



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

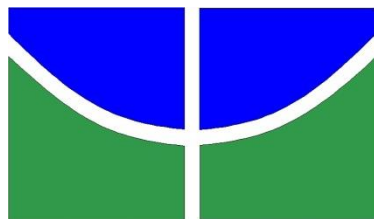
**A BIOLOGIA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES
FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS TROPICAIS**

BEATRIZ OLIVEIRA DE ALENCAR

Brasília-DF, 20 de janeiro de 2023

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE TECNOLOGIA



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

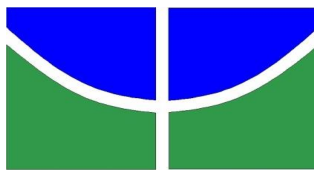
**A BIOLOGIA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES
FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS TROPICAIS**

Beatriz Oliveira de Alencar

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Alcides Gatto

Brasília-DF, 20 de janeiro de 2023



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade de Tecnologia - FT
Departamento de Engenharia Florestal – EFL

A BIOLOGIA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS TROPICAIS

Estudante: Beatriz Oliveira de Alencar

Matrícula: 19/0010843

Orientador(a): Prof. Dr. Alcides Gatto

Menção: _____

Prof. Dr. Alcides Gatto

Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal - EFL
Orientador

Dra. Fabiana Piontekowski Ribeiro

Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal - EFL
Membro da Banca

Ms. Natália Cássia de Faria Ferreira

Universidade Estadual de Goiás – UEG
Membro da Banca

Brasília-DF, 20 de janeiro de 2023

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

AA368b Alencar, Beatriz Oliveira de
A BIOLOGIA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES
FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS TROPICAIS / Beatriz Oliveira
de Alencar; orientador Alcides Gatto. -- Brasília, 2023.
66 p.

Monografia (Graduação - Engenharia Florestal) --
Universidade de Brasília, 2023.

1. Biologia. 2. Macroflora. 3. Fauna edáfica. 4.
Bioanálise. 5. Solos. I. Gatto, Alcides, orient. II. Título.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALENCAR, B. O. (2023). **A BIOLOGIA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS TROPICAIS**. Trabalho de conclusão de curso, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 66 p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR(A): Beatriz Oliveira de Alencar

TÍTULO: *A biologia do solo e sua relação com as propriedades físicas e químicas dos solos tropicais.*

GRAU: Engenheiro(a) Florestal

ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Projeto Final de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste Projeto Final de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Beatriz Oliveira de Alencar

Aos meus pais, Gilmar e Patricia, e irmãos, Fernanda, Felipe e Giovana.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, que me capacitou e permitiu que eu seguisse firme nessa difícil jornada.

Agradeço aos meus pais, Gilmar e Patricia, e irmãos, Fernanda, Felipe e Giovana, por todo amor, apoio, companheirismo e pela força destinados a mim. Sem vocês, não teria conseguido essa vitória. Obrigada por tudo!

Agradeço ao meu professor e orientador, Alcides Gatto, pela paciência, dedicação, pelos conselhos, materiais emprestados e por todo tempo empregado na condução desse trabalho. Sua orientação foi essencial!

Agradeço a todos os professores da Universidade de Brasília e, principalmente, do Departamento de Engenharia Florestal (UnB), os quais, de uma forma ou de outra, contribuíram para a minha formação acadêmica.

Agradeço a Flávia Paula, da secretaria de graduação do Departamento de Engenharia Florestal, pelos serviços sempre prestados com gentileza e pelas palavras de incentivo.

Agradeço a Dra. Fabiana Piontekowski e a Ms. Natália Ferreira por aceitarem fazer parte da minha banca, contribuindo, dessa forma, com os seus conhecimentos.

“Os impossíveis dos homens são possíveis para Deus”. (Lucas 18-27)

RESUMO

Alencar, Beatriz Oliveira de (ALENCAR, B. O.) **A BIOLOGIA DO SOLO E SUA RELAÇÃO COM AS PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS SOLOS TROPICAIS**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.

A qualidade do solo é decorrente da associação entre as suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Dessa maneira, o presente trabalho tem como objetivo realizar um levantamento literário, a fim de avaliar a biologia do solo e sua relação com as propriedades físicas e químicas dos solos tropicais. Foram analisadas diversas publicações, em livros, artigos e sites, de autores e instituições da área da Ciência do Solo. Além disso, foram analisados estudos, em diferentes regiões e biomas do Brasil, que buscaram avaliar a relação existente entre os três atributos do solo. Os resultados demonstraram que modificações nos aspectos físicos e químicos, como consequência, por exemplo, das diferentes formas de manejo empregado, implicam em efeitos sobre a biologia edáfica, sendo o mesmo observado no sentido inverso, ou seja, verificou-se que há uma relação direta entre essas três propriedades. Ademais, abordou-se a questão da bioanálise do solo (BioAS), tecnologia inovadora, cujo intuito é inserir os fatores biológicos na análise do solo e, dessa forma, promover a adoção de técnicas de manejo mais sustentáveis. Por fim, concluiu-se que existe uma relação entre a biologia do solo, e as propriedades físicas e químicas dos solos tropicais, sendo esses três atributos, fatores determinantes na qualidade e no funcionamento do solo.

Palavras-chave: Biologia; macroflora; fauna edáfica; bioanálise.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composição de um solo saudável	18
Figura 2. Diagrama textural.....	19
Figura 3. Classificação dos organismos do solo com base no diâmetro do corpo	27
Figura 4. Inter relação entre os microrganismos, matéria orgânica, agregação e manejo do solo	29
Figura 5. Tuco-tuco em solo arenoso	33
Figura 6. Esquilo-de-bolso em solo arenoso	34
Figura 7. Minhoca-mansa.....	36
Figura 8. Besouro "rola-bosta"	38
Figura 9. Enquitreídeo	40
Figura 10. Sífilo.....	41
Figura 11. Fluxograma evidenciando a atividade biológica como o primeiro degrau na escalada e melhoria de um solo	46
Figura 12. Mapa das áreas de avaliação da compactação.....	48
Figura 13. Aspecto do solo utilizado no cultivo do milho ao final do experimento, em função da ausência (esquerda) ou presença (direita) de <i>Chibui bari</i>	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes de solos do Brasil.....	22
Tabela 2. Grupos funcionais-chave da biota do solo.....	28
Tabela 3. Valores médios de RP (MPa)	49
Tabela 4. Caracterização química do tecido seco de <i>Chibui bari</i>	50
Tabela 5. Variáveis indicadoras de crescimento das plantas de milho (Bandeirante) em função da presença de minhocas <i>Chibui bari</i> adicionadas ao solo, em experimento em casa de vegetação	50
Tabela 6. Densidade e riqueza de grupos taxonômicos da macrofauna edáfica.....	52
Tabela 7. Densidade de bactérias, fungos e actinomicetos de amostras de solo de áreas do Parque Natural Ilto Ferreira Coutinho (Tangará da Serra - MT) nos períodos seco (agosto/2005) e chuvoso (março/2006)	53
Tabela 8. Propriedades físico-químicas de amostras de solo de áreas do Parque Natural Ilto Ferreira Coutinho (Tangará da Serra - MT), nos períodos seco (agosto/2005) e chuvoso (março/2006)	54
Tabela 9. Total de organismos amostrados, riqueza total e índice de diversidade de Shannon-Wiener em áreas de produção de banana (B1 e B2) e em mata nativa (MN)	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

C-org	Carbono orgânico
D _p	Densidade de partículas
D _s	Densidade do solo
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
MOS	Matéria orgânica do solo
ONU	Organização das Nações Unidas
PT	Porosidade total
RT	Resistência à penetração
PronaSolos	Programa Nacional de Solos do Brasil

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objetivo geral	15
2.2	Objetivos específicos.....	15
3	MATERIAIS E MÉTODOS	15
4	DESENVOLVIMENTO.....	16
4.1	Solos: conceito, classificação e importância	16
4.1.1	Propriedades físicas do solo.....	18
4.1.2	Propriedades químicas do solo	20
4.1.3	Solos tropicais.....	22
4.1.4	Propriedades biológicas dos solos tropicais	25
4.2	Biologia do Solo.....	25
4.2.1	Ciclagem de nutrientes	30
4.2.2	O solo e a macroflora.....	31
4.2.3	Megafauna	32
4.2.4	Macrofauna	35
4.2.5	Mesofauna.....	38
4.2.6	Microfauna.....	41
4.2.7	Microrganismos do Solo.....	43
4.3	Bioanálise do Solo (BioAS)	45
5	ESTUDOS DE CASO.....	47
6	CONCLUSÕES.....	57
7	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Em 15 de novembro de 2022, a população mundial atingiu a marca de 8 bilhões. A estimativa é de que esse número aumente para 8,5 bilhões em 2030, atingindo o pico de 10,4 bilhões até 2100 (ONU, 2022). Apesar desse feito ser resultado de avanços científicos e melhorias na alimentação, saúde e saneamento, ainda existe uma parcela significativa da população global sofrendo com a fome ou subnutrição (GUTERRES, 2022). Nesse contexto, destaca-se a questão da insegurança alimentar, haja vista que um aumento dessa proporção do número de habitantes do planeta implicará, conseqüentemente, em uma maior demanda por alimentos. Nesse sentido, estima-se que, até 2050, a produção de alimentos deva aumentar em cerca de 70%, devendo a produção de cereais ser equivalente a três bilhões de toneladas por ano (FAO, 2016).

Diante de tal cenário, o solo recebe destaque devido ao papel fundamental desempenhado na produção de alimentos, além de fibras e energia. O aumento populacional torna necessária a adoção de técnicas que garantam a sustentabilidade da produção. Para isso, é essencial o conhecimento profundo acerca das propriedades físicas, químicas e biológicas desse recurso natural, para entender como essas se relacionam entre si, a fim de evitar a degradação da mais importante fonte de alimentos do mundo. Os indicadores físicos (estrutura, textura, agregação, densidade, profundidade e porosidade), químicos (pH, Capacidade de Troca de Cátions, disponibilidade de nutrientes, elementos tóxicos e teor de matéria orgânica) e biológicos (biomassa e respiração microbiana, e atividades enzimáticas) (MOREIRA et al., 2013) são fatores que interferem na qualidade do solo.

No que se refere aos aspectos físicos, há uma relação direta desses com o crescimento vegetal, pois uma camada compactada de solo pode limitar o crescimento das raízes das plantas, tanto pelo impedimento mecânico, quanto pela deficiência de aeração (SOUZA et al., 2019). Fisicamente, o solo é considerado um sistema heterogêneo, trifásico, poroso, particulado e disperso, resultado dos processos de sua formação (MESQUITA; DIAS JUNIOR, 2013). Embora existam muitos estudos sobre os atributos físicos do solo desenvolvidos no Brasil, considerável parcela não considera os aspectos específicos dos solos tropicais (FERREIRA, 2010).

A química do solo, por sua vez, está associada a indicadores de fertilidade do solo. Essa é essencial para a produtividade agrícola e manutenção dos ecossistemas naturais, apesar de não necessariamente indicar um solo de caráter produtivo (ALFAIA; UGUEN, 2013). A

fertilidade, portanto, trata-se apenas de um dos fatores de produção, apesar dos nutrientes constituírem a base da nutrição vegetal (PRIMAVESI, 2002). Devido ao fator do uso e manejo do solo sofrerem alterações ao longo do tempo e espaço, pela cultura dos povos e variadas condições edafoclimáticas, desenvolveram-se diferentes interpretações e significados para os atributos químicos (ANGHINONI; MARTINS; CARMONA, 2019).

Do ponto de vista biológico, a saúde do solo está associada a uma cadeia trófica ativa, através da qual inúmeros organismos se alimentam, contribuindo para processos importantes, como a ciclagem de nutrientes, a formação e estruturação do solo, o controle de doenças e promoção do crescimento de plantas (FEIGL et al., 2019). Além disso, as plantas também representam um componente ativo no ecossistema edáfico, pois, tanto o seu sistema radicular, quanto a sua necromassa, depositada sobre o solo (serrapilheira), são fontes de compostos orgânicos, que proporcionam nichos para a fauna edáfica (MOREIRA et al., 2013).

Ao observar esses aspectos biológicos nos solos tropicais, o naturalista Charles Darwin escreveu sobre o processo que, hoje, é chamado de “bioturbação”, porém, os agrônomos da época trataram seus estudos de forma negligente (LEPSCH, 2010). No Brasil, especificamente, as diversas espécies de organismos do solo, bem como a flora, conferem ao país uma mega diversidade, associada à grande variedade de classes de solos no território, as quais, juntamente, com as condições de clima e extensão, formam diferentes biomas, como Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa (MOREIRA et al., 2013). Esses ambientes, associados a paisagens compostas por diferentes relevos, tornam o país favorável às atividades agrícolas, o que exige cuidados no que tange à exploração intensiva desses solos, suscetíveis a ações antrópicas mal conduzidas (CARVALHO JUNIOR et al., 2022).

Dessa forma, o cultivo intensivo, o uso desordenado de defensivos químicos e a perda da vegetação natural, contribuem para o desequilíbrio ecológico, o que interfere na nutrição das plantas, controle de pragas e doenças, e contaminação ambiental (MORSELLI, 2009). Contudo, em sistemas agrícolas, os atributos biológicos ainda são pouco conhecidos, apesar da sua relevância para a saúde das plantas e funcionamento do solo (FEIGL et al., 2019). Esse, por sua vez, depende das variáveis químicas, físicas e biológicas, sendo essas últimas, a engrenagem que move esse sistema (MENDES et al., 2018). Portanto, é essencial entender as relações que constituem esse “tripé” e, dessa forma, garantir o uso sustentável dos solos e, sobretudo, a produção de alimentos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo principal elaborar um levantamento literário sobre a relação existente entre a biologia do solo, que compreende a vegetação e a fauna edáfica, e as propriedades físicas e químicas dos solos tropicais.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar os efeitos causados sobre o solo quando algum dos seus três atributos – físicos, químicos e biológicos – sofre alteração, em virtude, principalmente, das diferentes práticas de uso do solo;
- Avaliar o impacto gerado sobre a biologia edáfica em meio às diferentes condições dos solos;
- Realizar uma abordagem referente ao desenvolvimento da tecnologia de bioanálise do solo;
- Enfatizar a importância da relação da física, química e biologia do solo no que tange ao uso sustentável dos solos tropicais.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho em questão trata-se de um levantamento literário, de caráter analítico exploratório, cuja elaboração baseou-se na utilização de materiais como livros, arquivos digitais, sites e artigos científicos. A metodologia consistiu na pesquisa, leitura, levantamento de dados, discussão e interpretação desses materiais, disponíveis em acervos pessoais, na Biblioteca Central da Universidade de Brasília (BCE), assim como em sites de instituições de referência, como, por exemplo, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Organização das Nações Unidas (ONU) e o Programa Nacional de Solos do Brasil (PronaSolos). Além disso, parte dos materiais utilizados foram obtidos nos seguintes bancos de dados: SciELO, repositório Acesso Livre à Informação Científica da Embrapa (Alice) e repositório institucional da Universidade Federal de Lavras (RIUFLA).

A definição dos materiais e métodos empregados deu-se a partir do intuito de utilizar a base teórica disponível na literatura de diferentes áreas da Ciência do Solo, para que, dessa forma, pudesse-se realizar uma revisão literária que servisse de alicerce para a elaboração do

trabalho. Para tanto, as pesquisas foram realizadas, considerando diferentes critérios, como palavras-chave relacionadas ao tema proposto (“solos”, “propriedades físicas e químicas”, “solos tropicais”, “biologia”, “fauna edáfica”, “vegetação”) e, além disso, o período das publicações, dando-se prioridade aos materiais publicados mais recentemente, sobretudo, nos últimos 5 anos. Entretanto, de modo geral, as referências utilizadas na elaboração do presente trabalho compreendem o período entre os anos de 1994 e 2022.

Ademais, optou-se por complementar a revisão com trabalhos considerados relevantes para o tema abordado, como forma de alcançar os objetivos previstos. Dessa forma, foram selecionados trabalhos cujos temas relacionam a biologia do solo e as propriedades edáficas, em diferentes regiões tropicais, com foco em alguns biomas brasileiros. Os resultados obtidos foram apresentados e discutidos, de forma a reafirmar a abordagem teórica realizada. Portanto, a elaboração do presente trabalho buscou não apenas apresentar uma revisão bibliográfica, mas também complementá-la com estudos de caso obtidos nos últimos tempos.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Solos: conceito, classificação e importância

Apesar de ser um recurso multifuncional, indispensável para os ecossistemas terrestres, o solo, muitas vezes, é esquecido, no que tange à defesa do meio ambiente (SAMPAIO, 2011). Até a última era glacial, há cerca de 10.000 anos, as primeiras civilizações enxergavam o solo apenas como um substrato sobre o qual caminhavam, e fonte de barro e pigmentos para a confecção de objetos de cerâmica e pinturas rudimentares. Os primeiros habitantes eram nômades, que viviam, principalmente, da caça, porém, com o tempo, mudaram seus hábitos quando passaram a se fixar na Mesopotâmia, nas proximidades dos rios Nilo, Tigre e Eufrates, fato influenciado, essencialmente, pelos solos férteis dessas regiões (LEPSCH, 2011).

No meio científico, o estudo dos solos também não ocorreu de forma imediata. O naturalista Alexander Van Humboldt, por exemplo, ao estudar as diferentes formas de vegetação nos continentes, não comparou essas com os variados tipos de solo que poderiam existir (LEPSCH, 2011). Entretanto, com o passar do tempo, a Pedologia, considerada a “mãe” da Ciência do Solo, passou a ganhar mais destaque. Atualmente, sabe-se que o solo é um corpo natural, dinâmico, inconsolidado, de origem mineral ou orgânica, tridimensional,

formado por um sistema trifásico, com fases sólida, líquida e gasosa, constituído por matéria viva, que pode ser vegetado e, ocasionalmente, sofrer alterações antrópicas (SANTOS et al., 2018).

