

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – FCA

Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais – PPG-CIFA

REESTABELECIMENTO DA MACROFAUNA EDÁFICA E DAS PROPRIEDADES DO
SOLO APÓS MUDANÇA NO USO DA TERRA NA AMAZÔNIA CENTRAL

HELENDER UENO SEELIG DE SOUZA

MANAUS, AMAZONAS

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS – FCA

Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais – PPG-CIFA

REESTABELECIMENTO DA MACROFAUNA EDÁFICA E DAS PROPRIEDADES DO
SOLO APÓS MUDANÇA NO USO DA TERRA NA AMAZÔNIA CENTRAL

HELENDER UENO SEELIG DE SOUZA

Orientador: Dr. Afrânio Ferreira Neves Junior

Coorientador: Dr. Bruno Fernando Faria Pereira

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Ciências Florestais e Ambientais
da Universidade Federal do
Amazonas como parte dos
requisitos para a obtenção do
título de Mestre em Ciências
Florestais e Ambientais.

MANAUS, AMAZONAS

2018

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S729r Souza, Helender Ueno Seelig de
Reestabelecimento da macrofauna edáfica e das propriedades do solo após mudança no uso da terra na Amazônia Central / Helender Ueno Seelig de Souza. 2018
88 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Afrânio Ferreira Neves Junior
Coorientador: Bruno Fernando Faria Pereira
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Floresta tropical. 2. Restauração. 3. Dominância arbórea. 4. Qualidade do solo. 5. Fauna edáfica. I. Neves Junior, Afrânio Ferreira II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

Sinopse:

A composição da macrofauna edáfica associada as propriedades físico-química do solo foi quantificada em sistemas de uso da terra na Amazônia Central para avaliar a restauração ecológica do solo.

Palavras chave: floresta tropical, restauração, dominância arbórea, qualidade do solo, fauna edáfica.



Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA



PARECER

Defesa nº 196

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Amazonas, após arguir do mestrando **HELENDER UENO SEELIG DE SOUZA**, em relação ao seu trabalho de dissertação intitulada “**REESTABELECIMENTO DA MACROFAUNA EDÁFICA E DAS PROPRIEDADES DO SOLO APÓS MUDANÇA NO USO DA TERRA NA AMAZÔNIA CENTRAL**” é de parecer favorável à APROVAÇÃO do mestrando habilitando-o ao título de Mestre “*Magister Scientiae*” em Ciências Florestais e Ambientais, na área de concentração em **CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS (CIFA)**.


Professor Doutor Afrânio Ferreira Neves Junior
Professor da Universidade Federal do Amazonas/UFAM
Presidente


Pesquisador Doutor Sávio José Filgueiras Ferreira
Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA
Primeiro (a) Examinador (a)


Professor Doutor Agno Nonato Serrão Acioli
Professor da Universidade Federal do Amazonas/UFAM
Segundo (a) Examinador (a)



Manaus, 25 de junho de 2018.



Prof. Dr. Marciel José Ferreira
Coordenador do Programa de Pós Graduação em
Ciências Florestais e Ambientais – PPG-CIFA

*Às minhas Avós: Iraci e Renilda.
Pelo grande exemplo de força de
vontade e superação.*

OFEREÇO

“What makes things baffling is their degree of complexity, not their sheer size... a star is simpler than an insect.”

Martin Rees

Não estejais inquietos por coisa alguma; antes, as vossas petições sejam em tudo conhecidas diante de Deus, pela oração e súplicas, com ação de graças. E a paz de Deus, que excede todo o entendimento, guardará os vossos corações e os vossos sentimentos em Cristo Jesus.

Filipenses 4:6-7

“Nunca se esqueça de quem você é, porque é certo que o mundo não se esquecerá. Faça disso sua força. Assim, não poderá ser nunca a sua fraqueza. Arme-se com esta lembrança, e ela nunca poderá ser usada para lhe magoar.”

Tryion Lannister - A Guerra dos Tronos, As Crônicas de Gelo e Fogo

“Pass on what you have learned. Strength. Mastery. But weakness, folly, failure also. Failure most of all. The greatest teacher, failure is. We are what they grow beyond. That is the true burden of all masters.”

Mester Yoda - The Last Jedi

“Obrigado pela qualificação”

Porque dele, e por ele, e para ele são todas as coisas; glória, pois, a ele eternamente. Amém!

Romanos 11:36

*Aos meus pais: Hérberto e Iracelma.
Por transmitir a maior forma de amor,
colocando meus sonhos acima dos seus.
DEDICO.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus, por, em cada dia, me proporcionar novas esperanças e desafios, dos quais, foram fundamentais para me desenvolver e me tornar a pessoa que sou.

Aos meus amados pais, irmãos e “GRANDE FAMÍLIA” por todo o carinho, suporte e motivação ao longo da minha jornada em busca do conhecimento.

Ao meu orientador, Dr. Afrânio Ferreira Neves Junior, por todo o conhecimento transmitido, disponibilidade às demandas do meu projeto, respeitar e compreender o tempo necessário para o meu amadurecimento científico, envolvimento nas atividades de campo e, principalmente, por ter aceitado o desafio de me orientar!

