pelo método volumétrico com diferentes volumes de ácido sulfúrico. **BIOFIX Scientific Journal**, v.5, n.1, p.50-53, 2020. [dx.doi.org/10.5380/biofix.v5i1.67939](https://doi.org/10.5380/biofix.v5i1.67939).

ARAÚJO, F. S. **Atributos do solo e suas relações com resíduos vegetais e matéria orgânica em áreas cultivadas com cana-de-açúcar, São Paulo**. 2012. 98p. **Tese** (Doutorado em engenharia agrícola) – UNICAMP, 2012. Disponível em: <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/256809>. Acesso em: 08 jun. 2021.

ASSUNÇÃO, S. A.; PEREIRA, M. G.; ROSSET, J. S.; BERBARA, R. L. L.; GARCÍA, A. C. Carbon input and the structural quality of soil organic matter as a function of agricultural management in a tropical climate region of Brazil. **Science of the Total Environment**, v.658, n.1, p.901-911, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.271>.

AZEVEDO, F. R.; MOURA, M. A. R.; ARRAIS, M. S. B.; NERE, D. R. Composição da entomofauna da Floresta Nacional do Araripe em diferentes vegetações e estações do ano. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v.58, n.6, p. 740-748, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000600010>.

BALESDENT, J.; BALABANE, M. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. **Soil Biol. Biochem**, v.28, n.9, p. 1261-1263, 1996. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(96)00112-5).

BALIN, N. M.; ZIECH, A. R. D.; OLIVEIRA, J. P. M.; GIRARDELLO, V. C.; STUMP, L.; CONCEIÇÃO, P. C. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso. **Revista Scientia Agraria**, v.18, n.3, p.85-95, 2017. [http://dx.doi.org/10.5380/ras.v18i3.53114](https://doi.org/10.5380/ras.v18i3.53114).

BALOTA, E. L.; ANDRADE, D. S.; COLOZZI FILHO, A.; DICK, R. P. Microbial biomass in soils under different tillage and crop rotation systems. **Biology and Fertility of Soils**, v.38, n. 1, p. 15-20, 2003. [10.1007/s00374-003-0590-9](https://doi.org/10.1007/s00374-003-0590-9).

BARETTA, D. et al. Earthworm populations sampled using collection methods in

Atlantic forests with *Araucaria angustifolia*. **Scientia Agricola**, Piracicaba-SP, v. 64, n. 4, p. 384–392, 2007. <https://doi.org/10.1590/s0103-90162007000400009>.

BARROS, D. R. S. **Métodos para determinação do carbono orgânico em alagoas**. 2016. 47p. Dissertação (Produção vegetal) - Universidade Federal de Alagoas, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/6725>. Acesso em: 04.jul.2021.

BARROS, J. M. O. et al. Estoque de Carbono e gregação do solo sob fragmentos lorestais nos biomas Mata Atlântica e Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 53, p. 97–116, 2020. <https://doi.org/10.5327/z2176-947820190518>.

BARTLETT, R. J.; ROSS, D. S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v. 52, p. 1191-1192, 1988. <https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200040055x>.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700009>.

BAYER, C.; MIELNIZUCK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. rev. e atual.- Porto Alegre: Métropole: 2008, p. 7-16.

BELLINGER, P. F.; CHRISTIANSEN, K. A, JANSSENS , F. **Checklist of the Collembola of the World. Available online**. Disponível: <http://www.collembola.org>. Acesso em: 26 de dezembro de 2020.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2003.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C. Brazil's soil carbono stocks. **Soil Science Society of America Journal**, v.66, p.888-896. 2002. Doi: <https://doi.org/10.2136/sssaj2002.8880>.

BERNOUX, M.; VOLKOFF, B. Soil carbon stock in soil ecoregions of Latin America. In: Lal, R.; Cerri, C.C.; Bernoux, M.; Etchevers, J. & Cerri, C.E.P. **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York, Haworth, 2006. P.65-75.

BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L.P. **Análises químicas e bioquímicas em plantas**. Recife: Editora Universitária da UFRPE, 2011.

BEZERRA, C. B.; SOUZA JUNIOR, A. J.; CORRÊA, M. M.; LIMA, J. R. S.; SANTORO, K. R.; SOUZA, E. S.; OLIVEIRA, C. L. Latossolo húmico sob pastagem com diferentes intensidades de usos: atributos químicos e físico-hídricos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife- PE, v.14, n.1, e5603, 2019. [10.5039/agraria.v14i1a5603](https://doi.org/10.5039/agraria.v14i1a5603).

BISSANI, C.A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M.J.; CAMARGO, F.A.O. (eds). **Fertilidade dos solos e manejo da adubação das culturas**. Porto Alegre: **Gênese**, 2004.

BOLFE, E. L. Applications of satellite images and field databases to analyze agroforestry systems in Brazil. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)**, v.7 n.4. 2020. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.74.10>.

BONINI, C. S. B.; LUPATINI, G. C.; ANDRIGETTO, C.; PRAVAN MATEUS, G.; HEINRICHES, R.; ARANHA, A. S.; SANTANA, E. A. R.; MEIRELLES, G. C. Produção de forragem e atributos químicos e físicos do solo em sistemas integrados de produção agropecuária. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.51, n.9, p.1695-1698, 2016. [10.1590/S0100-204X2016000900070](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900070).

BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. **Numerical Ecological with R**. New York: Springer, 2011.

BORGES, T. N.; SILVA, R.; GIMENEZ, A. Inventariamento da entomofauna em fragmentos de vegetação em área turística e mata nativa. **Unifunec Ci. Saúde e Biol**, v.2, n.4, p.1-12, 2018. <https://doi.org/10.24980/ucsb.v2i4.3301>.

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

BRASIL. Decreto nº 750, de 10 de fevereiro de 1993. **Dispõe sobre o corte, a exploração e a supressão de vegetação primária ou nos estágios avançado e médio de regeneração da Mata Atlântica, e dá outras providências**. 2021. Disponível em: <[D750imprensa \(planalto.gov.br\)](https://www.planalto.gov.br/D750/imprensa)>. Acesso em: 02 abr. 2021.

BRASIL. **Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada para Consecução do Objetivo da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, 2015**. Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDportugues.pdf. Acesso em: 18 mai. 2021.

BRITEZ, R. et al. **Causas Antrópicas**. January, 2003.