Os solos são formados a partir da ação de diferentes processos, como adição, remoção, translocação e transformação de materiais (PEREIRA et al., 2019). Esses processos atuam em determinadas condições ambientais e são úteis para entender as diferentes feições dos solos, identificá-los e classificá-los. Além disso, de acordo com Hans Jenny (1994), a pedogênese, processo de formação do solo, é influenciada por cinco fatores, que são: clima, organismos, relevo, material de origem e tempo. Essa diversidade de processos e fatores ocasionam o surgimento de uma variedade de solos, com diferentes composições, cores, idades e nomenclaturas (TASSINARI et al., 2017).

A pedosfera desempenha um papel de interface entre a litosfera, hidrosfera, atmosfera e biosfera e, desse modo, exercem diversas funções, dentre as quais se destacam: meio para o crescimento de plantas, regulador ambiental, reciclador de matérias-primas, suporte de patrimônio natural e cultural, reserva de biodiversidade e meio para obras de engenharia (SAMPAIO, 2011). Os solos podem, por exemplo, transferir minerais das rochas para os oceanos, através da água das chuvas, adicionar e remover grandes quantidades de gases atmosféricos, armazenar água e oxigênio para o desenvolvimento das raízes das plantas, transferir nutrientes para a vegetação, armazenar restos orgânicos de plantas e animais, servir como micro-habitat para microrganismos e fornecer superfícies para reações químicas de interação entre a água e seus solutos (BRADY; WEIL, 2013).

A capacidade do solo de exercer as suas funções está diretamente relacionada com as propriedades edáficas, que podem ser físicas, químicas e biológicas. Cada solo apresenta características próprias, as quais podem limitar ou potencializar o uso desse recurso. Portanto, um solo saudável, propício à manutenção da vida, deve apresentar propriedades e, além disso, uma constituição adequada, com as devidas proporções de água, ar, matéria orgânica e minerais (Figura 1).

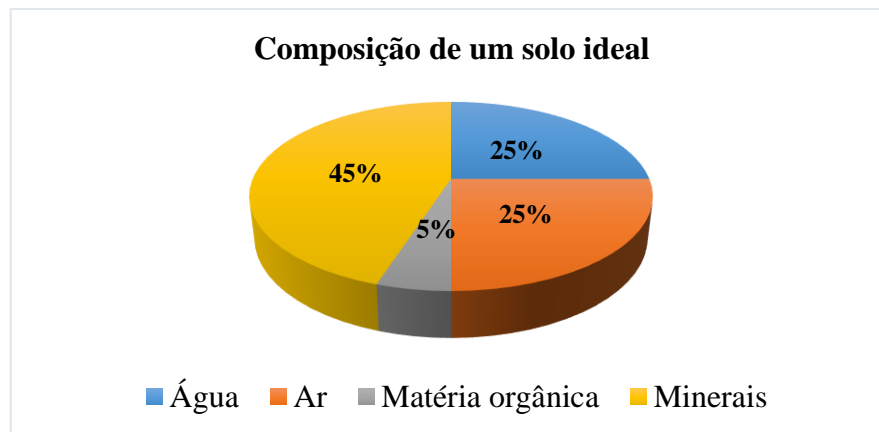


Figura 1. Composição de um solo saudável. Fonte: Adaptado de Lepsch, 2011.

4.1.1 Propriedades físicas do solo

Os solos podem apresentar grande variabilidade de um local para outro. Parte disso se deve ao fato desses apresentarem diferentes propriedades físicas, as quais interferem diretamente nos seus processos químicos e biológicos. Estudar a física do solo é essencial para entender o seu comportamento, tanto em ecossistemas naturais, quanto em meios que sofreram intervenções antrópicas. Além disso, as propriedades físicas desse corpo natural podem ser aplicadas em diferentes áreas, como na agricultura, ecologia e Engenharia Civil (LEPSCH, 2011). Com isso, dentre os principais atributos físicos dos solos, destacam-se a cor, textura, estrutura, agregação, densidade, resistência à penetração, porosidade, umidade e consistência.

A cor do solo é uma das características mais notórias. Entretanto, apesar de ser um indicativo de determinadas condições, não é suficiente para descrever o comportamento ou determinar o uso do solo. Contudo, é um dos principais aspectos analisados para a classificação dos solos. Devido ao fato de a descrição de cores ser um tanto quanto subjetiva, fez-se necessário estabelecer um padrão que pudesse ser seguido pelos pedólogos em geral. Com isso, surgiu, em 1959, a Carta de Munsell, através da qual foram estabelecidos alguns critérios para a interpretação das cores, como o matiz, associado ao pigmento, o valor, ou seja, a tonalidade, que pode ser clara ou escura, e o croma, que diz respeito à intensidade ou brilho. O teor de matéria orgânica, de água, e a ocorrência de oxidação de óxidos de ferro e manganês são os principais fatores que influenciam a cor do solo (BRADY; WEIL, 2013).

A textura e a estrutura são propriedades intimamente relacionadas. A primeira refere-se à distribuição das partículas constituintes do solo de acordo com o tamanho dessas. Para

estabelecê-la, é necessário analisar as frações granulométricas do solo. Essas frações podem ser de areia, silte ou argila (Figura 2), sendo a última a que exerce maior influência nas características do solo (NOVAIS et al., 2007). A textura interfere na capacidade do solo de reter água e nutrientes, na permeabilidade do solo e no estabelecimento de organismos edáficos (TASSINARI et al., 2017). A estrutura, por sua vez, está relacionada com o arranjo das partículas sólidas do solo, e presença e quantidade de poros. Um fator que contribui para a caracterização dessa propriedade é a agregação, processo de formação de agregados, a partir de processos como floculação, cimentação e fissuração (LEPSCH, 2011).

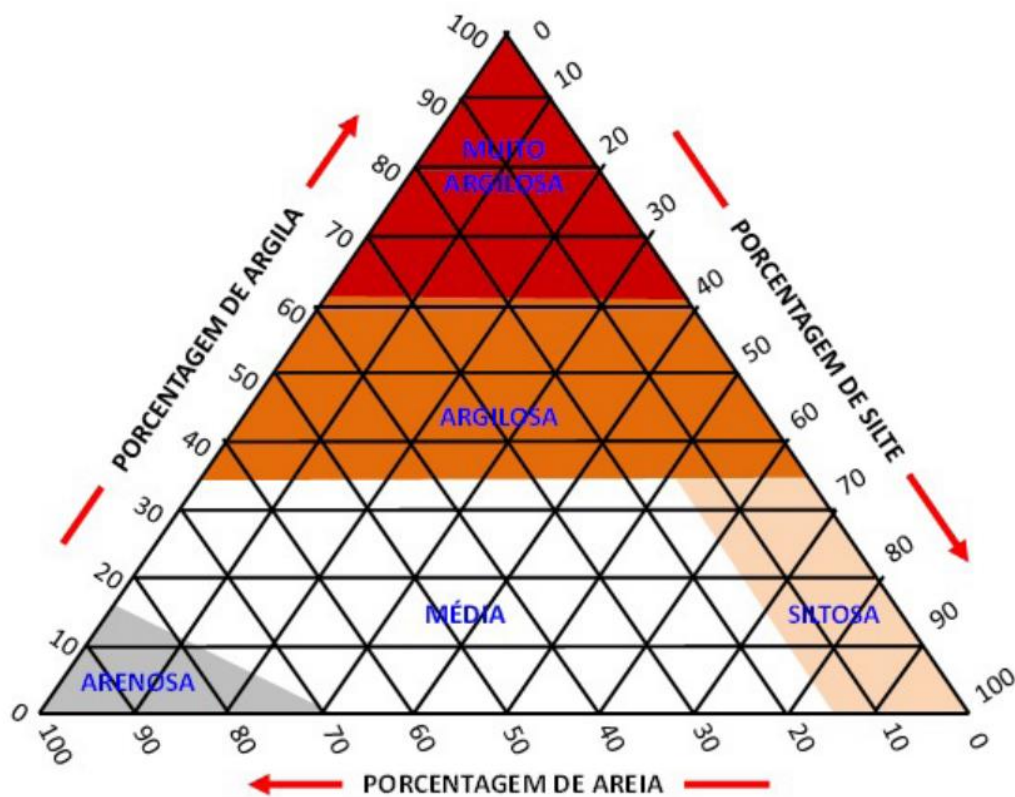


Figura 2. Diagrama textural. Fonte: Pereira et al., 2019.

Outra propriedade importante é a densidade, que pode ser dividida em densidade de partículas (D_p) e densidade do solo (D_s). A D_p é definida pela razão entre a massa de solo seco em estufa e o seu respectivo volume de partículas, enquanto a D_s representa a relação entre a massa de solo seco em estufa e o seu volume total, considerando os espaços porosos (FERREIRA, 2010). A densidade do solo é um atributo que interfere na porosidade total, capacidade de aeração e taxa de infiltração, além de estar associada ao nível de compactação do solo, possibilitando, com isso, inferências sobre a possibilidade de crescimento radicular (SOUZA et al., 2019).

A partir da medição da densidade, pode-se calcular a porosidade total do solo, propriedade relacionada com a fração volumétrica do espaço poroso, onde ocorrem processos dinâmicos, que abrangem a solução (H_2O e nutrientes) e o ar do solo, como também o crescimento radicular (SOUZA et al., 2019). Os poros podem ser divididos em macroporos ($>0,08$ mm), microporos ($<0,08$ mm) e bioporos. Os poros de maior tamanho são grandes o suficiente para permitirem a livre movimentação de ar e água, acomodando raízes de plantas e diversos animais que habitam o solo, os quais também podem contribuir com a abertura desses canais, chamados, nesse caso, de bioporos. Tem-se, ainda, os ultramicroporos ($0,0001 - 0,005$ mm) e criptoporos ($<0,0001$ mm), canais pequenos o suficiente para dificultarem a entrada das menores bactérias ou enzimas produzidas por elas (BRADY; WEIL, 2013).

Além da porosidade, outra característica física edáfica é a consistência do solo, definida, pelos pedólogos, como a capacidade desse de resistir à ruptura ou deformação; para os engenheiros civis, um atributo associado à resistência à penetração de um objeto (BRADY, WEIL, 2013). A consistência está relacionada com as manifestações das forças físicas de coesão, entre as partículas do solo, e de adesão, entre as partículas e outros materiais, variando de acordo com o conteúdo de água, textura, matéria orgânica, tipo de cátion adsorvido, e a quantidade e natureza dos coloides (REICHERT et al., 2010).

4.1.2 Propriedades químicas do solo

Os atributos químicos são essenciais, pois associam-se com a fertilidade - capacidade do solo de fornecer nutrientes essenciais, em quantidades adequadas e balanceadas, para o desenvolvimento vegetal – e estão correlacionados com as propriedades físicas e biológicas dos solos, os quais podem ser naturalmente férteis, assim como podem apresentar a baixa fertilidade como uma característica intrínseca, em função de fatores naturais, como a gênese do solo e o intemperismo, ou antrópicos, como a exaustão de nutrientes provocada por sucessivas retiradas das culturas (NOVAIS et al., 2007). Nos solos tropicais, o fósforo (P) é o nutriente que mais limita o cultivo, devido à alta tendência desse elemento ser adsorvido por esses solos (VINHA et al., 2021), o que, conseqüentemente, afeta a fertilidade.

No que tange aos elementos essenciais, esses podem ser divididos em macronutrientes, requeridos em maior quantidade pelas plantas, e micronutrientes, requisitados em menor proporção (NOVAIS et al., 2007). Dentre os macronutrientes, destacam-se o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). Como micronutrientes, os

elementos-traço, tem-se o boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), zinco (Zn). Há, ainda, os elementos benéficos, que compreendem o sódio (Na), silício (Si), selênio (Se), cobalto (Co), alumínio (Al), vanádio (V) e níquel (Ni) (RONQUIM, 2020). Esses nutrientes desempenham funções específicas e são os principais constituintes da química do solo.

Um dos principais problemas atrelados aos solos com deficiência de fertilidade, é acidez, que está relacionada com a concentração de íons H^+ . Solos ácidos constituem a maior parte dos solos do Brasil, estando, geralmente, associados à presença de alumínio e manganês (MEURER et al., 2017). Existem, basicamente, três tipos de acidez: (1) acidez ativa, definida pela presença de íons H^+ no solo, (2) acidez trocável por uma solução salina, a qual compreende os teores de alumínio e o hidrogênio, sendo a mais significativa, e (3) acidez residual, que é a fração de acidez remanescente, desconsiderando-se as duas primeiras (BRADY; WEIL, 2013). Dentre os fatores que contribuem para a acidez do solo, tem-se: a ação de microrganismos, o processo de absorção e nutrientes pelas plantas, os fertilizantes adicionados e o sistema de manejo empregado (MEURER et al., 2017).

Outra propriedade química importante é a capacidade de troca de cátions (CTC), a qual é definida pela quantidade de cátions que pode ser retida pelo solo, indicando, com isso, indiretamente, a quantidade de cargas negativas nesse corpo natural. No geral, a capacidade de troca de cátions é denominada “CTC efetiva”, mas existe também a CTC total ou parcial, a pH 7,0. A CTC, além disso, é afetada por outros fatores, como o tipo e a quantidade de argilominerais, o pH da solução do solo, o teor de matéria orgânica e a adsorção específica de íons (MEURER et al., 2017).

A soma de bases (SB) é constituída, como o nome diz, pela soma de bases trocáveis – Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ . A saturação por bases (V), por sua vez, designa a razão, expressa em porcentagem, entre SB e CTC potencial. Há, ainda, a saturação por alumínio (m), também expressa em porcentagem, que expressa a quantidade de alumínio presente na CTC efetiva. Todas essas variáveis são devidamente especificadas nos laudos de análise química do solo (MEURER et al., 2017).

Outro fenômeno que contribui para a perda de fertilidade dos solos, trata-se da erosão, desgaste do solo ocasionado pela remoção das camadas superficiais por agentes erosivos (BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2019). Entretanto, o maior dano oriundo da erosão é a perda de matéria orgânica do solo (MOS), atributo relevante para a fertilidade, uma vez que favorece a estabilização e agregação das partículas do solo, reduz o processo de erosão, é

fonte de C e energia para os microrganismos edáficos, promove a melhor retenção, e fluxo de água e ar no solo, o armazenamento de nutrientes – N, P e S – a menor compactação e melhor trabalhabilidade do solo, retenção de C atmosférico e de outras fontes, retenção de Ca, Mg e K, aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, e redução de possíveis impactos ambientais causados pelo uso inadequado de defensivos agrícolas (NOVAIS et al., 2007).

4.1.3 Solos tropicais

As proporções continentais do Brasil refletem a biodiversidade significativa e exuberante. As regiões brasileiras apresentam diferentes características, oriundas da multiplicidade de combinações entre fatores climáticos, biológicos, geológicos e geomorfológicos (LEPSCH, 2011). Com isso, em virtude de sua considerável extensão territorial, o país apresenta ampla diversidade de solos, resultado dos diversos tipos de material de origem que compõem a geologia brasileira (PINHEIRO JUNIOR et al., 2020). Dessa forma, as diferenças quanto aos tipos de solo são fundamentais para definir o potencial de uso e as limitações desse. Baseado nisso, os solos brasileiros são divididos em 13 classes, com diferentes características e distribuição (Tabela 1).

Tabela 1. Classes de solos do Brasil.

Classe (Ordem)	Símbolo	Características	%
Latossolo	L	Solo altamente intemperizado e desenvolvido, lixiviado e com ausência de incremento de argila em profundidade.	39,0
Argissolo	P	Solo com acúmulo de argila em subsuperfície, que ocupa a segunda posição em termos de expansão geográfica.	24,0
Neossolo	R	Solo pouco desenvolvido, com ausência de horizontes diagnósticos subsuperficiais e predomínio de características do material de origem.	15,0
Plintossolo	F	Solo com expressivo acúmulo e segregação de ferro, com drenagem imperfeita, que ocorre em relevo plano – suavemente ondulado, áreas deprimidas e planícies aluvionais.	6,0
Cambissolo	C	Solo moderadamente desenvolvido, com pouca diferenciação dos horizontes, e ampla variação na composição química e granulométrica.	2,5
Gleissolo	G	Solo hidromórfico, com baixo grau de desenvolvimento, cores acinzentadas ou variegadas, e ocorrência em áreas com restrição de drenagem.	4,0

Luvissolo	T	Solo raso, com acúmulo superficial de argila de alta atividade, alta saturação por bases e capacidade de troca catiônica, de coloração avermelhada ou amarelada.	3,0
Planossolo	S	Solo com abrupto acúmulo de argila em subsuperfície e baixa permeabilidade, com ocorrência em áreas de relevo plano – suavemente ondulado.	2,0
Espodossolo	E	Solo predominantemente arenoso, com acúmulo de matéria orgânica e/ou alumínio, com ou sem ferro em subsuperfície.	2,0
Nitossolo	N	Solo argiloso, sem gradiente textural, bem estruturado e profundo.	1,5
Chernossolo	M	Solo de coloração escura na superfície, com médio a altos teores de carbono e alta saturação por bases.	0,5
Vertissolo	V	Solo pouco desenvolvido, expansivo, com altos teores de argila e saturação por bases, e ocorrência no Nordeste e Pantanal.	2,0
Organossolo	O	Solo com alto teor de matéria orgânica, mal drenado, de ocorrência muito dispersa, não constituindo áreas representativas em pequenas escalas.	-

Fonte: Adaptado de PronaSolos.