Ao meu coordenador, Dr. Bruno Fernando Faria Pereira, pelas valiosas contribuições intelectuais, discussões nas análises dos dados, envolvimento nas atividades de campo, suporte nas análises de fertilidade e incentivo, principalmente, quando precisei repetir amostras.

Ao Dr. Sávio Ferreira por viabilizar as coletas na Reserva Ducke, as análises no laboratório temático de solo e plantas do INPA e fornecer os dados climatológicos.

Agradeço as meninas que abraçaram o meu projeto (PIBICs) e fizeram a “força tarefa” do campo/laboratório acontecer, um obrigado generoso à Cássia, Esleiane e Natália. Sou grato também à Amanda pelo apoio em campo/laboratório e ao Sr. Frank Bessa por ser a força bruta para coletar os monólitos, assim como por suas histórias que tornaram o campo mais agradável.

Ao Dr. Fabricio Baccaro por impulsionar em grandes proporções os meus conhecimentos em análises multivariadas, o que me permitiu conduzir, com maior confiança, grande parte das minhas análises. Sou grato também, pelas contribuições durante e depois à minha aula de qualificação.

Um obrigado caloroso às minhas amigas Zilza e Axa pelo harmonioso convívio, parceria e cumplicidade que sem dúvida tornaram a minha estadia em Manaus mais intensa e prazerosa.

À minha Dra. preferida, Adriana Grandis, por me ensinar os processos bioquímicos no preparo da comida, particularmente, risotto; pelas “surras” de interrogações que, muitas vezes, induziram-me, a pensar de uma forma mais ampla; e, claro, por me adotar como seu filho “xing ling” e me levar pra todo canto (rs).

Ao longo da minha trajetória no mestrado tive a oportunidade de desenvolver análises em diversos laboratórios, o que me permitiu agregar diversas áreas de conhecimento e somar significativamente ao meu trabalho, sendo assim, não poderia deixar de agradecer: ao Sr. Vitor Repolho do laboratório de solos da UFAM; ao Dr. Wellington Gomes não somente por ceder

espaço no laboratório de fertilidade do solo e nutrição de plantas da UFAM, mas, também, pelo suporte em campo; ao Sr. Edvaldo, Jonas, Raimundo, Laura, Gabi e Roberta do laboratório temático de plantas e solos do INPA; e ao Clovis do laboratório de Entomologia da UFAM.

Agradeço, ainda, ao laboratório de Silvicultura da UFAM, em especial ao Dr. Marciel Ferreira e aos meus amigos que por pouco não me oficializaram do laboratório pela minha frequente e insistente presença.

Sou muito agradecido à Dra. Elisiana Oliveira por toda a atenção, carinho e habilidade transmitida durante parte da identificação dos macroinvertebrados.

À gentileza e disposição do Dr. Dilmar Baretta, Dr. Luís Iuñes e Dra. Elizabeth Correia ao partilhar suas experiências em fauna do solo.

Aos professores envolvidos na minha aula de qualificação Dr. Fabricio, Dr. Ferraz e Dr. Thierry pelas contribuições e inquietudes que me proporcionaram um considerável crescimento intelectual.

Ao Dr. Patrick Lavelle por todo o seu entusiasmo e carisma ao transmitir o seu imenso conhecimento durante o curso de classificação de agregados do solo, o que também me permitiu conhecer parte da nova geração em fauna do solo, meu obrigado com “cheirinho” de estruturas biogênicas.

Ao Dr. Beto Quesada e Dr. Carlos Edward pelas valiosas sugestões em meu trabalho e recomendações de bibliografia.

Ao Dr. Hedinaldo Lima pela atenção com a logística das minhas análises de fertilidade.

Um agradecimento em formato de pixels e shapefile para meus amigos, “made in” Santarém, Rafael e Lucian, por terem lidado com o meu *toc* de forma pacífica e descontraída na criação das ilustrações e do mapa.

À minha turma do PPG “nota 100”, em especial às minhas amigas Danielly e Susane, por partilharem grandes e memoráveis momentos em ambientes acadêmicos e de descontração.

Agradeço a secretaria unificada do PPG, em especial à Gillieny, Antônia e Nascimento pelo compromisso, eficiência e afinho com as demandas dos alunos, assim como as sessões de terapia motivacional à um custo zero (rs).

Ao Sr. “Chiquinho” em nome da prefeitura do campus por viabilizar a condução de todas as atividades de campo.

Ao Sr. Movido pelo suporte na identificação do material botânico.

Aos meus amigos da graduação: Sara, Vanessa M., Zilza, Lucian, Silvia, Eriane, Giselly, Eva, Gabriel, Axa, Lucas e Vanessa L. pelo incentivo e conforto transmitido.

Aos meus amigos da vida: Elizama, Missy, Camila, Fernanda, Thais, Drika e Ricardo por lembrarem da minha presença em momentos de confraternização.

Ao Victor e a Kelly pela convivência e companhia em minha estadia em Manaus.

À minha tia Lene em nome da família Ração Amazonas e tia Edilza e família pela receptividade, atenção e agradável acolhimento em Manaus.

À Cleide, Paulinha e Franci por me fornecerem um café quentinho após almoço e final das tardes nas dependências da UFAM.