BRITO, M. F. et al. Diversidade da fauna edáfica e epigeica de invertebrados em consórcio de mandioca com adubos verdes. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v.51, n.3, p.253–260, 2016. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000300007>.

BROWN, K. S. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: Insects as indicators for conservation monitoring. **Journal of Insect Conservation**, v.1, n.1, p.25-42, 1997. <https://doi.org/10.1023/A:1018422807610>.

BÜCHS, W. Biodiversity and agri-environmental indicators - General scopes and skills with special reference to the habitat level. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.98, n.1-3, p.35-78, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(03\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(03)00070-7).

BUDOWSKI, G. Aplicabilidad de los sistemas agroflorestais. In: Seminário sobre planejamento de projetos auto-sustentáveis de lenha para américa latina e Caribe, 1991, Turrialba. **Anais ...** Turrialba: FAO, v.1 p. 161- 167, 1991.

CABIANCHI, G. M. **Ciclagem de nutrientes via serapilheira em um fragmento ciliar do rio Urupá, Rondônia**. 2010. 103p. Dissertação (Mestrado em ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010. Disponível em: [10.11606/D.64.2010.tde-05102010-144343](https://doi.org/10.11606/D.64.2010.tde-05102010-144343). Acesso em: 08. Jan. 2021.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, n.3, p. 777-783, 1992. [10.2136 /sssaj1992.03615995005600030017x](https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600030017x).

CAMPANILLI, M.; SCHAFFER, W. B. **Mata Atlântica: manual de adequação ambiental**. Brasília, DF: MMA/SBF, 2010.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; IWATA, B. DE F.; NÓBREGA, J. C. A. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v.46, n.12, p.1681-1689, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001200014>.

CAMPOS, B. B.; MORAES, G. P.; GOMES, G. D.; BATISTA, N. A. Indicadores físico-químicos e microbiológicos da qualidade do solo utilizado para viticultura em Santa Teresa, Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.7, n.2, p.52-59, 2017. Disponível em : <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/17325/1/artigo.pdf> . Acesso em: 20 set. 2021.

CANEI, A. D.; HERNÁNDEZ, A. G.; MORALES, D. M. L.; SILVA, E. P.; SOUZA, L. F.; LOSS, A.; LOURENZI, C. R.; REIS, M. D.; SOARES, C. R. F. S. Atributos microbiológicos e estrutura de comunidades bacterianas como indicadores da qualidade do solo em plantios florestais na mata atlântica. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 28, n.4, p.1405, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509835049>.

CANUTO, J. C. **Sistemas agroflorestais: experiências e reflexões**. Brasília, Brasil. 2017.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N. S.; MOREIRA, F. M. S.; CURTI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.44, n.6, p.631-637, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000600012>.

CARNEIRO, M. A. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v.33, n.1, p.147–157, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000100016>.

CARNEIRO, W. J. O.; SILVA, C. A.; MUNIZ, J.A.; SAVIAN, T. V. Mineralização de nitrogênio em latossolos adubados com resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.37, p.715-725, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300018>.

CARRANO-MOREIRA, A. F. **Manejo integrado de pragas florestais-fundamentos ecológicos conceitos e táticas de controle**. 2014.

CARVALHO, W.T. V. et al. Pastagens degradadas e técnicas de recuperação: Revisão. **Pubvet**, v. 11, n. 10, p. 1036–1045, 2017. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v11n10.1036-1045>.

CASTILHO, K. B.; CORTEZ, J. W.; OLSZEWSKI, N.; SALVIANO, A. M.; TRINDADE, M. H. Análise multivariada da qualidade química de um Latossolo sob sistemas de manejo do solo. **Revista Agrarian**, Dourados-MS, v.10, n.36, p.162-169, 2017. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1089267>.

CERRI, C. E. P.; FEIGL, B.; CERRI, C. C. **Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia**. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (ed). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2. ed. Porto Alegre: Métropole, 2008. p. 325–358.

CHAZDON, R. Regeneração de florestas tropicais Tropical forest regeneration. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat**, n.3, p.195–218, 2012. Disponível em: [\(13\) \(PDF\) Regeneração de florestas tropicais \(researchgate.net\)](#). Acesso em: 20 mai. 2021.

CLEMENTE, E. P; OLIVEIRA, F. S.; MACHADO, M. R.; GONÇALVES, C. E.; SCHAEFER, R. Fracionamento da Matéria Orgânica e Micromorfologia dos Solos da Ilha da Trindade, Atlântico Sul. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 36, p.46-62, 2018. [10.11606/rdg.v36i0.147796](https://doi.org/10.11606/rdg.v36i0.147796).

COELHO, J. V.; IWATA, B. F.; COSTA, T. G. A.; CUNHA, L. M.; MOREIRA LEOPOLDO, N. C.; CLEMENTINO, G. E. S.; RIBEIRO MACIEL, A. N. Diversidade da fauna edáfica de um latossolo vermelho-amarelo sob diferentes usos no cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v.5, n.10, p.665-663, 2018. <https://doi.org/10.21438/rbgas.051018>.

CONCEIÇÃO, P. C., AMADO, T. J. C., MIELNICZUK, J., SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, p. 777-788, 2005. [10.1590/S0100-06832005000500013](https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000500013).

COSTA, C. C. D. A.; CAMACHO, R. G. V.; MACEDO, I. D. D.; SILVA, P. C. M. D. Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivos em área de caatinga na FLONA de Açú-RN. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p. 259-265, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000200008>.

COSTA, F. S. et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 323–332, 2008. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832008000100030>.

CPRM- SERVIÇO GEOLOGICO DO BRASIL. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea no estado de Pernambuco: Diagnóstico do município de Bezerros**. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CREPALDI, R. A., PORTILHO, I. I. R.; SILVESTRE, R.; MERCANTE, F.R. Formigas como bioindicadores da qualidade do solo em sistema integrado lavoura-

pecuária. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS. n.44, p.781-787, 2014. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782014000500004>.

CROTTY, F. V. et al. Assessing the impact of agricultural forage crops on soil biodiversity and abundance. **Soil Biology and Biochemistry**, v.91, p.119–126, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.08.036>.

CUNHA NETO, F. V.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S.; ABEL, E. L. S. Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba – MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v.28, n.1, p. 13-24, 2018. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509831569>.

D'ANDRÉA, A. F.; SILVA, M. L. N.; SILVA, C. A. Emissões de CO₂ do solo: métodos de avaliação e influência do uso da terra. In: **Roscoe R, Mercante FM, Salton JC, compiladores**. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas. Embrapa. 2006.