A variedade de solos no território brasileiro é tamanha, que até mesmo dentro dos biomas, nota-se a pluralidade desse recurso. Na Amazônia, por exemplo, ao contrário do que se imagina, há uma prevalência de solos ácidos e com baixa fertilidade, como Latossolos (41,1%) e Argissolos (32,9%). Além disso, tem-se a ocorrência de Plintossolos (7,3%), Gleissolos (6,1%), Neossolos (7,4%), Espodossolos (2,0%), entre outros (LEPSCH, 2011). Entretanto, no bioma amazônico também existem solos eutróficos ($V > 50\%$), de alta fertilidade, como a Terra Preta de índio, solos antrópicos, com altos teores de MOS, P e CTC elevada, os quais ocorrem tanto nas Terras Firmes do Médio Amazonas, quanto nas várzeas (SCHAEFER et al., 2017).

O Cerrado, por sua vez, também é formado, majoritariamente, por solos ácidos e pouco férteis, sendo o 2º maior bioma brasileiro, caracterizado pela baixa CTC, alta saturação por alumínio, e, além disso, possuem a fração argila constituída por caulinita, goethita e gibbsita. Os poucos solos eutróficos presentes nesse bioma apresentam fortes limitações ao desenvolvimento vegetal, seja por fatores físicos, seja por ambientais. Nos chapadões e nas chapadas, particularmente, prevalecem os Latossolos de textura argilosa; os demais Latossolos são de textura média, apresentando deficiência hídrica pela menor capacidade de retenção de água (OLIVEIRA; JACOMINE; COUTO, 2017).

O bioma Caatinga, exclusivamente brasileiro, cujo nome significa “vegetação branca”, de origem Tupi-Guarani, é constituído por Neossolos (35%), Latossolos (21%), Argissolos (15%), Luvisolos (13%), Cambissolos (4%), Vertissolos (1,3%), entre outros. Em função do ambiente semiárido, com escassez de chuvas, os solos, geralmente, são jovens, pouco profundos e tendem a apresentar certa concentração de bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+), pela limitação da lixiviação. Em função da restrição de umidade, do relevo e do material de origem, torna-se comum a ocorrência de solos salinos, sálicos e sódicos (ARAÚJO FILHO et al., 2017).

A Mata Atlântica, segunda maior floresta pluvial tropical da América, devido a sua grande extensão, que contempla, basicamente, as regiões litorâneas do Nordeste ao Sul do Brasil, abrange, dessa forma, elevada biodiversidade, inclusive no que tange aos solos. Esses podem ser divididos, dentre outros, em Argissolos, Cambissolos, Chernossolos, Espodossolos, Gleissolos e Latossolos. O clima úmido, aliado à estabilidade tectônica, possibilitou o desenvolvimento de solos profundos a muito profundos, com extensa rede de drenagem. A ocorrência de material de origem ácido, sob clima úmido, promove o surgimento de solos ácidos, com CTC baixa ou intermediária, e de textura, principalmente, argilosa em subsuperfície (COELHO; ROSSI; MATTOS, 2017).

No Pantanal, bioma caracterizado por ciclos alternados de inundação e estiagem, os três principais tipos de solos são os Planossolos (35,06%), Espodossolos (20,99%) e Plintossolos (20,87%). Com isso, tem-se a predominância de solos hidromórficos, com exceção dos Latossolos, Argissolos, e alguns Chernossolos e Cambissolos, os quais não se encaixam nessa classificação. O hidromorfismo, inclusive, é um fenômeno recorrente na região, seja pela limitada drenagem vertical, seja pelas águas oriundas das inundações. De forma geral, os solos do Pantanal apresentam grande relação com o material de origem (COUTO et al., 2017).

As pradarias mistas do Sul do Brasil, mais conhecidas como “Pampa gaúcho” constituem uma região de grande diversidade edafológica, climática e geológica. Decorrente das baixas altitudes, relevo mais suave e índice de precipitação mais baixo, surgiram diferentes tipos de solos, alguns desses com alta fertilidade natural, como os Neossolos Litólicos Eutróficos, Chernossolos, Vertissolos, Luvisolos, Planossolos e Plintossolos. Entretanto, a região também compreende solos de fertilidade natural mais baixa, como Argissolos e Latossolos (ALMEIDA, 2017).

4.1.4 Propriedades biológicas dos solos tropicais

As florestas brasileiras abrangem uma enorme diversidade vegetal e de microrganismos, sendo estes considerados essenciais para a sustentabilidade dos ecossistemas, a qual, devido à intensificação das atividades agrícolas, pode ser reduzida e, com isso, afetar a produtividade (MOREIRA et al., 2013). A biota do solo, propriamente dita, desempenha um importante papel em diversos processos que ocorrem no ecossistema, principalmente, no que se refere à ciclagem de nutrientes e estrutura do solo (BALOTA, 2018). Além disso, todos os animais edáficos, exceto os predadores, contribuem para o aumento da humificação do material orgânico, fato que reforça a crença, por parte de muitos autores, de que, sem esses animais, não há formação de húmus (PRIMAVESI, 2002).

Dessa forma, os efeitos dos animais sobre diversos processos do sistema solo-planta incluem: promoção da mistura do solo, agregação e formação de canais, regulação da liteira, ciclagem e disponibilidade de nutrientes (fixação de N_2), e equilíbrio biológico do solo (SIQUEIRA, 1998). Ademais, no que tange aos atributos biológicos, consideram-se aspectos como a biomassa microbiana, composta pela diversidade de espécies de fungos, bactérias, protozoários, entre outros; o quociente metabólico, associado à quantidade de CO_2 evoluído por unidade de massa; quociente microbiano, relação entre o C da biomassa microbiana e os conteúdos totais de C-orgânico; atividade enzimática e diversidade microbiana (FEIGL et al., 2019).

Dessa forma, a seguir, adentrar-se-á nos principais aspectos referentes às propriedades biológicas dos solos tropicais, com o intuito de destacar tópicos primordiais no que tange à biologia do solo.

4.2 Biologia do Solo

No que diz respeito ao desenvolvimento da agricultura moderna, a biologia do solo vem ganhando destaque, principalmente, devido às relações mutualísticas existentes entre as plantas, e os seres micro e macroscópicos (EMBRAPA, 2022). A biologia edáfica, propriamente dita, resume-se a toda e qualquer forma de vida acima ou dentro do solo, incluindo a vegetação e os mais diversos tipos de organismos que compõem a chamada “fauna edáfica”. Com isso, o solo se constitui em um ecossistema com um dinamismo próprio, no qual os componentes exercem funções essenciais e estritamente interligadas. Sem

vida, o solo torna-se apenas um substrato, podendo o seu comportamento ser resumido da seguinte forma:

O solo funciona como um corpo, com a diferença de que não possui seus “órgãos” alinhados ao longo de uma espinha, e seu “sangue” não circula em artérias fechadas, mas em poros abertos. Na Biologia, designa-se como ser vivo “tudo que possua um metabolismo próprio”. O solo o possui. O ser vivo é de ordem superior quando possui temperatura própria. O solo a tem. É considerado um ser terrestre quando aspira oxigênio e libera gás carbônico (CO₂); o solo o faz. Mas, a vida do solo não é fácil de entender, por estarmos acostumados a ver os corpos alinhados numa ossatura e cobertos por uma pele. (PRIMAVESI, 2002, p. 147)

Dessa forma, o solo se constitui em um meio no qual habita uma sociedade intimamente associada, onde plantas e organismos atuam em conjunto, contribuindo para o equilíbrio do ecossistema e, conseqüentemente, alterando as propriedades físicas e químicas dos solos. As plantas, por exemplo, absorvem, essencialmente, nutrientes de origem orgânica. No caso dos solos tropicais, a fase mineral pouco contribui para a fertilidade. Com isso, os nutrientes absorvidos pelas plantas são oriundos do processo de ciclagem de nutrientes, fundamentado em duas etapas, decomposição e mineralização, ambas realizadas pela fauna.

Segundo a FAO (2020), os solos abrigam cerca de 25% da biodiversidade do planeta, fato que reforça uma das principais funções desse recurso natural, que é a de reserva de biodiversidade. Tal taxa se deve aos inúmeros organismos constituintes da fauna edáfica, composta por seres que passam toda ou parte da vida no ambiente do solo (BALOTA, 2018). Os ecólogos, em geral, acreditam que a variedade de organismos no solo é muito superior à encontrada acima desse, tamanha é a diversidade da biota do solo. Com isso, considera-se o tamanho dos organismos como um dos critérios de subdivisão da fauna edáfica (Figura 3).

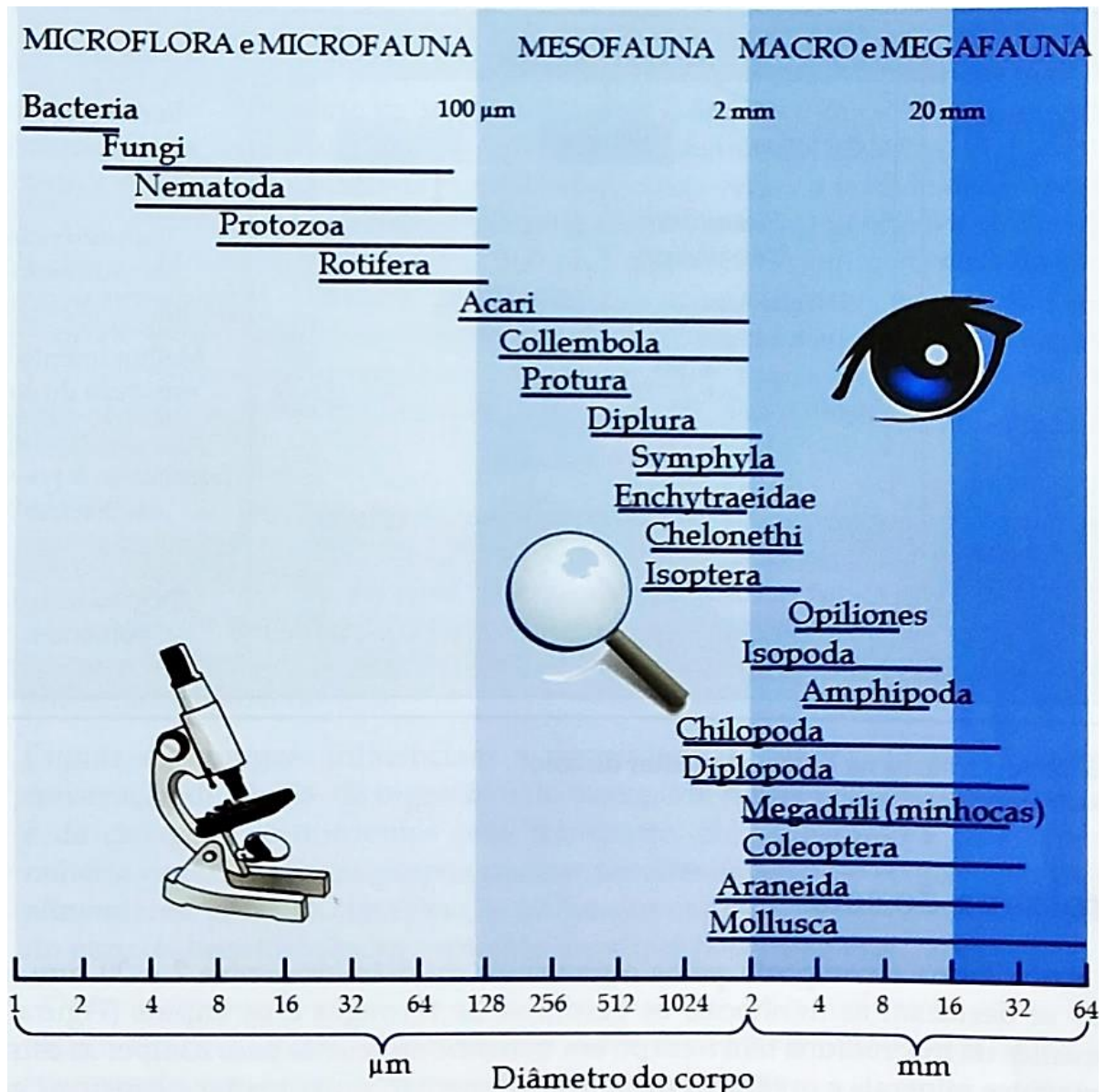


Figura 3. Classificação dos organismos do solo com base no diâmetro do corpo. Fonte: Bertol; Maria; Souza, 2019.

A flora e fauna do solo estão diretamente relacionadas, constituindo o que os ecólogos chamam de “rede alimentar”. Dessa forma, tem-se o tipo de nutrição como outro critério definido para classificar os organismos da biota edáfica. Existem os indivíduos que se alimentam de plantas vivas (herbívoros), de detritos de plantas mortas (detritívoros), que consomem animais (predadores), fungos (fungívoros), bactérias (bacterívoros) e aqueles que vivem dependendo de outros, mas sem os consumir (parasitas). Os heterótrofos são aqueles que obtêm carbono e energia a partir de compostos orgânicos. Os autótrofos, por sua vez, possuem, principalmente, o CO₂ como fonte de carbono, adquirindo energia a partir da fotossíntese ou oxidação de vários elementos (BRADY; WEIL, 2013).

Diante dessa variedade de tamanhos e tipos de nutrição, a biologia do solo possui um papel fundamental no meio ambiente, desempenhando funções ecossistêmicas que interferem, diretamente, na fertilidade e qualidade do solo, e, conseqüentemente, na manutenção da vida. A fauna, mais especificamente, atua na estruturação e agregação do solo, regulação dos processos hidrológicos, através da bioturbação, trocas gasosas e fixação de carbono, desintoxicação do solo, ciclagem de nutrientes, decomposição e mineralização da matéria orgânica, controle de pragas e doenças, servindo como fonte de alimentos e medicamentos, e, além disso, estabelecendo relações simbióticas com as raízes das plantas. Com isso, a biota do solo pode, ainda, ser dividida em grupos funcionais (Tabela 2).

Tabela 2. Grupos funcionais-chave da biota do solo.

Grupo funcional	Descrição
Produtores primários (vegetais superiores e inferiores)	Organismos fotossintéticos que assimilam o CO ₂ do ar, penetram no solo com o sistema radicular, e translocam compostos orgânicos sintetizados acima do solo.
Herbívoros	Animais que consomem e digerem, parcialmente, os tecidos vivos de plantas, incluindo as brocas de tronco e os sugadores de seiva.
Engenheiros do ecossistema (macrofauna)	Organismos que têm um forte impacto físico sobre o solo, através do transporte de solo, construções de estruturas de agregados e formação de poros – assim como também influenciam a ciclagem de nutrientes.
Transformadores da serrapilheira (muitos organismos da macro e mesofauna, mas alguns da microfauna)	Invertebrados que se alimentam dos detritos de matéria orgânica condicionada microbianamente e que trituram esse material (fragmentação), fazendo-o mais acessível aos decompositores, ou promovendo o crescimento microbiano nas fezes peletizadas.
Decompositores (fungos e bactérias degradadores de celulose)	Microrganismos que possuem as enzimas degradadoras de polímeros que são responsáveis pela maior parte do fluxo de energia na teia alimentar de decomposição.
Predadores (muitos organismos da macro e mesofauna)	Regulam os herbívoros, engenheiros do ecossistema, transformadores da serrapilheira, decompositores e os microrreguladores através da predação.

Microrreguladores (organismos da microfauna, como nematoides)	Animais que regulam os ciclos de nutrientes através da herbivoria e outras interações com os microrganismos decompositores.
Microssimbiontes (fungos micorrízicos e bactérias nodulíferas em leguminosas)	Microrganismos associados com as raízes das plantas que melhoram a assimilação de nutrientes.
Pragas e doenças de solo (fungos patogênicos, invertebrados pragas)	Espécies de controle biológico podem ser incluídas.
Transformadores procarióticos	Arqueas e bactérias que executam transformações específicas de carbono ou de nutrientes tais como N, S e P (nitrificação, fixação de nitrogênio).

Fonte: Moreira et al., 2010.

Da mesma forma que a biologia interfere nas propriedades físicas e químicas dos solos, o contrário também ocorre, o que resulta em uma relação direta, através da qual diferentes componentes edáficos interagem entre si. Os processos decorrentes dessa associação são, na maioria das vezes, influenciados pelas formas de uso e trato do solo, ou seja, pelo manejo (Figura 4).



Figura 4. Inter relação entre os microrganismos, matéria orgânica, agregação e manejo do solo. Fonte: Siqueira, 1998.

A matéria orgânica e os microrganismos, por exemplo, estabilizam a estrutura do solo, a qual os protege fisicamente. Alterações nas práticas de cultivo, principalmente, aquelas

decorrentes do manejo de restos culturais e rotação de culturas associadas a gramíneas com sistema radicular abundante, podem resultar em melhorias na agregação e estabilidade dos agregados dos solos, o que representa melhores condições de crescimento, produção de plantas e redução da erosão do solo, minimizando, com isso, os impactos ambientais (SIQUEIRA, 1998). Portanto, estabelece-se, dessa maneira, uma relação íntima entre as diferentes propriedades edáficas, resultantes da interação com a biologia do solo.