Aos meus melhores amigos de quatro patas, Luke e Bely, por tornarem meus dias mais confortáveis, agradáveis e com uma pitada de felicidade.

Ao SISBIO por conceder a autorização de coleta e transporte de material biológico.

Agradeço a CAPES pela concessão da bolsa, e a Universidade Federal do Amazonas, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas e Ambientais, por me proporcionarem estrutura física e intelectual para a realização deste mestrado.

Enfim, agradeço a todos que de forma direta ou indireta contribuíram com a minha formação e que por minha fraca memória não foram mencionados.

Dispensando egocentrismo, agradeço, por fim, a minha pessoa, porque sem mim eu não seria eu mesmo e esse é o meu jeito ninja!

“Much to learn you still have... This is just the beginning!” - Mester Yoda

RESUMO

A crescente expansão de áreas degradadas na Amazônia desestabiliza os serviços ecossistêmicos, principalmente pela perda da biodiversidade. O solo representa um dos maiores reservatórios da diversidade terrestre e desta forma está associado a inúmeros serviços ecossistêmicos. Um dos mecanismos para se prever os serviços ecossistêmicos do solo é através de indicadores de qualidade do solo, mensurando a qualidade física, fertilidade e macrofauna do solo. Parâmetros que evidenciam a sustentabilidade de um ecossistema natural ou antropogênico e consequentemente às mudanças no sistema de uso da terra. O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do sistema de uso da terra no reestabelecimento da macrofauna edáfica e dos atributos físico-químico do solo. Localizado na Reserva Florestal Adolpho Ducke, foram amostrados uma floresta primária, um plantio abandonado de andiroba (*Carapa guianensis*) de aproximadamente 50 anos e uma área degradada com histórico de implantação semelhante ao plantio. As coletas dos macroinvertebrados foram por protocolos padronizados (TSBF). Amostras indeformadas e compostas foram realizadas para determinar os atributos físicos e químicos do solo, respectivamente. Os dados foram analisados por análise de variância (ANOVA) e análise de coordenadas principais (PCoA). Não foi constatado diferença no aporte da serrapilheira entre a floresta e o plantio. O Al^{3+} , Ca^{2+} , Fe, Zn, P_{disp} , densidade do solo e acidez potencial são os principais atributos físico-químico do solo que representam às mudanças do uso da terra. Dentre estas variáveis, a acidez potencial pode ser associada a distribuição da macrofauna edáfica. A dominância arbórea de *Carapa guianensis* induziu variações na riqueza, diversidade, equitabilidade e composição da biomassa da macrofauna da serrapilheira. O reestabelecimento da vegetação, mesmo que com a dominância de uma espécie arbórea, restaura e conserva a assembleia da macrofauna (exclusivamente) do solo.

Palavras chave: floresta tropical, restauração, dominância arbórea, qualidade do solo, fauna edáfica.

ABSTRACT

The increasing expansion of degraded areas in the Amazon destabilizes ecosystem services, mainly due to the biodiversity losses. The soil represents one of the largest reservoirs of terrestrial diversity therefore is associated with numerous ecosystem services. One of the mechanisms to predict soil ecosystem services is through soil quality indicators, measuring soil physical quality, fertility and macrofauna. Parameters that evidence the sustainability of a natural or anthropogenic ecosystem and consequently changes in the land use system. We evaluated the influence of the land use system on the reestablishment of the edaphic macrofauna and the soil physical-chemical attributes. In the Adolpho Ducke Forest Reserve, a primary forest, an andiroba plantation (*Carapa guianensis*) of approximately 50 years and a degraded area with similar age of implantation were studied. Macroinvertebrates collections were by standardized protocols (TSBF). Undeformed and composite samples were taken to determine soil physical and chemical attributes, respectively. Data analyzed by variance analysis (ANOVA) and principal coordinates analysis (PCO). There was no difference in the litter contribution between forest and plantation. Termites dominance in the plantation induced difference in the litter macrofauna biomass composition. The Al^{3+} , Ca^{2+} , Fe, Zn, available P, soil bulk density and potential acidity are the main soil physical-chemical attributes that represent changes in land use. Among these variables, potential acidity can be associated with edaphic macrofauna distribution. *Carapa guianensis* tree dominance induced variations in richness, diversity, equitability and litter macrofauna biomass composition. Vegetation reestablishment, even with the tree species dominance, restores and conserves (exclusively) soil macrofauna