DANTAS, J. O.; PERIN, L.; ANDRADE, A. R.; BARROS, C. C.; FARIAS, F. J.; MENEZES, B. F.; ALVES, A. E. O.; ARAÚJO-PIOVEZAN, T. G. **Artrópodes e microbiota do solo em sistema agroecológico de produção no semiárido nordestino, Simão Dias**. Sergipe. 2021.

DAVIS, A. J. et al. Dung beetles as indicators of change in the forests of northern Borneo. **Journal of Applied Ecology**, v.38, n.3, p.593–616, 2001. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00619.x>.

DIXON, R. K.; BROWN, S.; HOUGHTON, R. A.; SOLOMON, A. M.; TREXLER, M. C.; WISNIEWSKI, J. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. **Science**, 263, 185- 190,1994. 185-190. [10.1126/science.263.5144.185](https://doi.org/10.1126/science.263.5144.185).

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Org.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994, p.3-21.

DORTZBACH, D.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; SANTOS, O. A. Q. Compartimentos da matéria orgânica do solo em vinhedos altomontanos de Santa Catarina. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 10677-10691, 2020. [10.34117/bjdv6n3-080](https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-080).

DUELLI, P.; OBRIST, M. K. Regional biodiversity in an agricultural landscape: The contribution of seminatural habitat islands. **Basic and Applied Ecology**, v. 4, n. 2, p. 129–138, 2003. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00140>.

EBELING, A. G.; ANJOS, L. H. C.; PEREZ, D. V.; PEREIRA, M. G.; VALLADARES, G. S. Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 429-439, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052008000200019>.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: 2008.

FAO. **FAOSTAT**. Disponível em: <http://faostat.fao.org>. Acesso em: 18 mai. 2021.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: sistema de análise de variância para dados balanceados**. Versão 5.8. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2018.

FERREIRA, M. M. **Física do solo**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 63 p.

FILHO, E. B. Cupins e florestas. In: FILHO, E.B. & FONTES, L.R. (Org.). Alguns aspectos atuais da biologia e controle de cupins. Piracicaba: **FEALQ**. 1995. p.127-140.

FOY, C. D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W. (Ed.). The plant root and its environment. **Charlottesville**: University Press of Virginia, 1974, p. 601-642.

FRANCAVIGLIA, R.; RENZI, G.; LEDDA, L.; BENEDETTI, A. Organic carbon pools and soil biological fertility are affected by land use intensity in Mediterranean ecosystems of Sardinia, Italy. **Science of the Total Environment**, p.599–600, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.021>.

FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N.; ARATANI, R. G.; LEONEL, C. L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.627-636, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000400003>.

FREITAS, D. A.; FREITAS, I. C.; FRAZÃO, L. A.; ARAÚJO, N. C. A.; SILVA, L. R. D.; SANTOS, M. V. Atributos físicos do solo sob diferentes usos da terra do Cerrado de Minas Gerais. **Brazilian Journal Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 4, p. 3867-3882, 2020. [10.34188/bjaerv3n4-086](https://doi.org/10.34188/bjaerv3n4-086).

FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, R. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. Unimar Ciências, Marília-SP, v. 26, pp. 08-25, 2017. Disponível em: [INDICADORES DA QUALIDADE QUÍMICA E FÍSICA DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE MANEJO | Freitas | Revista Unimar Ciências](https://www.unimar.br/unimar/v26/08-25/Freitas%20et%20al%20-%20Indicadores%20da%20qualidade%20qu%C3%ADmica%20e%20f%C3%ADsica%20do%20solo%20sob%20diferentes%20sistemas%20de%20manejo.pdf). Acesso em: 03.fev.2021.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; INPE. 2021. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período 2017-2018**. Relatório Técnico. São Paulo, SP. Disponível em: <https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2019/06/Atlas-mata-atlanticaDIGITAL.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2021.

GALLO, D. et al. **Entomologia Agrícola**. FEALQ, Piracicaba, 2002.

GAMA-RODRIGUES, E. F. *et al.* Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Environmental Management**. 2, v. 45, p. 274-283, 2010. [10.1007/s00267-009-9420-7](https://doi.org/10.1007/s00267-009-9420-7).

GAMA-RODRIGUES, E. F.; BARROS, N. F.; VIANA, A. P.; SANTOS, G. A. Alterações na biomassa e na atividade microbiana da serapilheira e do solo, em decorrência da substituição de cobertura florestal nativa por plantações de eucalipto, em diferentes sítios da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1489-1499, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000400013>.

GIACOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, MACHADO, D. L. Atributos químicos e físicos do solo, estoques de carbono e nitrogênio e frações húmicas em diferentes formações vegetais. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v.25, n.3, p.617-631, 2015. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509819613>.

GOÉS, Q. R.; FREITAS, L. R.; LORENTZ, L. H.; VIEIRA, F. C. B.; WEBER, M. A. Análise da fauna edáfica em diferentes usos do solo no Bioma Pampa. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v.31, n.1, p.123-144, 2021. <https://doi.org/10.5902/1980509832130>.

GUERRA, R. T.; BUENO, C. R.; SCHUBART, H. O. Avaliação preliminar sobre os efeitos da aplicação do herbicida Paraquat e aração convencional na mesofauna do solo na região de Manaus-Am. **Acta Amazonica**, v.12, n.1, p.7-13, 1982. Doi: <https://doi.org/10.1590/1809-43921982121007>.

GUTJAHR, A. L. N.; MARTINS, A. M.; BRAGA, C. E. S.; BORGES, H. S.; SANTOS, S. S. V. A. Entomofauna edáfica em cultura de dendê no município de Santa Bárbara, Pará, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, Goiania-Go v.16 n.29; p.17, 2019. Doi: <https://doi.org/10.18677/EnciBio>.

HAILESELASIE, TSEGZEABE.; HIWOT, M. T. G. Agroforestry practices and flora composition in backyards in Hiwane, Hintalo Wejerat of Tigray, Northern Ethiopia. **International Journal of Biodiversity and Conservation**, v.7, p.294-303, 2012. [10.5897/IJBC11.274](http://dx.doi.org/10.5897/IJBC11.274).

HALTER, G.; ARELLANO, L. Response of dung beetle diversity to human induced changes in a tropical landscape. **Biotropica**, v. 34, p.144-154, 2002. <https://www.jstor.org/stable/4132965>.

HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. **Insetos Aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. 2014.

HERRERA, R.; JORDAN, C. F.; KLINGE, H.; MEDINA, E. Amazon ecosystems: Their structure and functioning with particular emphasis on nutrients. **Interciência**, v. 3, p. 223-232, 1978. <http://www.jstor.org/stable/4312652>.

HILLEL, D. Soil structure and aggregation. In: HILLEL, D. (Ed.). **Environmental Soil Physics**. San Diego: Academic Press, 1998. p. 101-125.

HOFFMANN, R. B.; MOREIRA, E. E. A.; HOFFMANN, G. S. S.; ARAÚJO, N. S. F. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. *Brazilian Journal of Animal Environmental Research*, Curitiba-PR, v. 1, n. 1, p. 168-178, 2018. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJAER/article/view/738>. Acesso em: 23 mai.2021.

HOFFMANN, M. R. H. **Sistemas Agroflorestais para Agricultura Familiar: análise econômica**. 2013. 140p. Dissertação (Mestrado em Agronegócio) – Universidade de Brasília, 2013. Disponível: [1 \(unb.br\)](http://1.unb.br). Acesso em: 16 abr. 2021.

ISERMEYER, H. Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und Karbonate im Boden. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 56, p. 26-38, 1952. Disponível em: [Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden - Isermeyer - 1952 - Zeitschrift für](http://www.jstor.org/stable/4312652)

[Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde - Wiley Online Library](#). Acesso em: 10 jan. 2021.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.55, n.1, p.69-78, 2000. Disponível em: [Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management Journal of Soil and Water Conservation \(jswconline.org\)](#). Acesso em: 10 jan. 2021.

JIMENEZ, R. L.; GONÇALVES, W. G.; ARAÚJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; PIRES, F. R.; SILVA, G. P. Crescimento de plantas de cobertura sob diferentes níveis de compactação em um Latossolo Vermelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.12, n.2, p.116–121, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000200002>.

KAISER, D. R. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Fundamentos da ciência do solo. **Aulas práticas**. 2010.

KARLEN, D. L.; MAUSBACH, M. J.; DORAN, J. W.; CLINE, R. G.; HARRIS, R. F.; SCHUMAN, G. E. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation (aguest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, v.61, p.4-10, 1997. <https://doi.org/10.2136/sssaj1997.03615995006100010001x>.

KASHUK, G., ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology and Biochemistry**, v.42, n.1, p.1–13, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.08.020>.

KIMBERLING, D. N.; KARR, J. R.; FORE, L. S. Measuring human disturbance using terrestrial invertebrates in the shrub-steppe of eastern Washington (USA). **Ecological Indicators**, v.19, p. 63-81, 2001. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X01000097>.

KLEIN, I.; CERICATO, A.; PREUSS, J. F. Entomofauna associada à cultura de milho transgênico (bt) e convencional no município de Iraceminha, Santa Catarina, Brasil. **Unoesc & Ciência – ACBS**, Joaçaba-SC, v.7, n.2, p.167-174, 2016. <https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/acbs/article/view/11771>.

KLUG, I.; MAFRA, A. L.; FRIEDERICHS, A.; RECH, C.; FERT NETO, J. Atributos químicos do solo em plantios florestais em substituição à vegetação nativa em campos de altitude. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 30, n. 2, p. 279-290, 2020. <https://doi.org/10.5902/1980509818905>.

KOUNO, K.; W. U, J.; BROOKS, P. C. Turnover of biomass C and P in soil following incorporation of glucose or ryegrass. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 34, n. 5, p. 617-622, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00218-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00218-8).

LEITE, E. S.; FERREIRA, F. A. C.; JESUS, J. A. S.; CEZAR, A. P. M.; ARAÚJO, J. W. P. Análise da compactação do solo no sistema de pastagem e silvipastoril. **Anais V CONEFLO – III SEEFLO/ Vitória da Conquista (BA)**, 25 a 28 de Nov. 2013.

LEITE, L. F. C.; ARRUDA, F. P. de; COSTA, C. do N.; FERREIRA, J. S.; HOLANDA NETO, M. R. Qualidade química do solo e dinâmica de carbono sob monocultivo e

MAFRA, A. L.; GUEDES, S. F. F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J. C. P.; ALMEIDA, J. A.; DALLA ROSA, J. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.217-224, 2008. [DOI:10.1590/S0100-67622008000200004](https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000200004).

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. D. S.; ARAÚJO FILHO, J. A. de. Impactos de sistemas agroflorestais e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.5, p.837–848, 2006. [a18v30n5.pdf \(scielo.br\)](https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000500005).

MARQUINE, F.; GUEDES, R. N. C.; PICANÇO, M. C.; REGAZZI, A. J. Response of arthropods associated with the canopy of common beans subjected to imidacloprid spraying. *J. Appl. Ent*, n.126, p.550-556, 2002. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0418.2002.00702.x>.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Academic Press, 1995.

MARTINS, A. M. et al. Caracterização da fauna de Collembola em diferentes formações vegetais no município de Santa Bárbara, estado do Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, Belém-PA, v. 15, n.2, p.393–407, 2020a. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v15i2.110>.

MARTINS, L. M. O. Diversidade de insetos edáficos detritívoros na área experimental do IFAC- Campus Cruzeiro do Sul, 2020.

MATOS, P. S.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; SCORIZA, R. N. Effect of different forest management practices on the soil macrofauna in the arboreal caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v.32, n.3, p.741–750, 2019. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n318rc>.

MATTOS, L. M. **Decisões sobre usos da terra e dos recursos naturais na agricultura familiar amazônica: o caso do PROAMBIENTE**. 2010. 458 f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, 2010. Disponível em: [Descrição: Decisões sobre usos da terra e dos recursos naturais na agricultura familiar amazônica = o caso do PROAMBIENTE \(ibict.br\)](https://repositorio.unicamp.br/handle/1303/34444). Acesso em: 15 jan. 2021.

MAZZETO, A.M; FEIGL, B.J.; SCHILS, R.L.M; CERRI, C.E.P.; CERRI, C.C. Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system. **Livestock Science**, v. 175, p. 101-112, 2015.

MEDEIROS, I. B. B. G. **Emprego de geotêxteis não tecidos na percolação em solo arenoso com disposição de esgoto tratado sob condições anaeróbias**. 2016. 34 f. Dissertação (Mestrado em engenharia sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/22807>. Acesso em: 20 set. 2021.