4.2.1 Ciclagem de nutrientes

O processo de ciclagem consiste na transferência de nutrientes entre compartimentos, que envolve uma série de outros processos, descritos por modelos conceituais baseados em três sistemas fundamentais de movimentação de nutrientes: planta, animal e solo (CAMPOS et al., 2021). Em ecossistemas florestais tropicais úmidos, a fitomassa constitui o principal reservatório de nutrientes; em florestas de clima temperado, o solo (SIQUEIRA, 1998). Deve-se considerar, ainda, a biomassa microbiana, que possui significativa reserva de nutrientes e, com isso, exerce influência sobre a dinâmica do solo, nutrição e produtividade das culturas, pois atua como um agente regulador da decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes (BALOTA, 2018).

Dessa forma, a biologia do solo mostra-se essencial para a manutenção do equilíbrio ecossistêmico, por meio de sua ação ativa sobre o fluxo de nutrientes. Ao avaliar a ciclagem de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden, no município de Alegrete (bioma Pampa), por exemplo, GARLET et al. (2019) constataram que as folhas da serrapilheira contribuíram com cerca de 70% do retorno de nutrientes – N, P, K, Ca, Mg e S – e os galhos (finos e grossos), com 25%. A fauna edáfica, por sua vez, está associada, direta ou indiretamente, aos ciclos biogeoquímicos do carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre (ALVES et al., 2020).

Acerca do nitrogênio, bactérias associadas a raízes de leguminosas e capins são capazes de transformá-lo para uma forma assimilável para as plantas, por meio da fixação biológica (DIAS-FILHO; LOPES, 2019). A fixação biológica do nitrogênio (FBN) trata-se de um processo enzimático, através do qual microrganismos, associados a plantas ou simbioses, reduzem o N_2 para NH_3 (VIEIRA, 2017). Com isso, devido ao fato de a maior parte do N do solo encontrar-se na forma orgânica, é necessário que ocorra a amonificação desse nutriente e, em seguida, a nitrificação, para que esse se torne disponível para a planta (SIQUEIRA, 1998).

No que tange à atividade enzimática, grande parte das transformações metabólicas de substratos orgânicos que ocorrem no solo são catalisadas por enzimas, encontradas na microbiota do solo, como a arilsulfatase, que atua na mineralização do S orgânico para SO_4^{2-} , e a β -glicosidase, encontrada em plantas, animais e microrganismos, que realiza a hidrólise da celulose (BALOTA, 2018). Não obstante, até mesmo o gado interfere na ciclagem de nutrientes, pois, após o consumo da forragem e, posteriormente, excreção das fezes e urina, transfere nutrientes das áreas mais extensas para áreas menores (DIAS-FILHO; LOPES, 2019). Portanto, evidencia-se a importância da biologia do solo para a dinâmica da ciclagem de nutrientes nos solos.

4.2.2 O solo e a macroflora

Existe uma relação de dependência entre o solo e as plantas, pois essas desempenham um papel essencial na erosão, seja esse fenômeno natural, seja causado pelo homem (LEPSCH, 2010). Dessa forma, a cobertura vegetal pode apresentar dois tipos de ação na formação dos solos: passiva, associada à proteção, com minimização dos impactos climáticos, e ativa, por meio de processos fisiológicos, como absorção de água, transpiração e exsudação (OLIVEIRA, 2011). A relação entre solo e vegetação é tamanha, principalmente, no Brasil, de tal forma que essa é usada pelos agricultores como forma de classificar suas terras (cerrado, cerradão, mata, etc.) e, além disso, as fases de vegetação original são utilizadas por levantamentos sistemáticos de solos para separar unidades de mapeamento (RESENDE; CURI; REZENDE et al., 2017).

No que tange a sua ação protetora, a cobertura vegetal do solo é fundamental para o controle da erosão hídrica, pois atua no ponto inicial do processo erosivo, reduzindo o impacto das gotas de chuva sobre a superfície (MARIA; BERTOL; DRUGOWICH, 2019). Com isso, as plantas protegem o solo da enxurrada e desagregação provocada pela chuva (BERTOL; CASSOL; BARBOSA, 2019). Além disso, a ausência de cobertura vegetal pode contribuir para a redução da infiltração de água, que, ao se concentrar na superfície e escoar, ganha energia e provoca erosão (RESENDE et al., 2002). Não obstante, a vegetação, aliada ao clima, reflete um processo de adição, em superfície ou no interior do solo, de matéria orgânica, cuja quantidade e forma de adição influenciam nos horizontes superficiais formados (OLIVEIRA, 2011).

A macroflora pode, ainda, alterar a física do solo, por meio das raízes vivas, que tendem a penetrar nas regiões menos resistentes, crescer entre agregados, remover umidade do solo e, além disso, liberar compostos orgânicos que atraem os microrganismos, os quais contribuem para a maior estabilidade dos agregados e enriquecimento da região próxima às raízes (BRADY; WEIL, 2013). Ademais, os restos de plantas são alguns dos constituintes da matéria orgânica do solo, a qual interfere nas propriedades edáficas e no crescimento vegetal (COELHO et al., 2013).

O solo, por sua vez, também exerce influência sobre a macroflora, pois constitui um fator determinante do desenvolvimento de plantas, considerando-se a interferência de fatores químicos, físicos e biológicos (SOUZA et al., 2019). A compactação, por exemplo, afeta o desenvolvimento radicular de plantas com raízes pivotantes, bem como solos pouco profundos e saturados com água impedem o desenvolvimento de espécies arbóreas (RIBEIRO et al., 2022). O aumento da densidade do solo provoca sintomas nas plantas, dentre os quais se destacam: variação no tamanho, baixa emergência, folhas amareladas, sistema radicular raso e horizontal, e raízes mal formadas (MESQUITA; DIAS JUNIOR, 2013).

Além disso, a baixa disponibilidade de nutrientes e o contato com as partículas do solo estimulam o desenvolvimento de pêlos radiculares, assim como altos teores de alumínio promovem raízes grossas e atarracadas (BRADY; WEIL, 2013). Por fim, as condições edáficas são fundamentais, por exemplo, para a recomposição de vegetações nativas, tendo em vista que, nesse caso, deve-se considerar o clima, a disponibilidade de água e, principalmente, o tipo de solo (RIBEIRO et al., 2022).

4.2.3 Megafauna

A megafauna é constituída por organismos cujo diâmetro corporal é superior a 20 mm (FEIGL et al., 2019). Devido ao maior tamanho, esse grupo de animais tende a criar grandes galerias e estruturas biogênicas no solo (ALVES et al., 2020), por meio da escavação de tocas, abrindo, com isso, canais que possibilitam o transporte de materiais. Dessa forma, podem atuar na estruturação do solo, na fragmentação de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e interação em diferentes níveis com outros organismos. As toupeiras, os musaranhos e alguns roedores são exemplos de animais pertencentes à megafauna (ORGIAZZI et al., 2016). Contudo, acredita-se que alguns integrantes desse grupo – gado – possam causar impactos negativos sobre as propriedades físicas do solo.

O pisoteio animal, em condições de alta umidade, favorece a compactação do solo devido à degradação de agregados, alterando o arranjo das partículas, as quais se aproximam, diminuindo a porosidade. Um dos principais responsáveis por esse impacto é o gado, principalmente, na região Centro-oeste do Brasil, que, a partir da década de 1960, apresentou grande expansão do efetivo bovino, devido às várias áreas de campos e cerrados, e localização central no país, facilitando a conexão com outras regiões (TEIXEIRA; HESPANHOL, 2014).

Os tuco-tucos (Figura 5), por sua vez, roedores exclusivos da América do Sul, mamíferos subterrâneos, são habitantes dos campos arenosos e das dunas costeiras do litoral. Pertencentes ao mesmo grupo das capivaras e chinchilas, constituem 65 espécies no continente sul-americano, distribuídas entre Brasil, Uruguai, Paraguai, Peru, Chile, Bolívia e Argentina. No território brasileiro, existem 8 espécies, sendo 5 encontradas no Rio grande do Sul, 2 no Mato Grosso e 1 em Rondônia. São animais pouco conhecidos e, além disso, algumas espécies estão ameaçadas pela ação antrópica (PASUCH, 2022).



Figura 5. Tuco-tuco em solo arenoso. Fonte: Tânia Carijio Zucchetti (Pasuch, 2022).

Esses roedores subterrâneos, devido à prática de escavação e alimentação, apresentam um papel importante sobre a vegetação e o solo dos locais que habitam, alterando a estrutura do seu habitat (GALIANO; KUBIAK; FREITAS, 2013). Os tuco-tucos são herbívoros que se alimentam de raízes, sementes e grama, e apresentam uma função ecológica essencial, ao movimentarem os nutrientes do fundo das tocas para a superfície, tornando-os mais disponíveis para a vegetação. Apesar da relevância ecológica, esses animais encontram-se

ameaçados pela ação humana no sul do país, devido às plantações de soja, pinus, construção de casas no litoral e presença de animais como cachorros e gatos (PASUCH, 2022).

Os esquilos são outros integrantes da megafauna, que também atuam sobre o solo. Os esquilos-de-bolso (Figura 6), especificamente, embora mais comuns na América do Norte e Central, são exemplos de como esses animais podem gerar efeitos significativos sobre os solos. Alguns pesquisadores os reconhecem como animais agrícolas, uma vez que fertilizam e colhem campos de raízes subterrâneas. Esses animais constroem sistemas de túneis, criando um ambiente úmido para o desenvolvimento de raízes e favorecendo a aeração do solo (QUAGLIA, 2022).



Figura 6. Esquilo-de-bolso em solo arenoso. Fonte: Houston Wells (Quaglia, 2022).

No Brasil, nas regiões da Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado e Pantanal, um importante representante da megafauna, é o tatu-canastra (*Priodontes maximus*), engenheiro do ecossistema, ameaçado de extinção. Podendo pesar entre 28-50 kg, essa espécie de tatu, a maior existente, pode alterar o meio ambiente físico por meio de suas escavações. Através das tocas que abrem nos solos, facilitam a infiltração de água, a distribuição de nutrientes, e a diversidade vegetal e da biota do solo. Apesar desse serviço ecossistêmico prestado, nos últimos tempos, sofreram um declínio populacional superior a 50%, devido à perda e fragmentação de habitat, caça e colisões em rodovias (SERRA; CANDIDO; ALBUQUERQUE, 2021).

4.2.4 Macrofauna

Constituída pelos maiores invertebrados que vivem no solo, com diâmetro do corpo entre 2 – 20 mm, sendo, com isso, perceptível a olho nu, a macrofauna inclui organismos de diferentes classes, ordens e famílias. Dentre esses, destacam-se as minhocas, os cupins, besouros, formigas, centopeias, cigarras, gafanhotos, baratas, grilos, percevejos, aranhas, entre outros. A importância da macrofauna está associada ao fato de que esses animais podem alterar as características físicas e químicas dos solos, acarretando, geralmente, benefícios como o aumento da aeração, infiltração de água no solo, diminuindo o escoamento superficial dessa, incorporação de matéria orgânica, auxílio na ciclagem de nutrientes, controle de pragas e dispersão de sementes (KORASAKI et al., 2017).

Certos indivíduos que compõem a macrofauna edáfica promovem grandes alterações no seu ambiente físico, influenciando, dessa forma, os habitats de outros organismos do ecossistema. Esses seres que promovem tal modificação são, por esse motivo, chamados de “engenheiros do ecossistema”. Cupins, formigas e minhocas, por exemplo, realizam escavações que possibilitam não apenas uma melhor entrada de água e ar no solo, mas também a passagem das raízes das plantas, o que afeta diretamente o crescimento vegetal (BRADY; WEIL, 2013).

As minhocas, pertencentes à classe Oligochaeta (*oligo* = pouco; *chaeta* = cerda) surgiram no planeta há, aproximadamente, 570 milhões de anos. Atualmente, existem mais de 8.000 espécies de anelídeos (KORASAKI et al., 2017), invertebrados pertencentes ao filo Annelida, incluindo as minhocas. Com exceção de parte do nordeste semiárido, o Brasil é o único país inteiramente habitável por minhocas e, dessa forma, acredita-se que o território apresente o maior número de espécies no mundo (JAMES; BROWN, 2008). A *Pontoscolex corethrurus* (Figura 7), popularmente, chamada de “minhoca-mansa”, é uma das espécies mais comuns no solo brasileiro (KORASAKI et al., 2017). Entretanto, grandes áreas da região continuam inexploradas e sem registro desses animais (BROWN; FRAGOSO, 2007).



Figura 7. Minhoca-mansa. Fonte: Korasaki et al., 2017.

Esses integrantes da macrofauna promovem a abertura de canais, e ingestão de minerais e matéria orgânica, interferindo na porosidade do solo e disponibilidade de nutrientes. As minhocas interferem na estrutura física do solo, produzindo agregados orgânicos e minerais nas paredes das galerias, influenciando a estrutura edáfica, a dinâmica da matéria orgânica e liberação de nutrientes (JIMÉNEZ; THOMAS, 2003). Dessa forma, as minhocas podem ser divididas em categorias funcionais: epigeicas, quando vivem e se alimentam na superfície do solo; anécicas, quando vivem abaixo do solo, mas se alimentam na superfície, e endogeicas, quando vivem e se alimentam abaixo do solo (FEIGL et al., 2019).

Os cupins ou térmitas, por sua vez, são insetos sociais, que vivem em colônias compostas por indivíduos especializados, os quais são organizados em castas, apresentando funções específicas, como reprodução, defesa, coleta de alimentos, etc. Antigamente, esses insetos pertenciam à ordem Isoptera, a qual, nos dias atuais, passou a ser considerada uma infraordem da ordem Blattodea, a mesma das baratas (KORASAKI, 2017). Conhecidos, comumente, como pragas de madeira e outros materiais celulósicos, esses organismos também são integrantes essenciais da fauna do solo em ecossistemas tropicais. Existem cerca de 2.800 espécies catalogadas no mundo; aproximadamente, 300 registradas no Brasil (CONSTANTINO; ACIOLI, 2008).

As construções realizadas por esses insetos são, geralmente, denominadas de “termiteiros” ou “cupinzeiros”. A partir do solo ou da mistura das próprias fezes com saliva,

constroem ninhos e túneis. Quanto aos hábitos alimentares, variam de xilófagos, que se alimentam exclusivamente de madeira, a humívoros, os quais se alimentam apenas de matéria orgânica do solo, ingerindo, dessa forma, grande quantidade de solo mineral. Os organismos xilófagos predominam na floresta amazônica. No Cerrado, os cupins apresentam grande abundância, com cerca de 140 espécies registradas. Nos biomas Mata Atlântica e Caatinga, a termitofauna ainda é pouco conhecida. No Pantanal, foram obtidas poucas amostras, sendo as espécies encontradas as mesmas do Cerrado e da Amazônia (CONSTANTINO; ACIOLI, 2008).

Outros integrantes da macrofauna edáfica são os besouros, pertencentes à ordem Coleoptera, a qual abrange a maior diversidade de organismos descritos, cerca de 40% dos insetos, ou seja, mais de 350.000 espécies (LOUZADA, 2008). A ordem é constituída, ainda, por outros representantes, como joaninhas, vagalumes e potós, por exemplo. Os coleópteros habitam, praticamente, todos os tipos de ambiente, incluindo água doce, o que faz com que a morfologia geral desses animais seja muito variável (KORASAKI et al., 2017). No sistema solo-planta, a relevância desses insetos é decorrente de atividades como: ataque a raízes de plantas, ação mecânica sobre troncos mortos e detrito em geral, aeração do solo pela escavação de túneis e incorporação da matéria orgânica da superfície nas camadas inferiores (LOUZADA, 2008).

Um dos principais grupos de coleópteros é a subfamília Scarabaeinae, cujos integrantes são conhecidos como “escarabeíneos”, chamados, vulgarmente, de “besouros rola-bosta” (Figura 8). Dentre esses, grande parte das espécies são coprófagas, alimentando-se de fezes de vertebrados ou da microbiota presente nessas. Entretanto, existem também indivíduos com hábito alimentar saprófago (material vegetal em decomposição), micetófago (fungos), carpófago (frutos em decomposição), necrófago (cadáveres), predadores (outros animais) e generalistas (fezes e carcaças). As principais funções exercidas pelos escarabeíneos são a remoção da matéria orgânica em decomposição da superfície do solo e a incorporação de fezes de vertebrados ao meio edáfico (LOUZADA, 2008).



Figura 8. Besouro "rola-bosta". Fonte: Portal UFLA.

Com relação às formigas, o Brasil apresenta a maior diversidade das Américas; uma das maiores do mundo. A maior diversidade, abundância e frequência desses insetos encontra-se nos trópicos. Com isso, estima-se que as formigas, que pertencem a uma única família – Formicidae – da ordem Hymenoptera, sejam responsáveis por 30 – 50% da biomassa animal terrestre da floresta Amazônica (BACCARO et al., 2015). Juntamente com os cupins, constituem cerca de 1/3 da biomassa animal do planeta. Além disso, também são insetos sociais, que vivem em colônias (KORASAKI et al., 2017).

Os formigueiros podem ser construídos dentro de árvores, embaixo de pedras e no solo. Para a construção desses ninhos, as formigas cavam túneis, os quais interligam câmaras, dando acesso à superfície do solo. O gênero *Atta*, por exemplo, destaca-se pelos formigueiros enormes, os quais são formados após o revolvimento de grande quantidade de solo. A importância ecológica das formigas se deve as suas múltiplas funções, como: predação e controle populacional, dispersão secundária de sementes, promoção da aeração e infiltração de água no solo, e influência nos processos de ciclagem de nutrientes ao depositarem detritos orgânicos no solo, que são decompostos por fungos e bactérias (KORASAKI et al., 2017).