Keywords: tropical forest, restoration, tree dominance, soil quality, edaphic fauna.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	4
3.1. ÁREA DE ESTUDO	4
3.1.1. Sistemas de uso da terra (SUT)	6
3.1.1.1. Floresta primária	7
3.1.1.2. Plantio de andiroba (53 anos)	8
3.1.1.3. Área degradada (52 anos)	9
3.2. COLETA DE DADOS	10
3.2.1. Serrapilheira acumulada	10
3.2.1.1. Material orgânico	11
3.2.1.2. Raízes	12
3.2.2. Atributos físicos do solo	13
3.2.3. Atributos químicos do solo	15
3.2.4. Macrofauna edáfica	17
3.3. ANÁLISE DOS DADOS	21
3.3.1. Aporte da serrapilheira e macrofauna da serrapilheira	21
3.3.2. Atributos físico-químico do solo e macrofauna edáfica	21
3.3.3. Conjunto mínimo de dados	21
3.3.4. Composição da macrofauna	22
4. RESULTADOS	23
4.1. APORTE DA SERRAPILHEIRA ACUMULADA	23
4.2. DENSIDADE E BIOMASSA DA MACROFAUNA DA SERRAPILHEIRA	23
4.3. COMPOSIÇÃO DA MACROFAUNA DA SERRAPILHEIRA	27
4.4. RELAÇÃO ENTRE A MACROFAUNA DA SERRAPILHEIRA E O APORTE DA SERRAPILHEIRA	28
4.5. ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICO DO SOLO	28
4.6. DENSIDADE E BIOMASSA DA MACROFAUNA EDÁFICA	30
4.7. COMPOSIÇÃO DA MACROFAUNA EDÁFICA	36

4.8. RELAÇÃO ENTRE A MACROFAUNA EDÁFICA E OS ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICO DO SOLO.....	37
5. DISCUSSÃO	38
5.1. BIOMASSA DA MACROFAUNA: DECOMPOSIÇÃO DA SERRAPILHEIRA	38
5.2. CONJUNTO MÍNIMO DE DADOS: ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICO DO SOLO ..	42
5.3. MACROFAUNA EDÁFICA.....	44
5.4. ACIDEZ DO SOLO E COMPOSIÇÃO DA MACROFAUNA EDÁFICA	45
5.5. RESTAURAÇÃO DO PLANTIO	45
6. CONCLUSÕES	47
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
9. APÊNDICES	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização dos sistemas de uso da terra na Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, estado do Amazonas.....	5
Figura 2. Precipitação acumulada e temperatura do ar (máxima, média e mínima) do ano de 2017 obtidas da estação climatológica da Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, estado do Amazonas	5
Figura 3. Sistemas de uso da terra representados: floresta primária, plantio de andiroba (<i>Carapa guianensis</i>) e área degradada, localizados na Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, Estado do Amazonas.....	6
Figura 4. Distribuição do estrato arbóreo ($DAP \geq 10$ cm) em classes diamétricas para a floresta (a) e o plantio de andiroba (<i>Carapa guianensis</i>) (b).....	9
Figura 5. Classificações das frações da serrapilheira de acordo com Proctor (1984) e Böhm (1979).....	12
Figura 6. Representação esquemática da coleta das amostras indeformadas (atributos físicos do solo). Detalhe frontal do monólito do solo com as amostras indeformadas	13
Figura 7. Amostragem da resistência do solo à penetração de raízes por meio do penetrômetro de impacto. Em destaque, o penetrômetro e a chapa para coletar o monólito	15
Figura 8. Representação esquemática da coleta das amostras simples ($n = 10$) para formar a amostra composta (atributos químico do solo). Detalhe frontal do monólito do solo com a projeção do trado em uma das laterais onde foram coletadas as amostras simples	16
Figura 9. Representação esquemática da coleta da macrofauna edáfica. Detalhe do monólito do solo.....	18
Figura 10. Média da densidade (indiv. m^{-2}) e da biomassa ($g\ m^{-2}$) dos grupos da macrofauna presente na serrapilheira da floresta (a) e do plantio (b), localizados na Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazonas ($n = 10$)	24
Figura 11. Análise de coordenadas principais (PCoA) da macrofauna presente na serrapilheira da floresta e do plantio, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazonas ($n = 10$). Densidade da macrofauna (a); Biomassa da macrofauna (b)	27
Figura 12. Atributos físico-químico do solo selecionados pelo conjunto mínimo de dados entre os sistemas de uso da terra (floresta, plantio e degradada) nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazonas ($n = 10$)	29
Figura 13. Média da densidade (indiv. m^{-2}) e da biomassa ($g\ m^{-2}$) dos grupos da macrofauna edáfica entre os sistemas de uso da terra (floresta, plantio e degradada) nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazonas ($n = 10$)	35
Figura 14. Análise de coordenadas principais (PCoA) da macrofauna edáfica entre os sistemas de uso da terra (floresta, plantio e degradada), Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazonas ($n = 10$).....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características do solo dos sistemas de uso da terra, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, estado do Amazonas	7
Tabela 2. Características da vegetação dos sistemas de uso da terra, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, estado do Amazonas	9
Tabela 3. Parâmetros químicos do solo e procedimentos metodológicos utilizados	16
Tabela 4. Ocorrência dos macroinvertebrados do solo nos sistemas de uso da terra, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, estado do Amazonas (n = 10)	19
Tabela 5. Biomassa (g m^{-2}) das frações da serrapilheira acumulada (material orgânico e raízes), umidade da serrapilheira (%) e cobertura do dossel (%) em área de floresta e de plantio, Reserva Florestal Adolpho Ducke (n = 10)	23
Tabela 6. Densidade (indiv. m^{-2}), biomassa (g m^{-2}), erro padrão (entre parênteses), proporção (%), riqueza (acumulada e média), diversidade e equitabilidade da macrofauna presente na serrapilheira da floresta e do plantio, Reserva Florestal Adolpho Ducke - Amazonas (n = 10)	25
Tabela 7. Atributos físico-químicos do solo entre os sistemas de uso da terra nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazonas (n = 10)	31
Tabela 8. Densidade (indiv. m^{-2}), biomassa (g m^{-2}), erro padrão (entre parênteses) proporção (%), riqueza (acumulada e média), diversidade e equitabilidade da macrofauna edáfica nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm sob diferentes sistemas de uso da terra (floresta, plantio e degradada), Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazonas (n = 10)	31
Tabela 9. Serrapilheira produzida ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$) e serrapilheira acumulada (Mg ha^{-1}) em florestas e plantios submetidas a condições tropicais e subtropicais	39