MELO, V. F.; SILVA, D. T.; EVALD, A.; ROCHA, P. R. R. Qualidade química e biológica do solo em diferentes sistemas de uso em ambiente de savana. **Revista Agro@ambiente**, Boa Vista-RR, v.11, n.2, p.101-110, 2017. [10.18227/1982-8470ragro.v11i2.3850](https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i2.3850).

MELLONI, R.; COSTA, N. R.; MELLONI, E. G. P.; LEMES, M. C. S.; ALVARENGA, M. I. N.; NUNES NETO, J. Sistemas agroflorestais cafeeiro-arauária e seu efeito na

microbiota do solo e seus processos. **Ciência florestal**, Santa Maria-RS, v.28, n.2, p. 784-795, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509832392>.

MENEZES, C. E. G.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; ANJOS, L. H. C. D.; PAULA, R. R.; SOUZA, M. E. D. Aporte e decomposição da serapilheira e produção de biomassa radicular em florestas com diferentes estágios sucessionais em Pinheiral, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 20, n. 3, p. 439-452, 2010. <https://doi.org/10.5902/198050982059>.

MENEZES, E. J. **Alterações do nitrogênio e dos nutrientes em solo cultivado com plantas de cobertura e milho em sucessão**. 2018. 48p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Agronomia) - Universidade de Brasília. Brasília, 2018. Disponível em: [2018_ElineJesusDeMenezes_tcc.pdf \(unb.br\)](https://repositorio.unb.br/bitstream/10402/60000/1/2018_ElineJesusDeMenezes_tcc.pdf). Acesso em: 18 jun.2020.

MERCANTE, F. M.; OTSUBA, A. A.; SILVA, R. F.; HERNANI, L. C.; OLIVEIRA, H. Monitoramento de parâmetros microbiológicos em área manejadas sob plantio direto na Bacia Hidrográfica do Alto Taquari, MS. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, **boletim informativo** 38, 2006.

MILHOMEM, M. S.; MELLO, F. Z. V.; DINIZ, I. R. Técnicas de coleta de besouros copronecrófagos no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 1249-1256, 2003. Disponível em: [G:\SciELO\2003\v38n11\source\pa](https://scielo.org/doi/10.1590/S0100-06832003v38n11sourcepa).

MIRANDA, C. C.; CANELLAS, L. P.; NASCIMENTO, M. T. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.905-916, 2007. [10.1590/S0100-06832007000500008](https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000500008).

MOÇO, M. K. S.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C.; CORREIA, M. E. F. Caracterização da fauna edáfica em diferentes coberturas vegetais na região norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.29, p.555-564, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832005000400008>.

MORAES, R. C. B.; HADDAD, M. L.; SILVEIRA NETO, S.; REYES, A. E. L. Software para análise faunística. In: 8º Simpósio de controle biológico. S. Pedro, SP. **Anais do 8º Siconbiol**, v.1, n.1, p. 195, 2003.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, José Oswaldo. Microbiologia e Bioquímica do Solo. In: **Microbiologia E Bioquímica Do Solo**. 2006. p. 407-447.

NADAL-ROMERO, E.; PEREZ-CARDIEL.; CAMMERAAT, E. L. H.; LASANTA, T. How do soil organic carbon stocks change after cropland abandonment in Mediterranean humid mountain areas? **Science of the Total Environment**, v.566, p.741-752, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.031>.

NAIR, P. K. R. Agroforestry Systems and Environmental Quality: Introduction. **Journal of Environmental Quality**, v. 40, n. 3, p. 784-790, 2011. [10.2134/jeq2011.0076](https://doi.org/10.2134/jeq2011.0076).

NANZER, M. C.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; BARRETA, P. G. V.; DE OLIVEIRA, T. P.; DA SILVA, J. R. M.; PAULINO, L. A. Estoque de carbono orgânico total e fracionamento granulométrico da matéria orgânica em sistemas de uso do

solo no Cerrado. **Revista Ciências Agroveterinárias**, Lages-SC, v.18, n.1, 2019. [10.5965/223811711812019136](https://doi.org/10.5965/223811711812019136).

NASCIMENTO, P. C.; BAYER, C.; SILVA NETTO, L. de F. da; VIAN, A. C.; VIEIRO, F.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, É. Sistemas de manejo e a matéria orgânica de solo de várzea com cultivo de arroz. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1821-1827, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600030>.

NICODEMO, M. L. F.; BORGES, W. L. B.; SOUZA, I. M. D. Atributos físicos do solo em quatro sistemas de uso da terra em São Carlos, SP. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife-PE, v.13, n.2, 2018. [10.5039/agraria.v13i2a5524](https://doi.org/10.5039/agraria.v13i2a5524).

NICOLOSO, R. S. **Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. 2005. 150 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005. Disponível em: [Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto \(ufsm.br\)](https://repositorio.ufsm.br/handle/teza/1111). Acesso em: 12.jan. 2021.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. 6ª ed. São Paulo: Fundação Calouste Gulbenkian, 2004.

OHLAND, T.; LANA, M. C.; FRANDOLOSO, J. F. Fracionamento químico da matéria orgânica do solo após sistemas de manejo no inverno. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.18, n.1, p.53-69, 2019. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/scientiaagraria/article/view/20945>. Acesso em: 21 set.2021.

OLIVEIRA, I. N. **Qualidade do solo utilizando diferentes coberturas e preparos do solo em área de cana de-açúcar**. 2018.137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade estadual de Campinas. 2018. Disponível em: [Oliveira IngridNehmiDe M.pdf \(unicamp.br\)](https://repositorio.unicamp.br/handle/2013/111111). Acesso em: 05 mar. 2021.

OLIVEIRA, M, A. et al. Bioindicadores ambientais: Insetos como um instrumento desta avaliação. **Revista Ceres**, Viçosa-MG, v.61, p.800-807, 2014. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201461000005>.

OLIVEIRA, R. E. ; ENGEL, V. L. Indicadores de monitoramento da restauração na Floresta Atlântica e atributos para ecossistemas restaurados. **Scientia Plena**, v.13, n.12, p.1–13, 2017. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2017.127301>.

OLIVEIRA, T. C. et al. Diagnóstico e recuperação de áreas de pastagens degradadas. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre-MG v. 1, n. 1, p. 49–53, 2013. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v1n12013578>.