4.2.5 Mesofauna

A mesofauna é o conjunto de invertebrados da fauna edáfica com diâmetro corporal entre 100 μm e 2 mm, sendo taxonomicamente diverso (FEIGL et al., 2019). É constituída por organismos como ácaros (Acari), colêmbolos (Collembola), enquitreídeos (Enchytraeida),

palpígrados (Palpigradi), proturas (Proturos), paurópodos (Pauropoda), dipluras (Diplura), e sínfilos (Symphylla), dentre os quais os três primeiros apresentam maior abundância no solo. Esses indivíduos apresentam tamanho reduzido, o que dificulta a visibilidade a olho nu, tornando necessário, para sua observação, o uso de instrumentos como lupa e microscópio (BERNARDI, 2017).

Incluindo predadores, outros que se alimentam de matéria orgânica em decomposição e, além disso, que possuem a capacidade de revolver o solo, auxiliando na manutenção da qualidade desse, a mesofauna compreende organismos que atuam na ciclagem de nutrientes e incorporação da matéria orgânica ao ecossistema edáfico (BERNARDI et al., 2017). Por serem sensíveis às alterações no solo, naturais ou provocadas por atividades antrópicas, a diversidade da mesofauna, assim como da macrofauna, é utilizada como bioindicadora da qualidade do solo (MELO et al, 2009).

Dentro da mesofauna, os ácaros e colêmbolos, geralmente, destacam-se pela abundância e diversidade, sendo os primeiros bastante diversos, com mais de 1000 espécies conhecidas no país, enquanto os integrantes da ordem Collembola são pouco conhecidos e estudados no Brasil. Estes apresentam função detritívora, essencial para a decomposição da matéria orgânica e das populações de microrganismos. Os ácaros, por sua vez, são, principalmente, predadores, o que lhes permite atuar no controle de populações da microbiota (MELO et al., 2009). A avaliação de ácaros e colêmbolos como indicadores biológicos, sobretudo, tem recebido maior destaque, uma vez que atuam na regeneração do solo, favorecem o equilíbrio de populações, disponibilizam nutrientes e, dessa maneira, geram benefícios para a vegetação (STÖCKER et al., 2017).

Os ácaros são organismos que podem ser encontrados em variadas regiões e que apresentam grande diversidade alimentar, compreendendo espécies parasitas, fitófagas e predadoras (CARVALHO, 2014). Esses aracnídeos atuam na decomposição de resíduos vegetais, liberando materiais para os microrganismos, os quais auxiliam na manutenção da relação C/N e, com isso, a fauna e flora podem contribuir para manter os nutrientes livres para serem absorvidos pelos vegetais (MORSELLI, 2009).

Os colêmbolos são animais que possuem corpo alongado ou globoso, com antenas que podem ser tão longas quanto o próprio corpo ou curtas a ponto de, dificilmente, serem visualizadas. Alguns desses animais podem saltar alturas equivalente a 20 vezes o tamanho do corpo. Podem servir como fonte de alimentos para aranhas, ácaros, insetos, sapos e lagartos. Atuam na ciclagem de nutrientes, alimentando-se de matéria orgânica morta animal e vegetal,

auxiliando, com isso, a decomposição, e fazendo com que os nutrientes retornem ao solo. Contribuem para a formação e o enriquecimento do solo que sustenta florestas, em conjunto com fungos, bactérias e ácaros (BERNARDI et al., 2017).

Os enquitreídeos (Figura 9) são invertebrados extremamente pequenos, conhecidos como “minhocas-brancas”. Apesar de existirem cerca de 700 espécies registradas no mundo, das quais 30 ocorrem no Brasil, os estudos acerca da diversidade e biologia desse grupo são escassos. São responsáveis por função associadas à decomposição da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes, dispersão de esporos de fungos, aumento da porosidade do solo e estímulo à recolonização de microrganismos. Sofrem influência do pH, da umidade, temperatura, compactação e umidade do solo (BERNARDI et al., 2017).



Figura 9. Enquitreídeo. Fonte: Dragisa Savic (Bernardi et al., 2017).

Os palpígrados são pequenos aracnídeos que habitam o solo, a serrapilheira e espaços subterrâneos, sobre os quais existem poucos estudos, o que faz deles organismos ainda negligenciados, o que dificulta sua inclusão em ações de conservação (SOUZA, 2017). Outro grupo a respeito do qual existe pouco conhecimento, é o dos sínfilos (Figura 10), miriápodes (Myriapoda) esbranquiçados, com um par de antenas e ausência de olhos, integrantes de um grupo considerado muito antigo e primitivo (CAMACHO, 2015).



Figura 10. Sínfilo. Fonte: David Fenwick (Bernardi et al., 2017).

Os paurópodes também são miriápodes, cegos, cujo tamanho corporal varia entre 0,1-1,5 mm, constituídos por 11 segmentos no corpo, encontrados embaixo de troncos, pedras ou folhas no solo (MORAIS; FRANKLIN, 2008). Vivem em lugares úmidos, como solos florestais, alimentam-se de matéria orgânica morta e, portanto, são essenciais na ciclagem de nutrientes (BERNARDI et al., 2017). Os proturos, pequenos animais despigmentados e sem olhos, adaptam-se melhor em lugares úmidos a moderadamente quentes, sendo encontrados em solos que apresentam elevada quantidade de folhas e materiais vegetais em decomposição (MORAIS et al., 2013). Por fim, tem-se, ainda, os dipluros, geralmente, detritívoros e micetófagos, que vivem em lugares úmidos, preferencialmente, em solos de fina a forte textura em argila (MORSELLI, 2009).

4.2.6 Microfauna

Composta por invertebrados com diâmetro entre 4 -100 μm , a microfauna inclui protozoários, nematoides, rotíferos e alguns integrantes do grupo Collembola, Acari, entre outros (FEIGL et al., 2019). Esses indivíduos habitam solos com alta umidade, atuando na produção e manutenção da qualidade edáfica, na regulação de comunidades de microrganismos e na ciclagem de nutrientes, além de serem essenciais para os ciclos biogeoquímicos, pelo fato de, muitas vezes, alimentarem-se de resíduos em decomposição. Localizados a até cerca de 20 cm de profundidade, utilizam os poros do solo como meio de locomoção, onde buscam alimento, proteção e reprodução (FILGUEIRAS et al., 2017).

Esses pequenos animais vivem em filmes de água, onde atuam regulando a biomassa de microrganismos, mantendo a diversidade, uma vez que previnem a dominância de determinados grupos (FEIGL et al., 2019). Os seres mais representativos do grupo são os protozoários, nematoides e rotíferos (FILGUEIRAS et al., 2017). Em cada grama de solo, as populações de protozoários variam entre 10^4 e 10^5 organismos. Os nematoides, por sua vez, são, geralmente, encontrados a cerca de 10 cm de profundidade, na ordem de 10^6 a cada metro quadrado (MICHEREFF et al, 2005).

Englobando os seres mais numerosos e variados da microfauna edáfica, os protozoários abrangem cerca de 50.000 espécies (BRADY; WEIL, 2013). Pertencentes ao Reino Protozoa, são seres unicelulares e microscópicos, capazes de habitar diversos ambientes, como a água e o solo, podendo ser de vida livre, parasitas ou mutualistas. Pelo fato de consumirem grande quantidade de bactérias, ajudam na regulação, e modificação do tamanho e das características dessas comunidades. Além disso, atuam na decomposição da matéria orgânica, como, por exemplo, fezes, auxiliando na limpeza do meio ambiente. (FILGUEIRAS et al., 2017).

Entre os protozoários do solo, encontram-se as amebas, os ciliados e flagelados (BRADY; WEIL, 2013). Estes formam o grupo mais numeroso no solo, fator importante no controle de populações bacterianas (MICHEREFF, 2005). Locomovem-se a partir de uma estrutura chamada “flagelo”. Ao contrário dos flagelados, os ciliados são o grupo, evolutivamente, mais recente, caracterizados pela presença de cílios, em parte ou por toda extensão corporal, além do desenvolvimento obrigatório de cistos. As amebas, por sua vez, movimentam-se por expansões citoplasmáticas, os pseudópodes. Utilizam bactérias, fungos, algas e partículas de matéria orgânica como fonte de alimento (FILGUEIRAS et al., 2017).

Os nematoides, pertencentes ao filo Nematoda, são seres microscópicos, com comprimentos que variam de 150 μm a 4 mm, corpo filiforme e simetria bilateral (FILGUEIRAS et al., 2017). Encontrados na maior parte dos solos, com cerca de 20.000 espécies identificadas, a maioria desses indivíduos se alimentam de fungos, bactérias, algas ou outros nematoides (BRADY; WEIL, 2013). Tendo em vista que esses animais são os mais abundantes e diversos no mundo, estima-se que uma colher de solo fértil contenha milhões de nematoides. Encontrados, comumente, entre 5 - 30 cm de profundidade, contribuem para a ciclagem de nutrientes, regulação da fertilidade do solo, através da mobilização de nutrientes, e controle de pragas (FILGUEIRAS et al., 2017).

No que se refere ao hábito alimentar, os nematoides podem ser fitopatogênicos, entomopatogênicos, bacteriófagos ou fungívoros. Os parasitas de plantas se alimentam de tecidos vegetais vivos e podem, com isso, provocar prejuízos para a agricultura. Os entomopatogênicos propiciam a infecção por bactérias mutualísticas presentes em seu interior, matando os insetos. Os bacteriófagos consomem células bacterianas encontradas no solo; os fungívoros, fungos (FILGUEIRAS et al., 2017). Independentemente do grupo trófico, esses vermes contribuem para a ciclagem de nutrientes (CARES; HUANG, 2008). Ferris et al. (2001) acreditam que alguns nematoides bacteriófagos, típicos estrategistas-r, capazes de gerar uma explosão populacional em períodos curtos, em solos enriquecidos, são importantes indicadores de fertilidade do solo.

Os rotíferos recebem esse nome devido a uma coroa de cílios que envolve a boca desses animais. Esses cílios auxiliam na locomoção e nutrição, uma vez que auxiliam na captura de algas unicelulares e bactérias, fontes de alimento para esses micro animais. Com tamanhos que variam entre 4 μm e 3 mm, possuem um mecanismo de resistência que os tornam capazes de, sob condições inadequadas, ressecarem, retornando ao ambiente sob condições mais propícias. Além disso, apresentam importância ecológica por servirem de alimento para insetos, protozoários, crustáceos e outros rotíferos (FILGUEIRAS et al., 2017).

4.2.7 Microrganismos do Solo

Embora muitas vezes despercebidos pelos seres humanos, os microrganismos são componentes fundamentais no ecossistema, prestando diversos serviços à humanidade e sendo, por esse motivo, considerados “operários” do meio ambiente (CARVALHO et al., 2017). Presentes em todos os lugares, como solo, água, ar, plantas e animais, incluem bactérias, fungos, arqueias, actinobactérias, cianobactérias e vírus. A importância desse grupo se deve ao fato de possibilitarem a manutenção da vida e o equilíbrio dos ecossistemas, atuando nos ciclos biogeoquímicos, na degradação da matéria orgânica, fixação de N_2 , solubilização de fosfatos, simbioses (FEIGL et al., 2019), formação do solo, e na biorremediação de poluentes e agrotóxicos (MENDES et al., 2009). Sobre o papel desempenhado pelos microrganismos, destaca-se:

“Para que o que está morto seja removido e o mundo permaneça tão limpo como no primeiro dia, existem os microrganismos, que decompõem as substâncias orgânicas em seus componentes básicos: água, gás carbônico e minerais. Somente a energia não volta mais a ser luz, mas perde-se no espaço em forma de calor. De modo que a

planta verde é formada das substâncias H₂O (água), CO₂ (gás carbônico) e minerais na presença da luz, e os microrganismos a decompõem novamente em H₂O, CO₂, minerais e calor. A vida pode reiniciar o seu ciclo!”. (PRIMAVESI, 2002, p. 164)

No que se refere à decomposição da matéria orgânica, os fungos e as bactérias são os principais responsáveis (CARVALHO et al., 2017). Os fungos são eucariontes, heterótrofos, aeróbicos, embora alguns suportem baixas concentrações de O₂ e, também, altos teores de CO₂, o que ocorre, geralmente, em solos úmidos ou compactados. Além disso, apresentam filamentos microscópicos individuais, as hifas, que, juntas, formam o micélio (BRADY; WEIL, 2013). Esses organismos liberam substâncias orgânicas, como polissacarídeos, hidrofobinas, glomalina, entre outras, as quais podem desempenhar a função de agentes cimentantes, contribuindo para a formação e estabilização de agregados (BONETTI; FINK, 2020).

Os fungos podem estabelecer associações mutuamente benéficas com as raízes das plantas superiores. Essa simbiose é conhecida como “micorriza”. Para muitas plantas, em ecossistemas naturais, as relações micorrízicas são indispensáveis. Nessa relação entre fungos e raízes, praticamente, ocorre a extensão do sistema radicular das plantas, aumentando a superfície de absorção em, aproximadamente, 10 vezes em relação a uma planta não infectada (BRADY; WEIL, 2013). Com isso, essa associação favorece a absorção de H₂O e nutrientes, sobretudo, de P, nutriente fortemente ligado aos minerais do solo, o que dificulta a absorção pelas plantas. Como retribuição, as plantas fornecem aos fungos os compostos orgânicos que esses seres, pela ausência de clorofila, não conseguem sintetizar (CARVALHO et al., 2017).

As bactérias, apesar de menores do que os fungos, encontram-se em maior densidade no solo, em forma de células individualizadas, colônias e biofilmes na superfície dos poros (BONETTI; FINK, 2020). Em solos de clima tropical e subtropical, com temperatura superior a 20°C, as bactérias são predominantes, em relação a fungos e actinomicetos, sendo extremamente ativas na decomposição da matéria orgânica, o que desfavorece o acúmulo de húmus (PRIMAVESI, 2002). São procariontes, autotróficas ou heterotróficas, com diâmetro menor do que as hifas fúngicas e móveis, e capacidade de nadar sobre as películas de água do solo, por meio de cílios ou flagelos (BRADY; WEIL, 2013).

Assim como os fungos, as bactérias também podem estabelecer associações com as raízes das plantas. Bactérias fixadoras de nitrogênio, por exemplo, que constituem os rizóbios, formam nódulos em raízes (MOREIRA et al., 2010). Essa associação é estabelecida, principalmente, com leguminosas, porém, nem todas as espécies desse grupo são moduladoras (PRIMAVESI, 2002). O nitrogênio, um macronutriente para as plantas, constituinte

importante de proteínas, ácidos nucléicos e clorofila, encontra-se, majoritariamente, sob forma não disponível (N_2) para os eucariotos e grande parte dos procariotos, na atmosfera. Por meio da fixação biológica de nitrogênio (FBN), as bactérias convertem o N_2 para uma forma inorgânica, através da enzima nitrogenase, absorvível pelas plantas (CARVALHO et al., 2017).

No que diz respeito às arqueias, seres procariontes, evolutivamente, distintos das bactérias, acreditava-se que essas eram criaturas raras e primitivas, que habitavam ambientes extremos, tais como: águas saturadas por sais, solos ácidos ou alcalinos, águas profundas e congeladas, ferventes, etc. Entretanto, atualmente, acredita-se que esses organismos também habitem locais mais comuns, podendo representar cerca de 10% da biomassa microbiana em solos bem drenados. As cianobactérias, por sua vez, também chamadas de “algas azuis”, são fotossintetizantes, haja vista que possuem clorofila. Capazes de fixar quantidades significativas de nitrogênio, são tolerantes a ambientes salinos e podem formar crostas microbióticas em solos desérticos (BRADY; WEIL, 2013).

Por fim, existem, ainda, os actinomicetos, bactérias filamentosas e ramificadas, semelhantes a pequenos fungos, geralmente, aeróbicos e heterótrofos. Algumas espécies podem estabelecer relações parasitárias ou simbióticas com as plantas, vivendo sobre compostos oriundos dessas ou na MOS em decomposição. Desenvolvem-se melhor em solo úmido e bem aerado. Ademais, podem decompor quitina, celulose e fosfolipídios para formas mais simples, sendo mais predominantes nos últimos estágios de decomposição. Por esse motivo, são de grande relevância nas fases finais da compostagem (BRADY; WEIL, 2013).

4.3 Bioanálise do Solo (BioAS)

Em 23 de julho de 2020, após 21 anos de estudo, foi lançada a tecnologia Embrapa de Bioanálise de Solo (BioAS), com o objetivo de adicionar o componente biológico às análises de rotina de solos (MENDES et al., 2021). Trata-se de uma iniciativa pioneira, a qual coloca o Brasil na vanguarda mundial e que pode, inclusive, aumentar a inserção do país na bioeconomia (MENDES et al., 2018). Com o intuito de complementar a tradicional análise de fertilidade do solo, a tecnologia consiste em analisar e interpretar as atividades das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase, as quais se encontram no solo, associadas aos ciclos do enxofre e carbono, respectivamente (MENDES et al., 2020).

A atividade enzimática de um solo baseia-se na atividade de enzimas de organismos vivos (plantas, animais, microrganismos), juntamente, com a de gerações passadas de organismos que em algum momento estiveram presentes no solo – componente abiótico. Considera-se um solo saudável quando esse é biologicamente ativo, produtivo e capaz de realizar certos serviços ambientais, como: armazenamento de H₂O, sequestro de carbono, degradação de pesticidas, entre outros. Dessa forma, o componente biológico tem se mostrado de grande relevância para a manutenção de lavouras saudáveis, resilientes e sustentáveis (MENDES et al., 2020).

Durante muito tempo, atribuiu-se maior ênfase às análises dos fatores relacionados à química do solo, seguida pela física. A biologia edáfica, propriamente dita, ao longo de determinado período, deixou uma lacuna no que se pode chamar de “tripé” das propriedades do solo. Atualmente, devido à constatação de que solo quimicamente semelhantes nem sempre apresentam o mesmo desempenho, fez-se necessário incluir os parâmetros biológicos – bioindicadores – nas análises de rotina (MENDES et al., 2020).