1. INTRODUÇÃO

A Amazônia é reconhecida por abrigar uma alta biodiversidade, acima e abaixo do solo (Dirzo & Raven, 2003). Entretanto, a área desse bioma vem diminuindo ao longo dos anos (Achard et al., 2002; Foley et al., 2007; teer Steege, 2015), o que resulta no aumento de áreas degradadas (Tollefson, 2015) e em perdas significativas dos serviços ecossistêmicos (Cardinale et al., 2012), ou seja, dos benefícios providos pelo ecossistema à humanidade (MEA, 2005).

A biodiversidade desempenha uma forte ligação com os serviços ecossistêmicos, uma vez que muitos serviços são suportados pelos organismos (Jax, 2005). Uma das medidas adotadas para recuperar a funcionalidade do ecossistema é por meio da restauração de áreas degradadas (Chazdon, 2008). Porém, mais atenção é atribuída aos componentes acima do solo (Bardget & Putten, 2014), o que dificulta a habilidade de prever as consequências em mudanças na diversidade do solo, visto que a biodiversidade abaixo do solo representa um dos maiores reservatórios da biodiversidade (Wardle, 2002; Decaëns, 2010).

O solo fornece uma variedade de serviços ecossistêmicos essenciais para a sobrevivência da humanidade, por meio do provimento da nutrição vegetal, do armazenamento e da regulação da água, da manutenção da estrutura do solo e da regulação climática (Daily et al., 1997; MEA 2005; Wall et al., 2012). Esses serviços podem ser mensurados por um conjunto de parâmetros do solo estabelecidos por indicadores específicos de um serviço (Velasquez et al., 2007). Uma das ferramentas para acessar a sustentabilidade de um ecossistema natural ou antropogênico é por meio da qualidade do solo (Karlen et al., 1997; Viana et al., 2014).

A *qualidade física do solo* está associada às propriedades hidráulicas como porosidade e compactação (Reynolds et al., 2002). Atributos que descrevem a qualidade do solo e indicam o volume de vazios de diferentes formas, mensurados pela densidade do solo, porosidade total e umidade do solo (Velasquez et al., 2007). A estabilidade estrutural e compactação do solo podem ser acessadas pela resistência à penetração das raízes (Larson & Pierce, 1994; To & Kay, 2005).

A *fertilidade do solo* corresponde à habilidade do solo em fornecer os nutrientes necessários ao crescimento das plantas (Schoenholtz et al., 2000). A mensuração das concentrações de cátions e do pH permitem diferenciar solos com concentrações suficientes de todos os macronutrientes de um solo com baixa fertilidade, pobre em nutrientes (Lavelle & Spain, 2006; Quesada et al., 2010).

A *macrofauna edáfica* representa os invertebrados do solo com o comprimento corporal maior que 2 mm (Swift et al., 1979). Organismos utilizados como preditores de toda a biodiversidade do solo, majoritariamente por desempenhar um importante papel como engenheiros do ecossistema, intensificam a atividade biológica (Lavelle, 1997; Lavelle et al., 2006) e contribuem com a qualidade física e química do solo (Beare et al., 1995; Lavelle, 2002).

O efeito do sistema de uso da terra (SUT) na qualidade do solo pode afetar características físicas e químicas do solo, de modo a reduzir a fertilidade, aumentar a erosão ou causar a compactação (Neill et al., 1997; Cherubin et al., 2016). Quanto a assembleia da macrofauna edáfica a abundância, biomassa, diversidade e composição podem ser afetadas (Lavelle & Pashanasi, 1989; Sileshi & Mafongoya, 2006; Franco et al., 2016), associado, principalmente, a redução do provimento de recursos alimentares (Decaëns et al., 1994; Lavelle et al., 2014).

Nos trópicos uma das principais causas de mudança do SUT é pela exploração das espécies florestais com um alto valor de mercado seguido da queima da vegetação remanescente para a implementação de pastagem ou agricultura (Moraes et al., 1996; Margulis, 2004; Rossi et al., 2010). Essa prática intensifica os processos erosivos e aumenta a densidade do solo nas camadas superficiais (McGrath et al., 2001; Béliveau et al., 2015). As cinzas que são adicionadas ao solo fornecem nutrientes, o que aumenta a fertilidade do solo nos primeiros anos, e também está relacionada ao aumento do pH e diminuição da atividade do alumínio (Nye & Greenland, 1964; Ewel et al., 1981; Giardina et al., 2000). A macrofauna é afetada drasticamente logo após a atividade de corte e queima, principalmente pela crítica temperatura que pode exceder à 400 °C (Rossi et al., 2010). Em ambientes degradados, pós conversão da floresta, práticas intensivas ou o abandono da área, podem promover modificações permanente nas propriedades físico-química e biológica do solo (Moraes et al., 1996; Barros et al., 2004; Marichal et al., 2014).