OLIVEIRA, T. P.; ENSINAS, S. C.; BARBOSA, G. F.; NANZER, M. C.; BARRETA, P. G. V. Atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, n.1, p. 72-78, 2017. [234766438.pdf \(core.ac.uk\)](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00130-9).

PAUL, E. A. et al. Evolution of CO₂ and soil carbon dynamics in biologically managed, row-crop agroecosystems. **Applied Soil Ecology**, v. 11, n. 1, p. 53–65, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00130-9](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00130-9).

PAUSTIAN, K.; LENMANN, J.; OGLE, S.; REAY, D. ROBERTSON, P.; SMITH, P. Climate-smart soils. **Nature**, v.532, 2016. [doi:10.1038/nature17174](https://doi.org/10.1038/nature17174).

PATERNIANI, E. Maize Breeding in the Tropics. *Plant Sciences*. v.9, n.2, p.125-154, 1990. <https://doi.org/10.1080/07352689009382285>.

PEREIRA, R. R. **Diversidade e abundância de Hymenoptera associados ao solo em diferentes ecossistemas no Município de Igarapé-Açu-PA**. 2017. 71p. Trabalho de conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas)-Universidade Federal Rural da Amazônia 2017. Disponível em: bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1275. Acesso em: 26 dez.2020.

PESSOTTO, M. D. F. et al. Relação do uso do solo com a diversidade e a atividade da fauna edáfica. **Nativa**, Sinop-MS, v.8, n.3, p.397-402, 2020. <https://doi.org/10.31413/nativa.v8i3.9769>.

POMPEU, P. N.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; BARRETA, C. R. D. M.; BARRETA, D. Diversidade de Coleoptera (Arthropoda: Insecta) e atributos edáficos em sistemas de uso do solo no Planalto Catarinense. **Revista Scientia Agrária**, v.17, n.1, p.16-28, 2016. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v17i1.46726>.

PÔRTO, M. L.; ALVES, J. C.; DINIZ, A. A.; SOUZA, A. P.; SANTOS, D. Indicadores biológicos de qualidade do solo em diferentes sistemas de uso no brejo paraibano. **Ciênc. Agrotec**, Lavras-MG, v.33, n.4, p.1011-1017, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000400010>.

PREZOTI, L. C.; GARÇONI M, A. Guia de interpretação de análise de solo e foliar. Vitória, ES: **Incaper**, 2013.

PRIMIERY, S.; MUNIZ, A. W.; LISBOA, H. M. Dinâmica do Carbono no Solo em Ecossistemas Nativos e Plantações Florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1- 9, 2017. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.110314>.

PULROLNIK, K.; BARROS, N. F.; SILVA, I. R.; NOVAIS, R. F.; BRANDANI. C. B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no vale do Jequitinhonha-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1125-1136, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000500006>.

REICHERT, J. M.; KAISER, D. R.; REINERT, D. J.; RIQUELME, U. F. B. Variação temporal de propriedades físicas do solo e crescimento radicular de feijoeiro em quatro sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.3, p.310-309, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000300013>.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. Santa Maria, **Universidade Federal Santa Maria**, 2006.

REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. Mogno-africano (*Khaya* spp.): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil. Brasília, DF: **Embrapa**, 2019.

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R.; BAMBERG, A. L. Qualidade física e frações da matéria orgânica de um Planossolo sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária**

Brasileira, Brasília, v.51, n.9, p.1623-1632, 2018. [10.1590/S0100-204X2016000900062](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900062).

RIBAS, J. R.; VIEIRA, P. R. C. Análise Multivariada com o uso do SPSS. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna. 2011.

RIBEIRO, J. M.; FRAZÃO, L. A.; CARDOSO, P. H. S.; OLIVEIRA, A. L. G.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A. Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado Mineiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 29, n. 2, p. 913-923, 2019. <https://doi.org/10.5902/1980509825310>.

RIGATTO, P. A.; DEDECK, R. A.; MATTOS, L. M. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.5, p.701-709, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000500005>.

RODRIGUES, W. C. Fatores que influenciam no desenvolvimento dos insetos. v.1, n.4, p. 1- 4, 2004. Disponível em: [Fatores que Influenciam no Desenvolvimento dos Insetos \(researchgate.net\)](https://www.researchgate.net/publication/312511111-Fatores-que-Influenciam-no-Desenvolvimento-dos-Insetos). Acesso em: 30 set. 2020.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Embrapa Monitoramento por Satélite**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2010.

ROSA, D. M., NÓBREGA, L.H. P., MAULI, M. M., LIMA, G. P. DE, PACHECO, F. P. Substâncias húmicas do solo cultivado com plantas de cobertura em rotação com milho e soja. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza-CE, v. 48, n. 2, 2017. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20170026>.

ROSA, R. S.; MESSIAS, R. A.; AMBROZINI, B. Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável. **Instituto de Química de São Carlos – USP**. 2003.

ROSCOE, R.; MACHADO, P.L.O.A. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Rio de Janeiro, **Embrapa Solos**, 2002.

ROSCOE, R.; MERCANTE, F. M.; SALTON, J. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: Modelagem matemática e métodos auxiliares. 2006.

SALES, A.; SILVA, A. R.; VELOSO, C. A. C.; CARVALHO, E. J. M.; MIRANDA, B. M. Carbono orgânico e atributos físicos do solo sob manejo agropecuário sustentável na amazônia legal. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n.1, p.01-15, 2018. [10.5747/ca.2018.v14.n1.a185](https://doi.org/10.5747/ca.2018.v14.n1.a185).

SANTANA, A. S.; CHAVES, J. S.; SANTANA, A. S.; ABANTO-RODRÍGEZ, C.; MORAES, E. R. Biomassa microbiana em diferentes sistemas de manejo do solo no sul do estado de Roraima. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v.1, n. 1, p. 1 – 62, 2017. [10.47209/2317-5729.v.6.n.1.p.43-50](https://doi.org/10.47209/2317-5729.v.6.n.1.p.43-50).

SANTIAGO, F.S.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; PINHEIRO, M. R. A. Atributos do solo, em sistemas de cultivo irrigado, agroecológico e convencional, no semiárido do Rio Grande do Norte. **Revista Verde**, Pombal-PB, v.13, n.2, p.176-185, 2018.

Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7083379>. Acesso em: 15 jan. 2021.