De acordo com Mendes et al. (2020), a atividade biológica, evidenciada pela atividade enzimática, constitui o primeiro degrau na escala de melhoria de um solo (Figura 11). O aumento da atividade enzimática, associada à biológica, pode ser um indicativo de que o acúmulo de MOS está sendo favorecido pelo sistema. Isso se deve ao fato de a capacidade do solo de estabilizar e proteger enzimas estar relacionada com a capacidade de estabilizar e armazenar MOS, e a propriedades estruturais do solo, como agregação e porosidade. Entretanto, em fases iniciais, nem sempre o aumento da atividade enzimática é acompanhado do aumento do teor de MOS (MENDES et al., 2021).

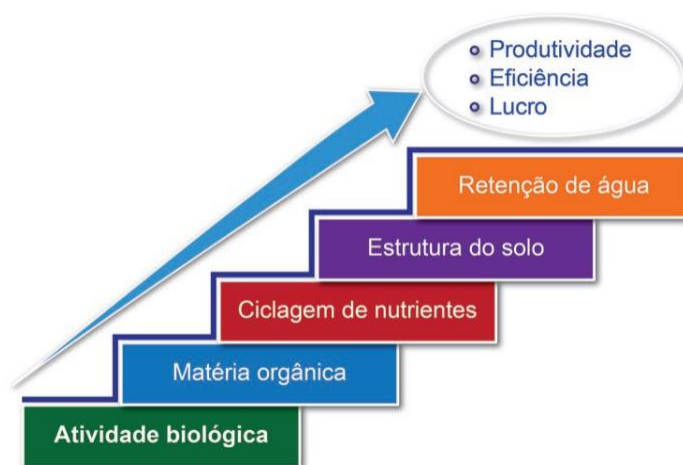


Figura 11. Fluxograma evidenciando a atividade biológica como o primeiro degrau na escalada e melhoria de um solo. Fonte: Mendes et al., 2020.

A seleção das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase se deve ao fato de essas, nos experimentos, terem se mostrado como os indicadores com maior sensibilidade às alterações no solo decorrentes no manejo empregado. Ademais, as duas enzimas atendem aos critérios estabelecidos para um bom indicador de qualidade, que são: apresentar sensibilidade, coerência, precisão, determinação analítica simples, relação com a ciclagem da MOS, não sofrendo influência de adubos e corretivos. A interpretação desses indicadores biológicos foi desenvolvida a partir de algoritmos baseados em análises de regressão, considerando-se o nível de atividade enzimática, tipo e textura do solo, rendimento de grãos e MOS (EMBRAPA, 2022).

A tecnologia BioAS é de fundamental importância, haja vista que permite avaliar o estado de saúde do solo, servindo como uma ferramenta para advertir os agricultores que fazem uso de sistemas de manejo que cooperam para a degradação do solo, destacando a necessidade da adoção de práticas conservacionistas (MENDES et al., 2018). A tecnologia tem sido aplicada apenas para culturas anuais de grãos e fibras, na região do Cerrado e no estado do Paraná, não sendo indicada para qualquer cultura e região, em função das diferentes culturas e variações edafoclimáticas (EMBRAPA, 2022).

Atualmente, a Rede Embrapa BioAS conta com 8 laboratórios integrados, os quais estão distribuídos nos estados de Minas Gerais (1), Goiás (3), Mato Grosso (1), Paraná (2) e São Paulo (1). Nos próximos anos (2023/2024), espera-se que ocorra o lançamento da BioAS Pastagem, BioAS Cana, BioAS Café e BioAS Eucalipto (EMBRAPA, 2022), com o objetivo de ampliar o monitoramento da saúde do solo dos agroecossistemas brasileiros (MENDES et al., 2020).

5 ESTUDOS DE CASO

Com o intuito de avaliar a compactação do solo em áreas sob pastagem, SILVA FILHO; COTTAS; MARINI (2010) realizaram um estudo em duas áreas de pastagens, usando, como parâmetro, áreas de florestas, em Porto Velho, Rondônia (Figura 12). O objetivo era avaliar a compactação nos primeiros 40 cm de profundidade do solo em duas áreas de pastagens com 20 anos de uso. Na ocasião, foram analisadas amostras de Latossolo Amarelo Distrófico (LAd) e Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico plúntico (PVAp), ambos de textura argilosa. Como forma de garantir a homogeneidade das áreas escolhidas,

considerou-se a topografia, cobertura vegetal, cor e textura dos solos, e, além disso, utilizou-se dados de resistência à penetração (RP), porosidade total (PT) e umidade atual (U%).

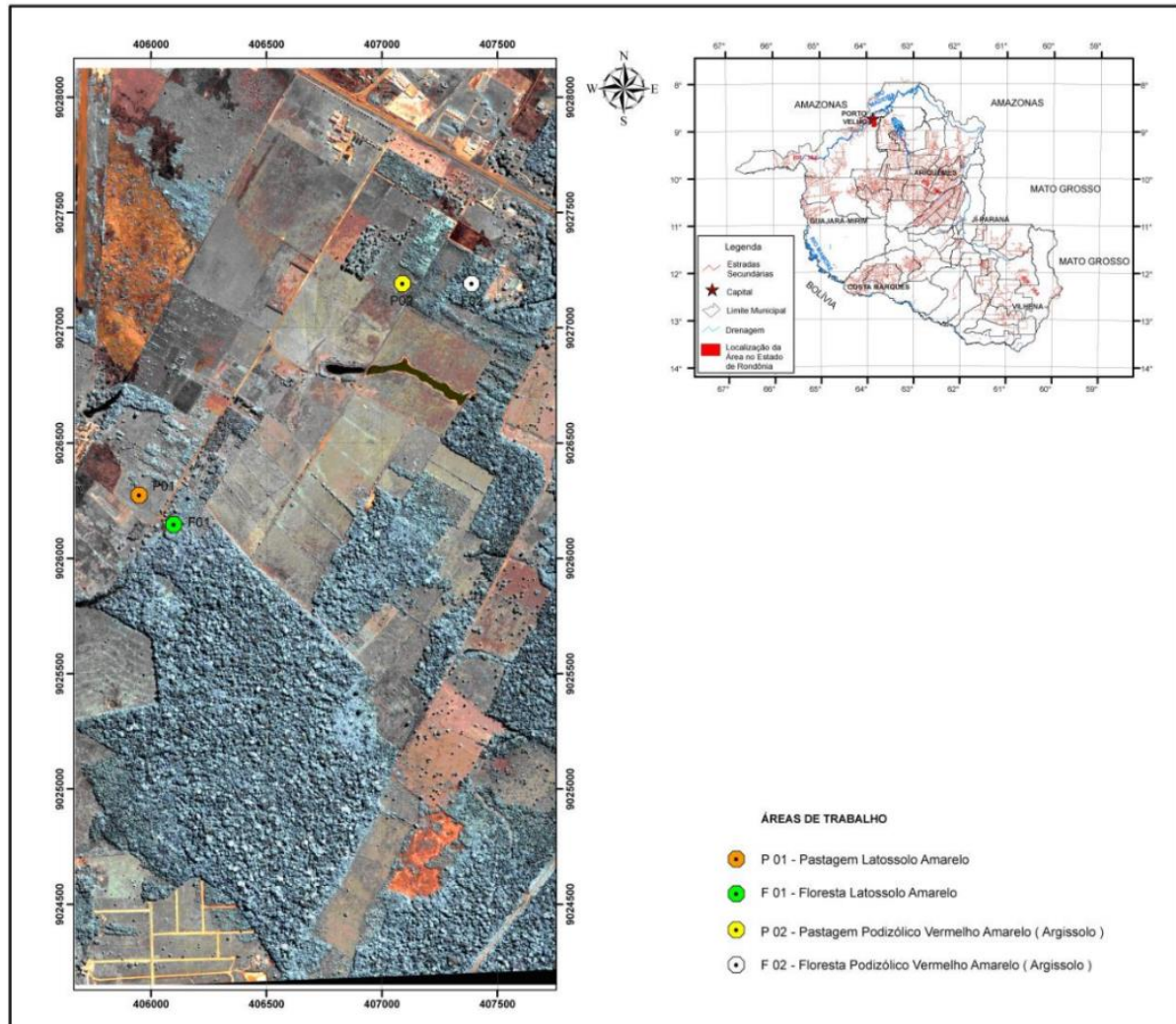


Figura 12. Mapa das áreas de avaliação da compactação. Fonte: Silva Filho; Cottas; Marini, 2010.

A partir dos valores médios de RP obtidos no estudo (Tabela 3), percebe-se significativa diferença entre os níveis de compactação dos solos das áreas de pastagem e florestas. Em ambos os solos analisados, nas áreas de pastagem, especificamente, na camada de 11 – 20 cm, foram observados os maiores níveis de compactação. Conforme ocorre a diminuição da profundidade, a RP tende a diminuir. Nas florestas, por sua vez, de acordo com os resultados, as camadas de 0 – 40 cm, tanto do Latossolo, quanto do Argissolo, mostraram-se, consideravelmente, menos compactadas, com valores muito próximos entre si.

Tabela 3. Valores médios de RP (MPa).

Resistência à penetração				
Profundidade	LAd		PVAp	
	Pasto	Floresta	Pasto	Floresta
0 – 10 cm	6,6 Aab	1,4 Ba	4,2 Cab	1,1 Ba
11 – 20 cm	7,2 Aa	1,5 Ba	5,4 Ca	1,2 Ba
21 – 30 cm	5 Abc	1,5 Ba	4 Ab	1,2 Ba
31 – 40 cm	3,6 Ac	1,4 Ba	3,3 Ab	1,1 Ba

As médias seguidas de letras maiúsculas, na mesma linha, e as médias seguidas por letras minúsculas, na mesma coluna, diferem entre si pelo Teste de Tukey ($p > 0,05$). Fonte: Silva Filho; Cottas; Marini, 2010.

Os maiores índices de compactação em áreas de pastagens, independentemente, do tipo de solo, utilizando-se os solos em áreas de florestas como referência, pode ser uma consequência direta da presença do gado, comumente, encontrado em áreas de pastagem. Esses animais, integrantes da megafauna, causam impacto sobre o solo através da pressão exercida por suas patas. Além disso, por se tratarem de regiões de pastagem, depreende-se que a ausência de vegetação mais densa também seja um fator que tenha contribuído para o maior adensamento do solo, uma vez que o impacto das gotas de chuva é um fator determinante para a compactação e erosão do solo.

A macrofauna, por sua vez, também exerce influência sobre o solo, como, por exemplo, a espécie *Chibui bari*, minhocoçu geófago e endogeico, capaz de estimular o crescimento do milho, conforme demonstrado em experimento realizado no norte do Brasil (FIUZA; KUSDRA; FIUZA, 2012). O estudo foi realizado em uma casa de vegetação na Universidade Federal do Acre, no município de Rio Branco, Acre, utilizando-se o milho da variedade Bandeirante, semeado em tubos de PVC, com capacidade de 15,7 L, com solo de textura média.

Analisaram-se o diâmetro do colmo, massas seca da parte aérea, raiz e total das plantas, e, quanto ao solo, as variáveis consideradas foram a atividade microbiana, o pH, Ca, Mg, K, P, Na, Al, H + Al, C, SB, saturação por bases e Al, CTC e matéria orgânica. Além disso, realizou-se uma caracterização química do tecido seco de *Chibui bari* (Tabela 4), devido à hipótese considerada de que o crescimento das plantas tenha relação com os nutrientes oriundos da produção de excrementos ou da mortalidade dos indivíduos (FIUZA; KUSDRA; FIUZA, 2012).

Tabela 4. Caracterização química do tecido seco de *Chibui bari*.

Ca²⁺	Mg²⁺	K₂O	Na⁺	Al³⁺	P₂O₅	S	CZ	MO	N	C/N	pH H₂O
----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- g kg ⁻¹ -----						
9,48	4,95	8,18	13,04	50,11	67	28	668	332	37	3,2	5,4

MO: matéria orgânica; CZ: cinzas; C/N: relação carbono/nitrogênio. Fonte: adaptado de Fiuza; Kusdra; Fiuza, 2011.

Os resultados obtidos (Tabela 5) indicaram o aumento do crescimento do colmo, e das massas seca da parte aérea e total da planta. As maiores massas seca da parte aérea e total das plantas foram observadas nos tubos com a maior quantidade de minhocas, 5 minhocas/tubo. O diâmetro do colmo aumentou cerca de 13,39%, enquanto as massas seca de parte aérea e total, tiveram um aumento de 28,73 a 33,00%. Não foram verificadas interferências ($p > 0,05$) nas variáveis químicas e atividade microbiana do solo (FIUZA; KUSDRA; FIUZA, 2012).

Tabela 5. Variáveis indicadoras de crescimento das plantas de milho (Bandeirante) em função da presença de minhocas *Chibui bari* adicionadas ao solo, em experimento em casa de vegetação.

Variáveis indicadoras do crescimento de plantas	Minhocas		
	Ausência	Presença	CV (%)
Massa seca da parte aérea (g)	31,22b	40,19a	23,70
Massa seca da raiz (g)	7,92a	11,87a	16,76
Massa seca total (g)	39,14b	52,06a	26,20
Diâmetro do colmo (mm)	10,76b	12,19a	16,71

Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem, estatisticamente, entre si, pelo Teste de Tukey a 5%. Fonte: Fonte: Fiuza; Kusdra; Fiuza, 2012.

Observou-se, ainda, mudança no aspecto físico do solo utilizado no cultivo do milho, decorrente da presença de *Chibui bari* (Figura 13), por meio do qual constatou-se a abertura de galerias, alterando a estrutura edáfica. A alteração física foi significativa, provavelmente, por se tratar de um minhocoçu, ou seja, minhoca de grande dimensão. Essas galerias possibilitam a maior aeração do solo, aumentando, com isso, a circulação de ar e H₂O e o desenvolvimento de raízes.

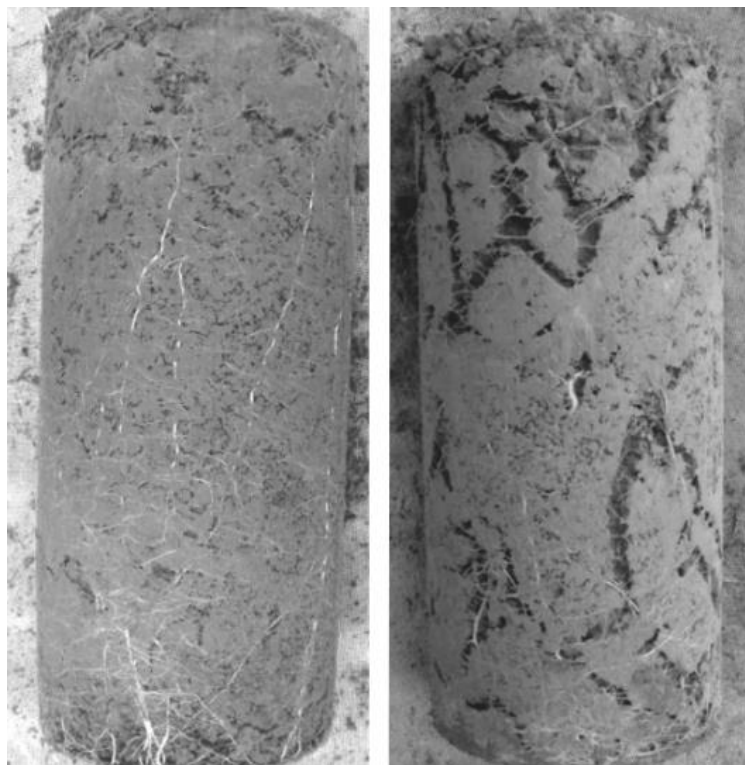


Figura 13. Aspecto do solo utilizado no cultivo do milho ao final do experimento, em função da ausência (esquerda) ou presença (direita) de *Chibui bari*. Fonte: Fiuza; Kusdra; Fiuza, 2012.

Portanto, verificou-se o maior crescimento das plantas, devido, provavelmente, ao aumento de nutrientes do solo como resultado da liberação de excrementos constituídos por mucoproteínas e urina, e, ademais, à decomposição dos tecidos de *Chibui bari* após sua morte. A construção de galerias, por sua vez, pode ter sido um fator que favoreceu o crescimento das plantas de milho. Contudo, a ausência de alterações química e da atividade microbiana pode ser em virtude da maior demanda de nutrientes pelas plantas (FIUZA; KUSDRA; FIUZA, 2012).

Da mesma forma que a fauna edáfica interfere nas propriedades dos solos tropicais, o contrário também ocorre. BUSSINGUER (2018) buscou caracterizar a macrofauna edáfica em sistemas de produção e em área de vegetação nativa do Cerrado, no Distrito Federal. O estudo foi realizado na Embrapa Cerrados, em Planaltina – DF, tendo como áreas avaliadas: Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF); pastagem de *Urochloa brizantha* com 3 anos após lavoura (Past3); sistema silvipastoril com *Leucaena leucocephala* e *Urochloa brizantha* (Leu); Plantio clonal de *Eucalyptus* sp. (Euc) e pastagem de *Urochloa brizantha* com 6 anos (Past6) e vegetação nativa de Cerradão (Cer).

Identificou-se a macrofauna em nível de famílias, sendo amostrados 84.896 indivíduos, distribuídos em 14 ordens e 29 famílias. Os resultados obtidos indicaram maior

abundância de grupos como Isoptera (74,07%), Coleoptera (9,16%), Oligochaeta (6,24%), Formicidae (5,22%) e outros (5,33%). Entre as 14 ordens encontradas, a ordem Coleoptera apresentou maior riqueza, verificando-se diferenças na comunidade de invertebrados em todos os sistemas avaliados (BUSSINGUER, 2018), como mostra a tabela abaixo:

Tabela 6. Densidade e riqueza de grupos taxonômicos da macrofauna edáfica.