Na Amazônia brasileira, os solos são caracterizados pelo avançado desenvolvimento pedogenético ocasionado pelo intenso intemperismo e lixiviação de nutrientes (Chauvel et al., 1987; Quesada et al., 2011). São encontrados baixas concentrações de bases trocáveis e de P e elevada acidez do solo associado a dominância do Al (Quesada et al., 2010; Quesada et al., 2011). Em ambientes naturais, a nutrição mineral do solo é mantida pela ciclagem de nutrientes associada principalmente aos processos geoquímicos, bioquímicos e biogeoquímicos (Moreira & Fageria, 2009). Solos submetidos ao alto intemperismo normalmente são profundos, com boa agregação e drenagem, apresentam baixos conteúdos de silte e baixos valores de densidade,

o que condiciona o desenvolvimento de boas condições físicas (Quesada et al., 2010; Quesada et al., 2011).

Apesar da desregulação dos processos que mantêm as propriedades do solo, após a mudança do ambiente natural, a assembleia da macrofauna apresenta alta adaptabilidade em recolonizar o ambiente afetado (Mboukou-Kimbatsa et al, 1998; Decaëns et al., 2004; Mathieu et al., 2005; Vasconcellos et al., 2013). Entretanto, o reestabelecimento da macrofauna é influenciado por fatores como: as características da vegetação, o aporte da serrapilheira relacionado a quantidade e qualidade depositada no solo e aos atributos físico-químico do solo (Lavelle & Pashanasi, 1989; Barros et al., 2004; Tapia-Coral et al., 2014; Franco et al., 2016; Kamau et al., 2017; Gholami et al., 2017).

Mesmo em pequenas escalas geográficas, a heterogeneidade espacial, pode influenciar a composição da macrofauna (Mathieu et al., 2009). Em uma escala local (centímetros a metros), padrões espaciais na biota do solo são frequentemente explicados pelas propriedades químicas e físicas do solo juntamente com a presença de plantas dominantes que determinam as entradas (quantidade e qualidade) de substratos no solo (Wardle, 2002).

Floretas nativas (com e sem distúrbios) são ambientes que favorecem macroinvertebrados que habitam a serrapilheira, como Diplopoda, Chilopoda e Gastropoda (Mathieu et al., 2005; Marichal et al., 2014), enquanto que em ambientes degradados como pastagens são constantemente consideradas por melhorar a abundância de minhocas e por reduzir a diversidade geral da macrofauna (Lavelle & Pashanasi, 1989; Decaëns et al., 1994; Barros et al., 2004). Em áreas de plantio, a distribuição da macrofauna parece depender, principalmente, da espécie arbórea e do tempo de estabelecimento (Mboukou-Kimbatsa et al., 1998; Kamau et al., 2017).

Sistemas baseados em árvores são mais indicados, pois mantêm a composição da macrofauna e sustentam níveis mais altos de diversidade (Mboukou-Kimbatsa et al., 1998; Mathieu et al., 2005). Contudo, não há um padrão definitivo para a distribuição da macrofauna, cada sítio é um caso específico que pode favorecer ou limitar determinado organismo (Brown, 2004; Decaëns et al., 2004; Franco et al., 2016).

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a influência do sistema de uso da terra no reestabelecimento da macrofauna edáfica e dos atributos físico-químicos do solo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Avaliar se o sistema de uso da terra afeta o aporte da serrapilheira e a assembleia da macrofauna (densidade e biomassa) presentes na serrapilheira.
- II. Detectar relações entre a assembleia da macrofauna (densidade e biomassa) e as variáveis da serrapilheira acumulada.
- III. Analisar se o sistema de uso da terra modifica os atributos físico-químico do solo e a assembleia da macrofauna edáfica (densidade).
- IV. Detectar relações entre a assembleia da macrofauna edáfica (densidade) e os atributos físico-químico do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi conduzido em três sistemas de uso da terra (SUT) localizados na Reserva Florestal Adolpho Ducke (RFAD), extremidade nordeste da cidade de Manaus, km 26 da rodovia AM-010 (Figura 1).

O clima da região se caracteriza como tropical úmido com umidade relativa do ar entre 77 - 86 %. A média anual (1965 - 1980) da precipitação é de 2.485,86 ($\pm$ 218,97) mm, com maior volume de chuva entre os meses de novembro a maio, e média anual da temperatura de 25,5 °C, com pouca variação ao longo do ano (Marques-Filho et al., 1981). No ano de 2017, quando foram realizadas as coletas, a precipitação acumulada foi de 2.814,32 mm e a temperatura média de 26,18 °C (Figura 2). A sazonalidade influencia a dinâmica da serrapilheira, de modo que a maior queda de folhas é evidenciada na estação seca e maior taxa de decomposição na estação chuvosa (Luizão & Schubart, 1987).