SANTI, A.L.; AMADO, T. J. C.; CHERUNBIN, M. R.; MARTIN, T. N.; PIRES, J. L.; FLORA, L. P. D.; BASSO, C. J. Análise de componentes principais de atributos químicos e físicos do solo limitantes à produtividade de grãos. **Pesq. agropec. Bras**, Brasília, v.47, n.9, p.1346-1357,2012. <https://www.scielo.br/j/pab/a/nXKYbXGQVyz8mH9Fx3kMzJv/?format=pdf&lang=pt>.

SANTOS, F. A. S.; PIERANGELI, M. A. P.; SILVA, F. L.; SERAFIM, M. E.; SOUSA, J. B.; OLIVEIRA. Dinâmica do carbono orgânico de solos sob pastagens em campos de murundus. **Revista Scientia Agraria**, n. 2, p. 43-53, 2017. Disponível em: <Redalyc.DINÂMICA DO CARBONO ORGÂNICO DE SOLOS SOB PASTAGENS EM CAMPOS DE MURUNDUS>. Acesso em: 18 set. 2021.

SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; SILVA, E. M.; SILVEIRA, P. M.; BECQUER, T. Qualidade física do solo sob sistemas de integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.10, p.1339-1348, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000030>.

SANTOS, J. V., DE MELO, R. W., GUIMARAES, A. A., JARAMILLO, P. M. D., RUFINI, M., MARRA, L. M., DE SOUZA MOREIRA, F. M. Soil biological attributes in arsenic-contaminated gold mining sites after revegetation. **Ecotoxicology**, New York-NY, v.22, n.10, p.1526-1537, 2013. [10.1007/s10646-013-1139-9](https://doi.org/10.1007/s10646-013-1139-9).

SANTOS, P. M. **Interface Solo-Planta-Animal em sistemas agroflorestais para a intensificação ecológica na pecuária**. 2014. 219p. Tese (Doutorado em Ciência Animal Tropical) – Universidade Federal do Tocantins, 2014. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11612/176>. Acesso em: 15 mai. 2021.

SANTOS, S. R. M. S.; KATO, O. R.; TOURINHO, M. M. Diversidade florística e estoque de carbono de sistemas agroflorestais em dois municípios do nordeste paraense, Brasil. **Ciências Naturais**, Belém-PA, v.14, n.1, p.31-42, 2019. <https://boletimcn.museu-goeldi.br/bcnaturais/article/view/138>.

SCHARPENSEEL, H. W. Preface to workshop 'Management of carbon in tropical soils under global change: Science, practice and policy'. **Geoderma** 79, p. 1-8,1997. Disponível em: [Geoderma | Vol 79, Issues 1–4, Pages 1-277 \(September 1997\) | ScienceDirect.com by Elsevier](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S016713689700001). Acesso em: 20 mai. 2021.

SCHETTINI, B. L. S.; JACOVINE, G.; OLIVEIRA NETO, S. N.; TORRES, C. M. M. E.; VILLANOVA, P. H.; ROCHA, S. J. S. S.; RUFINO, M. P. M. X.; COMINI, I. Potencial de estocagem de carbono em sistemas silvipastoris no Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v.5, n.11, p.27659-27671, 2019. [10.34117/bjdv5n11-364](https://doi.org/10.34117/bjdv5n11-364).

SERPA, K. M.; MONTEIRO, F. N.; FALCÃO, K. S.; MENEZES, R. S.; FERREIRA, R. S.; PANACHUKI, E. Atributos físicos e teor de matéria orgânica em área de Cerrado sob diferentes sistemas de cultivo. **Research, Society and Development**, v. 9, n.3, e131932399, 2020. [http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2399](https://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2399).

SILVA, B. E. C.; MEDINA, E. F.; JOLOMBA, M.; R. Propriedades físicas so Solo em função de diferentes manejos de pastagem. **Revista Brasileira de Agropecuária**

Sustentável, v.7, n.3, p.66–75, 2017. <https://doi.org/10.21206/rbas.v7i3.418>. Acesso em: 05. Jan. 2021.

SILVA, D. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SOUZA, F. S.; MARTINS, S. G.; MACEDO, R. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de estudos ambientais**, v.13, n. 1, p.77-86, 2011. [2320-8070-ED \(researchgate.net\)](https://doi.org/10.21206/rbas.v7i3.418).

SILVA, D. F. N. Fitossociologia em relação as propriedades do solo e índices de vegetação em área de caatinga, Pernambuco. 2017. 72f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em:http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/damares_felix_do_nascimento_silva.pdf. Acesso em 03 jan.2021.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P.; H.; S.; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂). **Comunicado Técnico EMBRAPA**, v.99, p.1–4, 2007. Disponível em: [http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Determina??o+da+respira??o+basal+\(RBS\)+e+quociente+metab?lico+do+solo+\(qCO2\)#0](http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Determina??o+da+respira??o+basal+(RBS)+e+quociente+metab?lico+do+solo+(qCO2)#0). Acesso em: 03 abr. 2021.

SILVA, J.; JUCKSCH, I.; TAVARES, R. C. Invertebrados edáficos em diferentes sistemas de manejo do cafeeiro da Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 2, p. 112-125, 2012. http://www.aba-agroecologia.org.br/ojs2/index.php/rbagroecologia/article/view/10082/pdf_1.

SILVA, L. B.; DICK, D. P.; INDA JUNIOR, A. V. Solos subtropicais de altitude: atributos químicos, teor de matéria orgânica e resistência à oxidação química. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.38, n.4, p.1167-1171, 2008. [10.1590/S0103-84782008000400044](https://doi.org/10.1590/S0103-84782008000400044).

SILVA, M. O.; VELOSO, C. L.; NASCIMENTO, D. L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D. F.; COSTA, K.; D.; S. Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo. **Braz. J. of Develop.**, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, 2020. [10.34117/bjdv6n7-43](https://doi.org/10.34117/bjdv6n7-43).

SILVA, M. R.; PIERANANGELI, M. A. P.; OLIVEIRA, A. S.; SILVA, A. C. S.S.; SANTOS, S. B. Qualidade do solo sob diferentes cultivos na Amazônia Meridional. **Revista Educação Ambiental em Ação**. n.69, 2019. <http://revistaeea.org/artigo.php?idartigo=3819>.

SILVA, M. M. **Frações de carbono do solo sob diferentes fitofisionomias do cerrado no Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba**. 2019. 35 f. Dissertação (Mestrado em conservação de recursos naturais) - Instituto Federal de educação, ciência e tecnologia Goiano, Urataí, 2019. Disponível em: [Introdução \(ifgoiano.edu.br\)](https://www.ifgoiano.edu.br). Acesso em: 20 set. 2021.