	Sistema					
	Cer	ILPF	Past3	Past6	Leu	Euc
Soma da densidade (ind./m²)	28.672	7.152	12.448	27.456	7.232	1.936
Riqueza total de famílias	19	21	18	19	17	12

Densidade e riqueza de grupos taxonômicos da macrofauna edáfica na camada de 0-20 cm de profundidade nos diferentes sistemas de uso do solo. Fonte: Adaptado de Bussinguer, 2018.

Cupins, formigas, besouros e minhocas, os “engenheiros do solo”, foram os organismos mais abundantes nos sistemas estudados. No caso dos cupins, a maior abundância desses integrantes da macrofauna foi registrada no Cerradão e na pastagem de 6 anos. Tal fato pode ser atribuído às práticas adotadas nos outros sistemas, as quais podem ter desfavorecido a ocorrência de cupins e formigas. O Cerradão, ambiente natural, não é afetado por essas atividades, além de abrigar considerável quantidade de serrapilheira, e a pastagem de 6 anos, até então, não era manejada desde 2009. Oligochaeta, por sua vez, foi a segunda ordem mais representativa no ILPF, fato que pode ser explicado pelo manejo utilizado, o qual implica na cobertura do solo, contribuindo com pastagem, raízes e material decorrente de poda (BUSSINGUER, 2018).

Os resultados do estudo mostraram que o Cerradão apresentou a maior diversidade de grupos. Quanto à distribuição vertical, verificou-se maior ocorrência da macrofauna na camada de 0 – 10 cm, com exceção dos sistemas de plantio clonal de *Eucalyptus* sp. (Euc), e silvipastoril com *Leucaena leucocephala* e *Urochloa brizantha* (Leu);, nos quais a maior diversidade esteve entre 10 e 20 cm. Houve, portanto, influência dos sistemas de uso sobre a fauna edáfica. Além disso, a maioria dos indivíduos encontrados contribuem no melhoramento da estrutura do solo e para a ciclagem de nutrientes (BUSSINGUER, 2018).

No mesmo estudo, ao tentar estabelecer as relações entre a macrofauna edáfica, e os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, nos mesmos sistemas e no Cerradão, a

pesquisa permitiu concluir que há uma associação entre essas propriedades e a macrofauna. Estabeleceu-se uma relação entre os integrantes desse grupo e as variáveis químicas (matéria orgânica, pH, teores de Al^{3+} e K^+), possibilitando o desempenho do papel de bioindicadores por esses indivíduos (BUSSINGUER, 2018).

No que tange aos microrganismos do solo, por sua vez, MELZ; TIAGO (2009) estudaram alguns aspectos físico-químicos e microbiológicos do solo, analisando a influência dos períodos seco e chuvoso nas propriedades edáficas, estimando os índices de diversidade, a uniformidade e riqueza bacteriana da área estudada. O estudo foi conduzido no Parque Natural Municipal Ilto Ferreira Coutinho, localizado em Tangará da Serra - MT, no Sudoeste de Mato Grosso, região de transição para a Floresta Amazônica. Os solos analisados, encontrados no interior do parque, foram o Latossolo Vermelho Distrófico (Latosolo Vermelho) e Neossolos Quartzarênicos hidromórficos (Areias Quartzosas) com alto teor de matéria orgânica.

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 7), verifica-se que tanto as comunidades bactérias quanto as fúngicas, foram afetadas, positivamente, pela ocorrência de chuva e, conseqüentemente, pelo aumento do teor de umidade do solo. Em contraposição, observa-se a diminuição da comunidade de actinomicetos, haja vista que, segundo SIQUEIRA (1998), esses organismos apresentam maior abundância em solos secos e quentes, ocorrendo, raramente, em solos encharcados. A Reserva Natural, ao contrário da área de lazer, apresentou uma diferença significativa na comunidade de bactérias entre os períodos seco e chuvoso.

Tabela 7. Densidade de bactérias, fungos e actinomicetos de amostras de solo de áreas do Parque Natural Ilto Ferreira Coutinho (Tangará da Serra - MT) nos períodos seco (agosto/2005) e chuvoso (março/2006).

Áreas/estação	Bactérias		Fungos		Actinomicetos	
	UFC x 10 ⁻⁴ g ⁻¹ solo		UFC x 10 ⁻⁴ g ⁻¹ solo		UFC x 10 ⁻⁴ g ⁻¹ solo	
	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva
Reserva natural	88,7 aA	133,0 aA	3,5 aB	5,3 bA	5,8 bA	0 aB
Alterada	51,4 aA	97,7 abA	2,0 bB	6,9 aA	5,4 bA	0 aB
Lazer	73,1 aA	75,3 bA	0,7 cB	6,4 aA	8,5 aA	0 aB

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, pelo teste t a 5% de probabilidade; letras minúsculas comparam as áreas dentro de cada época e letras maiúsculas comparam épocas dentro de cada área. Fonte: Melz; Tiago, 2009.

Não obstante, foram analisadas as variáveis dos solos, como o pH, C-org, a MOS, umidade e temperatura (Tabela 8). Detectou-se, entre as áreas do parque e as épocas,

relevante efeito sobre o pH, cujo aumento favoreceu as bactérias, pois esses microrganismos apresentam densidade elevada em solos úmidos, com alto teor de matéria orgânica e, principalmente, neutros e alcalinos (SIQUEIRA, 1998). Na Reserva Natural, no período chuvoso, houve redução dos teores de C-org e MOS, porém, na área de lazer, ocorreu o aumento dessas variáveis, o que não era esperado, podendo esse fato ser resultado de algum fator pontual, não verificado (MELZ, TIAGO, 2009).

Tabela 8. Propriedades físico-químicas de amostras de solo de áreas do Parque Natural Ilto Ferreira Coutinho (Tangará da Serra - MT), nos períodos seco (agosto/2005) e chuvoso (março/2006).

Variáveis	Área/estação					
	Reserva natural		Alterada		Lazer	
	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva
pH	5,8 bB	6,8aA	4,8cB	6,6 aaB	6,8aA	6,4 bB
MOS (g/kg)	45,6 aA	36,2 bB	16,1 bA	13,4 cA	12,1 cB	42,9 aA
C-org (g/kg)	26,5 aA	21,04 bB	9,4 bA	7,79 cA	7,2 cB	24,94 aA
Umidade (%)	7,8 aB	70 aA	7,6 aB	68 aA	6,7 aB	62 bA
Temperatura (°C)	24,1 aA	24,0 aA	24,5 aA	24,6 aA	25,6 aA	26,3 aA

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si, pelo teste t a 5% de probabilidade; letras minúsculas comparam as áreas dentro de cada época e letras maiúsculas comparam épocas dentro de cada área. Fonte: Adaptado de Melz; Tiago, 2009.

Os efeitos observados sobre os microrganismos, nesse estudo, provavelmente, são decorrentes das alterações das propriedades dos solos do parque. A chuva, ao provocar essas mudanças, gerou um impacto, positivo ou negativo, sobre as diferentes comunidades da fauna edáfica. Com isso, quando se alteram as propriedades do solo, há consequência direta sobre os organismos que nele habitam. CASARIL et al. (2019) reforçam essa afirmação através de um trabalho que teve como objetivo avaliar os efeitos da produção de banana sobre a fauna edáfica, considerando as diferentes práticas culturais, os manejos, e aspectos químicos e físicos do solo.

A pesquisa foi realizada no município de Santa Rosa do Sul, Santa Catarina, em bananais (bananal 1 e bananal 2), distantes 3 km entre si, tratados sob diferentes práticas de manejo, e em uma área de mata nativa (MN), inserida na Mata Atlântica. As áreas foram avaliadas em duas épocas distintas e a fauna, coletada por dois métodos: armadilha de queda e monólito de solo. Ressalta-se que o cultivo de banana está associado com diversas atividades, que podem ser benéficas ou malélicas para a qualidade do solo. Dentre as desvantagens, tem-se a alteração da densidade e estrutura do solo, o que afeta a aeração, disponibilidade de H₂O e

nutrientes, além da atividade microbiana. Os benefícios, após a inserção da cultura, incluem o acúmulo de MOS, aumento da atividade biológica, decomposição da MOS, ciclagem de nutrientes e melhoria da física do solo (CASARIL, 2019).

De acordo com os resultados, independentemente, do método de coleta, em dezembro de 2015 foram amostrados mais organismos do que em abril de 2016 (Tabela 9), o que pode estar associado com a maior precipitação nesse período. O maior índice de diversidade de Shannon-Wiener foi registrado, em dezembro de 2016, em B1, em ambos os métodos, e, em abril de 2016, no método de monólito de solo. Tal fato pode ser em virtude do manejo adotado. Os grupos Collembola, Formiciade e Acari, destacaram-se nos bananais, em termos de abundância média, nas duas épocas. O grupo Oligochaeta foi representativo nas três áreas, nas duas épocas avaliadas (MN: dezembro = 76%, abril = 78%; B1: dezembro = 35%, abril = 26%; B2: dezembro = 76%, abril = 69%) (CASARIL, 2019).

Tabela 9. Total de organismos amostrados, riqueza total e índice de diversidade de Shannon-Wiener em áreas de produção de banana (B1 e B2) e em mata nativa (MN).

Período	Método de coleta	Áreas	Total de organismos amostrados	Riqueza total	Índice de diversidade de Shannon-Wiener
Dezembro/2015	Armadilhas de queda	MN	1.557	13	1,5
		B1	328	11	1,7
		B2	1.231	12	1,3
	Monólito de solo	MN	384	15	1,0
		B1	162	11	1,9
		B2	177	8	0,9
Abril/2016	Armadilhas de queda	MN	217	9	1,5
		B1	324	9	1,0
		B2	413	7	1,3
	Monólito de solo	MN	231	8	0,8
		B1	165	12	1,9
		B2	115	8	1,0

Fonte: Adaptado de Casaril et al., 2019.

Quanto aos aspectos químicos, os bananais apresentaram maior valor de pH, provavelmente, decorrente da técnica de calagem, o que melhora o hábitat para a fauna em geral, favorecendo, por exemplo, o grupo Aranae e sua atividade de predação. Além disso, os resultados demonstraram haver uma relação entre a fauna e a química do solo, considerando o pH, teores de Al^{3+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Mg^{2+} , macroporosidade e densidade do solo. Ademais, as práticas de manejo adotadas nos bananais influenciaram a composição da fauna (CASARIL, 2019).

6 CONCLUSÕES

Apesar da considerável quantidade de organismos ainda desconhecidos, o Brasil apresenta grande diversidade biológica, a qual encontra-se, principalmente, nos solos tropicais. Esses, quando não manejados de forma adequada, podem sofrer impactos que tendem a alterar as suas propriedades - físicas, químicas ou biológicas. Alterações causadas em pelo menos um desses três atributos afetam o funcionamento do solo como um todo.

Dessa forma, quando se modificam as propriedades físicas de um solo, há impacto direto sobre o desenvolvimento radicular da vegetação, a fauna que habita esse meio e o potencial de erosão desse solo. O aumento da compactação, por exemplo, inibe o crescimento das raízes, a utilização do solo como hábitat pelos organismos que nele vivem, em virtude, principalmente, da redução da porosidade, que diminui a circulação do ar e a infiltração de água. Com isso, tem-se impactos sobre a biologia e as propriedades químicas do solo. Da mesma forma, alterações nos aspectos biológicos e químicos também podem comprometer o funcionamento do solo, gerando efeitos em cadeia. Determinados organismos, por exemplo, podem modificar o pH do meio edáfico ou serem afetados por esse atributo químico.

Desse modo, as diferentes condições do solo interferem, diretamente, sobre a biologia, ao alterar a composição e riqueza de espécies, sejam essas da flora, sejam da fauna edáfica. Nesse contexto, a bioanálise do solo (BioAS) mostra-se fundamental, ao dar enfoque aos aspectos biológicos do solo, promovendo, dessa forma, o uso sustentável desse recurso. O desenvolvimento de tamanha tecnologia é resultado do reconhecimento, pela Ciência, da biologia do solo como um importante indicador de qualidade edáfica. Portanto, infere-se que existe uma relação direta entre a biologia do solo, e as propriedades físicas e químicas dos solos tropicais.

7 REFERÊNCIAS

ALFAIA, S. S.; UGUEN, K. Fertilidade e manejo do solo. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. **O ecossistema solo**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2013. Cap. 5. p. 75-90.

ALMEIDA, J. A. Solos das Pradarias Mistas do Sul do Brasil (Pampa Gaúcho). In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **Pedologia: solos dos biomas brasileiros**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p. 407-466.

ALVES, P. R. L.; CASSOL, P. B.; SEGANFREDO, M. A.; SPAGNOLLO, E. Contribuição da fauna do solo para os serviços ambientais. In: MIRANDA, C. R.; MONTICELLI, C. J.; MATTHIENSEN, A.; SEGANFREDO, M. A. (ed.). **Produção intensiva de animais e serviços ambientais: estratégias e indicadores**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2020. p. 163-184. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219107/1/final9207.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2023.

ANGHINONI, I.; MARTINS, A. P.; CARMONA, F. C. Inter-relação entre manejo e atributos químicos do solo. In: BERTOL, I.; MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. (ed.). **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. Cap. 9. p. 251-280.

ARAÚJO FILHO, J. C.; RIBEIRO, M. R.; BURGOS, N.; MARQUES, F. A. Solos da Caatinga. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **Pedologia: solos dos biomas brasileiros**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. Cap. 5. p. 227-260.

BACCARO, F. B.; FEITOSA, R. M.; FERNANDEZ, F.; FERNANDES, I. O.; IZZO, T. J.; SOUZA, J. L. P.; SOLAR, R. **Guia para os Gêneros de Formigas do Brasil**. Manaus: INPA, 2015. 388 p. Disponível em: <https://ppbio.inpa.gov.br/sites/default/files/Livro_Formigas_2015.pdf>. Acesso em: 10 out. 2022.

BALOTA, E. L. **Manejo e qualidade biológica do solo**. Londrina: Editora Midiograf, 2018. 280 p.

BERNARDI, L. F. O.; AUDINO, L. D.; MARAFELI, P. P.; CARVALHO, T. A. F. **Conhecendo a vida do solo: Mesofauna**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2017. 32 p. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/28101/1/3cartilha%20mesofauna%20site2.pdf>> Acesso em: 13 out. 2022.

BERTOL, I.; CASSOL, E. A.; BARBOSA, F. T. Erosão do solo. In: BERTOL, I.; MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. (ed.). **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. Cap. 14. p. 423-460.

BONETTI, J. A.; FINK, J. R. **Manejo e Conservação da Água e do Solo**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2020. 151 p. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/45446>>. Acesso em: 20 out. 2022.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2013. 686 p.

BROWN, G. G.; FRAGOSO, C. Embrapa Soja (ed.). **Minhocas na América Latina: Biodiversidade e Ecologia**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 545 p. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/469788>>. Acesso em: 10 out. 2022.

BUSSINGUER, A. P. **Efeito de diferentes usos do solo no cerrado sobre a composição da fauna edáfica**. 2018. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

CARES, J. E.; HUANG, S. P. Comunidades de Nematóides de Solo sob Diferentes Sistemas na Amazônia e Cerrados Brasileiros. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (ed.). **Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2008. Cap. 13. p. 409-444.

CAMACHO, M. D. Orden Symphyla. **Revista IDEA@ - SEA**, Madrid, v. 10, n. 34, p. 1-7, 30 jun. 2015. Disponível em: <http://sea-entomologia.org/IDE@/revista_34.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2023.

CAMPOS, M. L.; MARCHI, G.; LIMA, D. M.; SILVA, C. A. **BOLETIM AGROPECUÁRIO - 65**: Ciclagem de nutrientes em florestas e pastagens. 65 ed. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2021. 61 p. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/48195/1/BT%2065.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2023.

CARVALHO, F.; COGO, F. D.; SILVA, J. S.; SANTOS, J. V.; BARBOSA, L. P.; CARVALHO, T. S.; RANGEL, W. M.; FARIA, T. P.; MOREIRA, F. M. S. **Conhecendo a vida do solo: Micro-organismos**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2017. 24 p. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/28104/1/5cartilha%20micro-organismos%20site2.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2022.

CARVALHO JUNIOR, W.; CALDERANO FILHO, B.; BHERING, S. B.; PEREIRA, N. R.; CHAGAS, C. S.; MACEDO, J. R. Os solos tropicais e sua distribuição: uma visão segundo dados de livre acesso. *Brazilian Journal Of Development*, [S.L.], p. 54835-54848, 1 ago. 2022. South Florida Publishing LLC. <<http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n8-009>>.

CARVALHO, T. A. F. **Mesofauna (Acari e Collembola) em solo sob cafeeiro e leguminosas arbóreas**. 2014. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Entomologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/1818/1/DISSERTA%20c3%87%20c3%83O%20Mesofauna%20%28Acari%20e%20Collembola%29%20em%20solo%20sob%20cafeeiro%20e%20leguminosas%20arb%20c3%b3reas%20em%20duas%20c3%a9pocas%20do%20ano.pdf>>. Acesso em: 06 fev. 2023.

CASARIL, C. E.; OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; SANTOS, J. C. I.; ROSA, M. G. Fauna edáfica em sistemas de produção de banana no Sul de Santa Catarina. **Revista Brasileira de**

Ciências Agrárias, Recife, v. 14, n. 1, 2019. Disponível em: <<http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v14i1a5613/250>>. Acesso em: 24 nov. 2022.