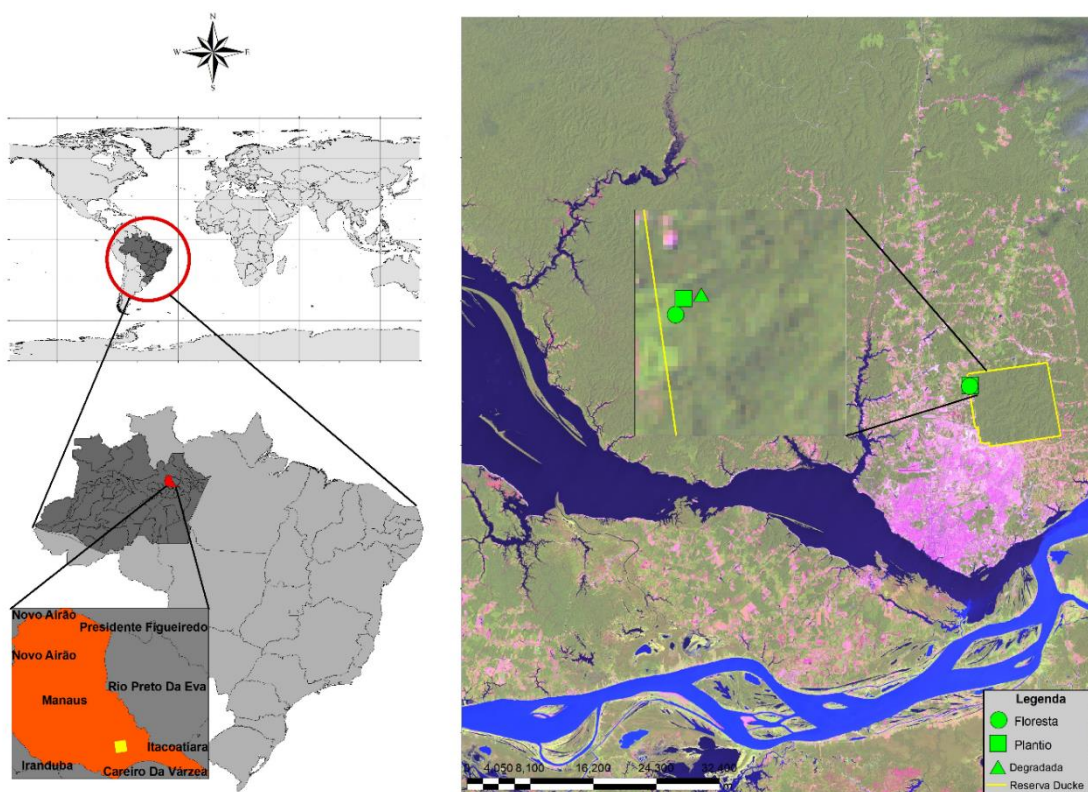


Figura 1. Localização dos sistemas de uso da terra na Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, estado do Amazonas.

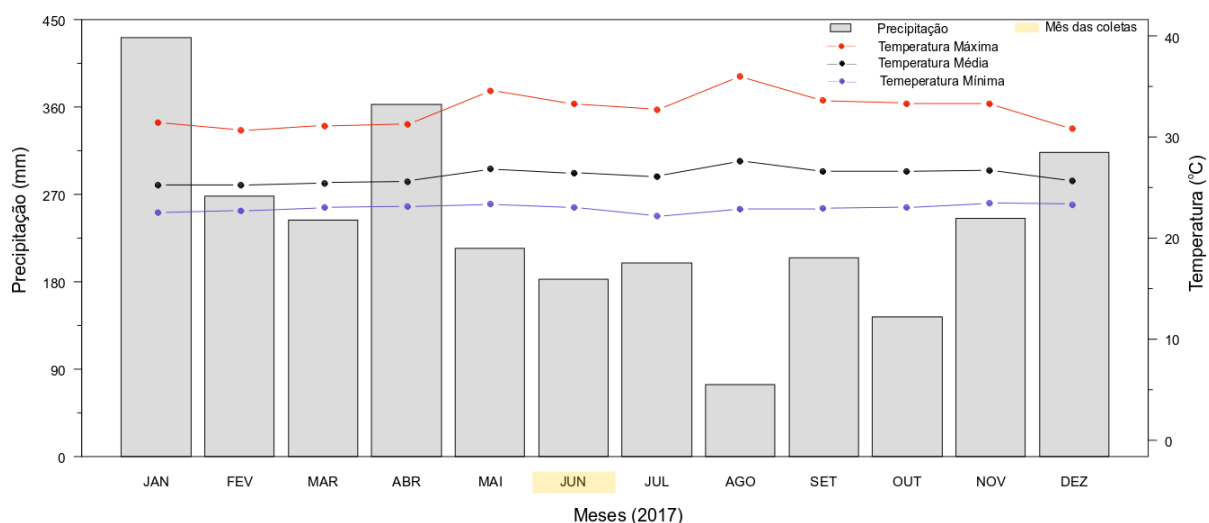


Figura 2. Precipitação acumulada e temperatura do ar (máxima, média e mínima) do ano de 2017 obtidas da estação climatológica da Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, estado do Amazonas.