SILVEIRA NETO, S.; NAKANO, O.; NOVS, N. V. A. (Eds.). **Manual de ecologia dos insetos**. Piracicaba: Ceres, 1976.

SINGER, M.; EWING, S. Soil quality. In: SUMNER, M. E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC Press, 2000. p.271-298.

SIX, J. et al. Bacterial and Fungal Contributions to Carbon Sequestration in Agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, v.70, n.2, p.555–569,

2006. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0347>.

SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOT, E. T., COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, n. 2, p. 681-689, 2000. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.642681x>.

SOARES FILHO, C. V., MONTEIRO, F. A.; CORSI, M. Recuperação de pastagens degradadas de *Brachiaria decumbens*. 2. Variação sazonal de parâmetros bioquímico-fisiológicos. **Pasturas Tropicais**, v.14, p.7-13, 1992. Disponível em: [\(13\) \(PDF\) Recuperação de pastagens degradadas de Brachiaria decumbens. 2.Variação sazonal de parâmetros bioquímico-fisiológicos. \(researchgate.net\)](#). Acesso em: 18 mai. 2021.

SOUSA, E. D. Sistemas agroflorestais como alternativa agroecológica. **R eview**, p. 0–6, 2019.

SOUSA, E. J.; CARVALHO, I. D.; SOUSA, M. A. S. **Sequestro de carbono em áreas de pastagens e Cerrado stricto sensu**. 2012.

SOUSA, M. A.; REIS, I. M. S.; ALMADA, A. P.; ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; PINTO, L. A. R. S.; SILVA, C. F.; SANTOS, O. A. Q. Atributos químicos e frações da matéria orgânica em solos antrópicos na Amazônia Oriental. **Braz. J. of Develop**, v. 6, n. 5, p. 29623-29643, 2020. [10.34117/bjdv6n5-424](https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-424).

SOUZA, H. S.; TSUKAMOTO FILHO, A. A.; SOUZA, E. C.; ARRIEL, D. A. A.; MEDEIROS, R. A. Análise multivariada de atributos químicos e físicos do solo em sistema agroflorestal com teca. **Revista Scientia Agraria**, v. 19, n.1, p.87-93, 2018. Disponível em: [Análise multivariada de atributos químicos e físicos do solo em sistema agroflorestal com teca - Dialnet \(unirioja.es\)](#). Acesso em: 15 set. 2021.

SPERA, S. T.; DOS SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Integração lavoura e pecuária e os atributos físicos de solo manejado sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.1, p.129-136, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100014>.

STEFANOSKI, D. C.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, L. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v.17, n.12, p.1301–1309, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>.

SWIFT, M. J.; HEAL, O. W.; ANDERSON, M. Decomposition in terrestrial ecosystems. **Blackwell Scientific**, 1979.

SWIFT, R. S. Organic matter characterization. In D. L. SPARKS, A. L.; Page, P. A.; HELMKE, R. H.; LOEPPERT, P. N.; SOLTANPOUR, M. A.; TABATABAI, C. T.; JOHNSTON, M. E. Sumner (Eds.), **Methods of soil analysis**, 1996. p.1011-1020.

TACCA, D.; KLEIN, C.; PREUSS, J. Artropodofauna do solo em um bosque de eucalipto e um remanescente de mata nativa no sul do Brasil. **Revista Thema**, v. 14, n. 2, p. 249–261, 2017. <https://doi.org/10.15536/thema.14.2017.249-261.456>.

TAVARES, P. D.; SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; FREO, V. A.; BIELUZYCK, W.; SILVA, E. M. R. Soil quality under agroforestry systems and traditional agriculture in the atlantic forest biome. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v. 31, n. 4, p. 954 – 962, 2018. <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga>.

TEXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEXEIRA, W. G. Manual de análise de solos. 3.ed. Brasília: EMBRAPA, 2017.

TORI, T.; KIBRET, K. Carbon stock under major land use/land cover types of Hades sub-watershed, eastern Ethiopia. **Carbon Balance and Management**, v. 14, n.7, 2019. <https://doi.org/10.1186/s13021-019-0122-z>.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; PEREIRA, M. G. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras-MG, v.35, n.3, p.437-445, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000300001>.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microorganismos e processos microbiológicos como indicadores de qualidade dos solos. In: NOVAIS, R. F. ed. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2002. 692p.

TRIPLEHORN, C. A.; JONNISON, N. F. **Estudo dos insetos**. 7º ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 809p.

TROEH, F. R.; THOMPSON, L. M. **Solos e fertilidade dos solos**. 6.ed. São Paulo: Andrei, 2007.

TROIAN, D.; ROSSET, J. S.; MARTINS, L. F. B. N.; OZÓRIO, J. M. B.; CASTILHO, S. C. P.; MARRA, L. M. Carbono orgânico e estoque de carbono do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista em agronegócio e meio ambiente**, Maringá-PR, v.13, n.4, p.1447-1469, 2020. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n4p1447-1469>.

VAN LIER, Q. J. **Física do solo**. Sociedade Brasileira de Ciência do solo. 2010.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994. [10.2136 / sssaj1994.03615995005800010025x](https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800010025x).

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.1, p.213-223, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020>.

VIDALETT, S. F. **Caracterização dos atributos químicos e físicos de solos em diferentes sistemas de manejo no município de Conceição – PB**. 2018. 40f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Campina Grande, 2018. Disponível em: [savio.pdf \(ufcg.edu.br\)](https://repositorio.ufcg.edu.br/savio/pdf/ufcg.edu.br). Acesso em: 10 mai. 2021.

WARDLE, D. A. Controls of temporal variability of soil microbial biomass: a global – scale synthesis. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 30, p. 1627 – 1637, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00201-0](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00201-0).

WENDDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.40, n.5, p.487-494, 2005. [10.1590/S0100-204X2005000500010](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2005000500010).

WINK, C. et al. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages-SC, v.4, n.1, p.60-71, 2005. http://rca.cav.udesc.br/rca_2005_1/wink.pdf.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.19, p.1467-1476, 1988. <https://doi.org/10.1080/00103628809368027>.

ZIMMER, A. H.; MADEDO, C. M. M.; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G. Degradação e recuperação de pastagens. Campo Grande, MS: **Embrapa gado de corte**, 2012.