COELHO, M. R.; FIDALGO, E. C.; SANTOS, H. G.; BREFIN, M. L. M. S.; PÉREZ, D. V. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam e sua relação com o crescimento de plantas. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. **O ecossistema solo**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2013. Cap. 3. p. 45-62.

COELHO, R. M.; ROSSI, M.; MATTOS, I. F. A. Solos da Mata Atlântica. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **Pedologia: solos dos biomas brasileiros**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p. 261-302.

COUTO, E. G.; OLIVEIRA, V. Á.; BEIRIGO, R. M.; OLIVEIRA JUNIOR, J. C.; NASCIMENTO, A. F.; VIDAL-TORRADO, P. Solos do Pantanal Matogrossense. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **Pedologia: solos dos biomas brasileiros**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p. 303-352.

CONSTANTINO, R.; ACIOLI, A. N. S. Diversidade de Cupins (Insecta: Isoptera) no Brasil. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (ed.). **Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2008. Cap. 8. p. 277-298.

CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **Pedologia: solos dos biomas brasileiros**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. 597 p.

DIAS-FILHO; M. B.; LOPES, M. J. S. Manejo do solo em pastagens. In: BERTOL, I.; MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. (ed.). **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. Cap. 36. p. 1163-1182.

FAO: biodiversidade do solo é a base da vida humana. **Nações Unidas – Brasil**, 2020. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/106614-fao-biodiversidade-do-solo-e-base-da-vida-humana>>. Acesso em: 04 out. 2022.

FAO. Brasil será um dos maiores exportadores de alimentos, prevê FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2022. Disponível em: <<https://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/436508/>>. Acesso em: 26 nov. 2022.

FAQ – Perguntas e respostas sobre a tecnologia BioAS. **Embrapa**, 2022. Disponível em: <<https://cutt.ly/eHfBrqD>>. Acesso em: 23 out. 2022.

FEIGL, B. J.; OLIVEIRA, B. G.; FRANCO, A. L. C.; FRAZÃO, L. A. Inter-Relação entre manejo e atributos biológicos do solo. In: BERTOL, I.; MARIA, I. C.; SOUZA, L. S.

(ed.). **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. Cap. 10. p. 281-314.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: VAN LIER, Quirijn de Jong (ed.). **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. Cap. 1. p. 1-28.

FERRIS, H.; BONGERS, T.; GOEDE, R.G.M de. A framework for soil food diagnostics: extension of the nematode faunal analysis concept. **Applied Soil Ecology**, CA, p. 13-29, 29 maio 2001.

FILGUEIRAS, C. C.; FREIRE, E. S.; GALO, T. S.; TOMA, M. A. **Conhecendo a vida do solo: Microfauna**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2017. 24 p. Disponível em:
<<http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/28103/1/4cartilha%20microfauna%20site2.pdf>>
Acesso em: 17 out. 2022.

FIUZA, D. T. F.; KUSDRA, J. F.; FIUZA, S. S. Crescimento do milho em solo sob atividade de *Chibui bari* (Oligochaeta: Glossoscolecidae. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 36:359-366, 2012. Disponível em:
<<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/xMCBSbSMxmJQMjtYB9w6B6L/?lang=pt&format=pdf>>.
Acesso em: 19 nov. 2022.

GALIANO, D.; KUBIAK, B. B.; FREITAS, T. R. O. **Efeito da presença do roedor subterrâneo *Ctenomys minutus* Nehring, 1887 sobre a compactação do solo em um campo arenoso no sul do Brasil**. XI Congresso de Ecologia do Brasil, Porto Seguro – BA, 2013. Disponível em: <<http://www.seb-ecologia.org.br/revistas/indexar/anais/xiceb/pdf/600.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2022.

GARLET, C.; SCHUMACHER, M. V.; DICK, G.; VIERA, M. Ciclagem de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus dunnii* Maiden: produção de serapilheira e devolução de macronutrientes no bioma pampa. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal - Enflo**, [S.L.], v. 7, p. 05, 1 abr. 2019. Universidad Federal de Santa Maria. <<http://dx.doi.org/10.5902/2316980x37057>>.

GUTERRES, A. 8 bilhões de pessoas: uma humanidade. **Nações Unidas – Brasil**, 2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/206554-artigo-8-bilhoes-de-pessoas-uma-humanidade>>. Acesso em: 26 nov. 2022.

JAMES, S. W.; BROWN, G. G. Ecologia e Diversidade de Minhocas no Brasil. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (ed.). **Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2008. Cap. 7. p. 193-276.

JENNY, H. **Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology**. New York: Dover Publications, 1994. 191 p.

JIMÉNEZ, J. J.; THOMAS, R. J. (ed.). **El Arado Natural: las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las sabanas neotropicales de colombia**. Cali: Centro

Internacional de Agricultura Tropical International Center For Tropical Agriculture (CIAT), 2003. 444 p.

KORASAKI, V.; FERREIRA, R. S.; CANEDO-JÚNIOR, E. O.; FRANÇA, F.; AUDINO, L. D. **Conhecendo a vida do solo: Macrofauna**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2017. 32 p. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/28100/1/2cartilha%20macrofauna%20site2.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2022.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 216 p.

LOUZADA, J. N. C. Scarabaeinae (Coleoptera: Scarabaeidae) Detritívoros em Ecossistemas Tropicais: Diversidade e Serviços Ambientais. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (ed.). **Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2008. Cap. 9. p. 299-322.

MARIA, I. C.; BERTOL, I.; DRUGOWICH, M. I. Práticas conservacionistas do solo e da água. In: BERTOL, I.; MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. (ed.). **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. Cap. 17. p. 527-588.

MELO, F. V.; BROWN, G. G.; CONSTANTINO, R.; LOUZADA, J. N. C.; LUIZÃO, F. J.; MORAIS, J. W.; ZANETTI, R. A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. **Boletim Informativo da SBCS**, jan/abr., 2009.

MELZ, E. M.; TIAGO, P. V. Propriedades físico-químicas e microbiológicas do solo de um Parque em Tangará da Serra - MT, uma área de transição entre Amazônia e Cerrado. **Acta Amazonica**, v. 39, p. 829-834, 2009. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/aa/a/DmsC5r6S487HtyPYF6TmXcc/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2022.

MENDES, I. C.; CHAER, G. M.; SOUSA, D. M. G.; REI JUNIOR, F. B.; DANTAS, O. D.; OLIVEIRA, M. I. L.; LOPES, A. A. C.; SOUZA, L. M. **Bioanálise de Solo: a mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola**. Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia – NPCT, 2020. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219731/1/IEDA-Bioanalise-do-solo-informacoes-agronicas.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2022.

MENDES, I. C.; CHAER, G. M.; REI JUNIOR, F. B.; SOUSA, D. M. G.; DANTAS, O. D.; OLIVEIRA, M. I. L.; MALAQUIAS, J. V. (Planaltina). **Tecnologia BioAS: uma maneira simples e eficiente de avaliar a saúde do solo**. Embrapa Cerrados, 2021. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1133109/1/Tecnologia-Bioas-Documentos-369.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2022.

MENDES, I. C.; HUNGRIA, M.; REIS JÚNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; MERCANTE, F. M.; ZILLI, J. É. (Planaltina). **Bioindicadores para Avaliação da Qualidade dos Solos Tropicais: utopia ou realidade?** 1: Embrapa, 2009. 31 p. Disponível

em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/31300/1/doc-246.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2022.

MENDES, I. C.; SOUSA, D. M. G.; REI JUNIOR, F. B.; LOPES, A. A. C. (Planaltina). **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo**. Embrapa, 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199833/1/CircTec-38-Ieda-Mendes.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2022.

MESQUITA, M. G. B. F.; DIAS JUNIOR, M. S. Física do solo. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. **O ecossistema solo**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2013. Cap. 4. p. 63-74.

MEURER, E. J. (ed.). **Fundamentos de Química do Solo**. 6. ed. Porto Alegre, RS: Biblioteca Setorial da Faculdade de Agronomia da UFRGS, 2017. 299 p.

MICHEREFF, S. J.; ANDRADE, D. E.G.T.; MENEZES, M. (ed.). **Ecologia e Manejo de Patógenos Radiculares em Solos Tropicais**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. 388 p. Disponível em: <<https://ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/45/2015/02/Michereff-et-al.-2005.pdf>>. Acesso em: 17 out. 2022.

MORAIS, J. W.; FRANKLIN, E. Mesofauna do Solo na Amazônia Central. In: MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (ed.). **Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2008. Cap. 12. p. 371-408.

MORAIS, J. W.; OLIVEIRA, F. G. L.; BRAGA, R. F.; KORASAKI, V. Mesofauna. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. **O ecossistema solo**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2013. Cap. 10. p. 183-200.

MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. (ed.). **O ecossistema solo**. Lavras: UFLA: Universidade Federal de Lavras, 2013. 352 p.

MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. (ed.). **Manual de Biologia dos Solos Tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Lavras: UFLA, 2010. 368 p.

MOREIRA, F. M. S.; LIMA, A. S.; JESUS, E. C.; SILVA, K.; NÓBREGA, R. S. A.; FLORENTINO, L. A. Bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico que nodulam leguminosas. In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. **O ecossistema solo**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2013. Cap. 17. p. 325-340.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (ed.). **Biodiversidade do Solo em Ecossistemas Brasileiros**. Lavras: UFLA, 2008. 768 p.

MORSELLI, T. B. G. A. Biologia do Solo. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária UFPel, 2009. 146 p.

NOVAIS, Roberto Ferreira; V., V. H. A.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017 p.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 4. ed. Piracicaba: FEALQ, 2011. 592 p.

OLIVEIRA, V. Á.; JACOMINE, P. K. T.; COUTO, E. G. Solos do Bioma Cerrado. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **Pedologia**: solos dos biomas brasileiros. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. p. 177-226.

ONU. População mundial chegará a 8 bilhões em novembro de 2022. **Nações Unidas – Brasil**, 2022. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/189756-populacao-mundial-chegara-8-bilhoes-em-novembro-de-2022>>. Acesso em: 26 nov. 2022.

ORGIAZZI, A. et al. **Global Soil Biodiversity Atlas**. European Union, 2016. Disponível em: <<https://www.globalsoilbiodiversity.org/atlas-introduction>>. Acesso em: 17 jan. 2023.

PASUCH, L. Tuto-tuco, roedor exclusivo da América do Sul, tem espécies ameaçadas pela perda de hábitat. **Jornal da Universidade – UFRGS**, 2022. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/jornal/especies-do-roedor-tuco-tuco-exclusivo-da-america-do-sul-sao-ameacadas-pela-perda-de-habitat/>>. Acesso em: 30 out. 2022.

PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; PINHEIRO JUNIOR, C. R.; PINTO, L. A. S. R.; SILVA NETO, E. C.; FONTANA, A. Formação e caracterização de solos. In: TULLIO, L. Formação, classificação e cartografia dos solos. Ponta Grossa: Atena, 2019. p. 1-20. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/202369/1/Formacao-e-caracterizacao-de-solos-2019.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2023.

PINHEIRO JUNIOR, C. R.; PEREIRA, M. G.; SILVA NETO, E. C.; ANJOS, L. H. C.; FONTANA, A. Solos do Brasil: Gênese, classificação e limitações ao uso. In: RIBEIRO, J. C. (org.). Ciências Exatas e da Terra: Conhecimentos Estratégicos para o Desenvolvimento do País. Ponta Grossa: Atena, 2020. p. 183-199. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/221389/1/Solos-do-Brasil-2020.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2023.

PRIMAVESI, A. **Manejo Ecológico do Solo**: a agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 2002. 549 p.

PronaSolos. **Programa Nacional de Solos do Brasil**. Disponível em: <<http://pronasolos.agenciazetta.ufla.br/solos-do-brasil>>. Acesso em: 14 jan. 2023.

QUAGLIA, S. Conheça estes animais agrícolas que já “cultivavam” antes dos humanos. **National Geographic**, 2022. Disponível em: <<https://www.nationalgeographicbrasil.com/animais/2022/07/conheca-estes-animais-agricolas-que-ja-cultivavam-antes-dos-humanos>>. Acesso em: 30 out. 2022.

REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; SUZUKI, L. E. A. S.; HORN, R. Mecânica do solo. In: VAN LIER, Quirijn de Jong (ed.). **Física do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. Cap. 2. p. 29-102.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 4. ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. Uso das Informações Pedológicas Agrícola e Não Agrícola. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **Pedologia**: solos dos biomas brasileiros. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. Cap. 2. p. 47-110.

RIBEIRO, J. F.; KUHLMANN, M.; OGATA, R. S.; OLIVEIRA, M. C.; VIEIRA, D. L. M.; SAMPAIO, A. B. Embrapa Cerrados. **Guia de Plantas do Cerrado para Recomposição da Vegetação Nativa**. Brasília: Embrapa Cerrados, 2022. 832 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1146331/guia-de-plantas-do-cerrado-para-recomposicao-da-vegetacao-nativa#:~:text=Resumo%3A%20A%20publica%C3%A7%C3%A3o%20Guia%20de,informa%C3%A7%C3%B5es%20importantes%20sobre%20como%20produzir>>. Acesso em: 04 out. 2022.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais / C. C. R. - 2.ed. - Campinas: Embrapa Territorial, 2020. 34 p.: il.; (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Territorial, ISSN 1806-3322; 35).

SAMPAIO, E. **O solo e suas funções**. Departamento de Geociências, Universidade de Évora, 2011. Disponível em: <<https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/4413/1/O%20solo%20e%20suas%20fun%C3%A7%C3%B5es.pdf>>. Acesso em: 17 jan. 2023.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 356 p. 2018.

SCHAEFER, C. E.; LIMA, H. N.; TEIXEIRA, W. G.; VALE JUNIOR, J. F.; SOUZA, K. W.; CORRÊA, G. R.; MENDONÇA, B. A. F.; AMARAL, E. F.; CAMPOS, M. C. C.; RUIVO, M. L. P. Solos da Região Amazônica. In: CURI, N.; KER, J. C.; NOVAIS, R. F.; VIDAL-TORRADO, P.; SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **Pedologia**: solos dos biomas brasileiros. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017. Cap. 3. p. 111-176.

SERRA, T. M.; CANDIDO, I. M.; ALBUQUERQUE, A. C. A. **Tatu-canastra** (*Priodontes maximus*), importante engenheiro do ecossistema ameaçado de extinção – Revisão de literatura. II Congresso Internacional de Ecologia Online, 2021. Disponível em: <<https://eventos.congresse.me/conecoon/resumos/14210.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2022.

SILVA FILHO, E. P.; COTTAS, L. R.; MARINI, G. B. S. Avaliação da compactação dos solos em áreas de pastagens e florestas em Porto Velho - Rondônia. **Boletim de Geografia**, Maringá, v. 28, n. 1, p. 145-155, 2010. Disponível em:

<<https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/8441/6110>>. Acesso em: 19 nov. 2022.

SIQUEIRA, J. O. **Biologia do Solo**. Lavras: UFLA - Universidade Federal de Lavras, 1998. 230 p.

SOUZA, C. Besouro conhecido como “rola-bosta” ganha destaque nas telas e nas pesquisas. **Portal UFLA – Universidade Federal de Lavras**, 2019. Disponível em: <<https://ufla.br/noticias/pesquisa/13164-besouro-conhecido-como-rola-bosta-ganha-destaque-nas-telas-e-nas-pesquisas>>. Acesso em 10 out. 2022.

SOUZA, L. S.; MAFRA, Á. L.; SOUZA, L. D.; SILVA, I. F.; KLEIN, V. A. Inter-relação entre manejo e atributos físicos do solo. In: BERTOL, I.; MARIA, I. C.; SOUZA, L. S. (ed.). **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. Cap. 8. p. 193-250.

SOUZA, M. F. V. R. **Palpigradi (Arachnida): morfologia, biogeografia e conservação**. 2017. 105 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/12779/2/TESE_Palpigradi%20%28arachnida%29%3a%20morfologia%2c%20biogeografia%20e%20conserva%20a7%20a3o.pdf>. Acesso em: 07 fev. 2023>.

STÖCKER, C. M.; MONTEIRO, A. B.; BAMBERG, A. L.; CARDOSO, J. H.; MORSELLI, T. B. G. A.; LIMA, A. C. R. Bioindicadores da qualidade do solo em sistemas agroflorestais. **Revista da Jornada Pós-Graduação e Pesquisa – Congrega**, 2017. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/171801/1/Joel-Stocker-2017-REsumo-Congrega-URCAMP-2017.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2023.

TASSINARI, D.; SILVA, S. H. G.; SILVA, E.; SILVA, É. A.; SILVA, B. M. **Conhecendo a Vida do Solo: Solos**. Lavras: UFLA, Universidade Federal de Lavras, 2017. 32 p.

TEIXEIRA, J. C.; HESPANHOL, A. N. A trajetória da pecuária bovina brasileira. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. 1, n. 36, p. 26-38, jul. 2014. Disponível em: <<https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/2672/2791>>. Acesso em: 30 out. 2022.

VIEIRA, Rosana Faria. **Ciclo do Nitrogênio em Sistemas Agrícolas**. Brasília: Embrapa, 2017. 163 p. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1090589/1/2017LV04.pdf>>. Acesso em: 07 fev. 2023.

VINHA, A. P. C.; CARRARA, B. H.; SOUZA, E. F. S.; SANTOS, J. A. F.; ARANTES, S. A. C. M. ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM SOLOS DE REGIÕES TROPICAIS. *Nativa*, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 30-35, 10 fev. 2021. *Nativa*. <<http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v9i1.10973>>.