3.1.1. Sistemas de uso da terra (SUT)

Os SUT foram demarcados em um mesmo platô, sendo representados: floresta primária, plantio de andiroba (*Carapa guianensis*) e uma área degradada (Figura 3).

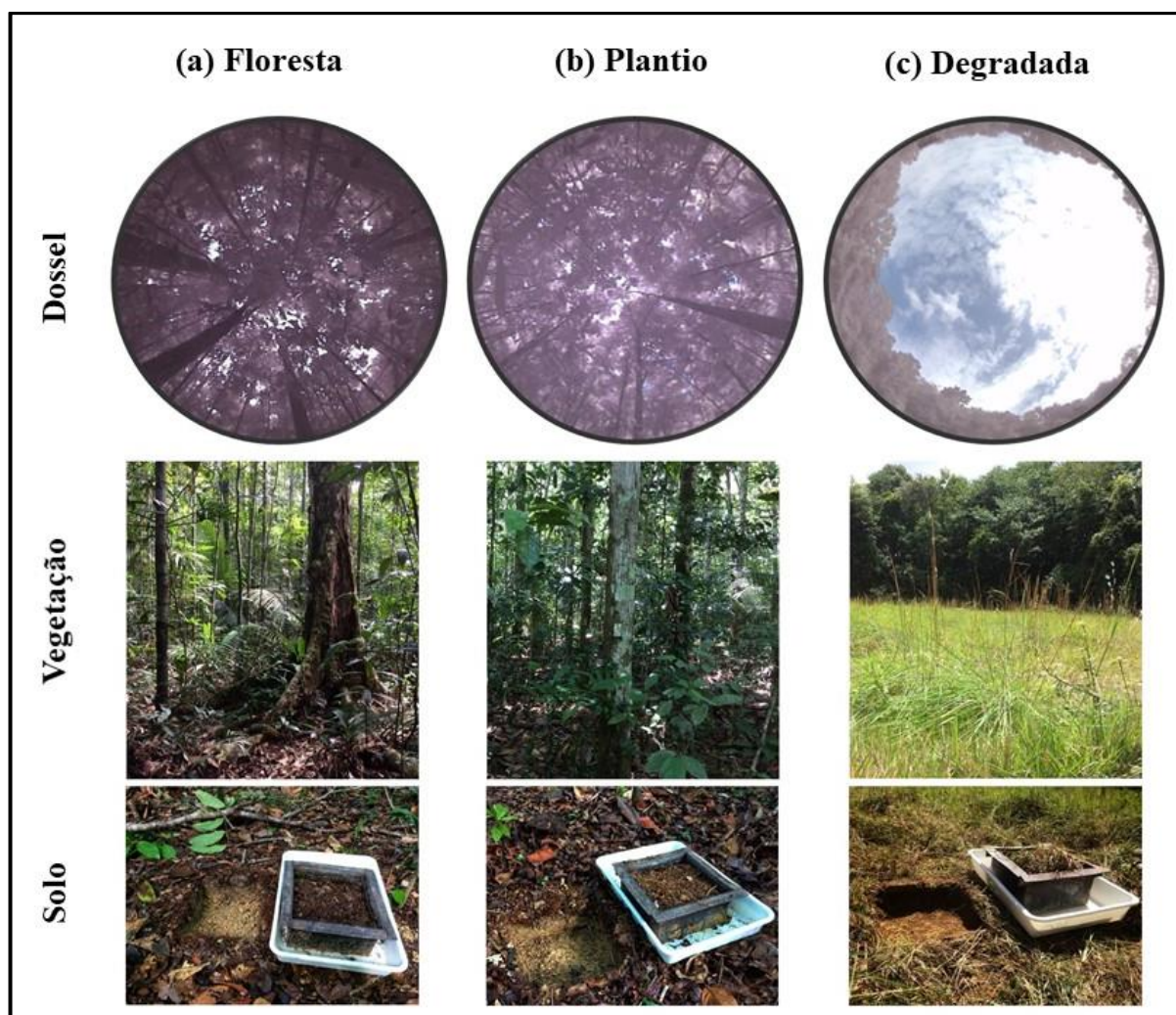


Figura 3. Sistemas de uso da terra representados: floresta primária, plantio de andiroba (*Carapa guianensis*) e área degradada, localizados na Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, Estado do Amazonas.

O solo dos SUT é classificado como Latossolo Amarelo álico (Hopkins, 2005) de textura muito argilosa com pouca variação dos teores de areia, silte e argila entre as profundidades (Tabela 1).

Tabela 1. Características do solo dos sistemas de uso da terra, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, estado do Amazonas.

Características do solo*					
Sistema de uso da terra	Dp (Mg m ⁻³)	Areia	Silte g kg ⁻¹	Argila	Classe textural
0 - 10 cm					
Floresta	2,35 ± 0,00	178,86 ± 4,00	100,57 ± 7,93	720,57 ± 5,12	Muito argilosa
Plantio	2,39 ± 0,02	181,05 ± 1,32	149,42 ± 4,68	669,53 ± 13,92	Muito argilosa
Degradada	2,43 ± 0,05	235,43 ± 9,95	46,70 ± 8,83	717,78 ± 1,18	Muito argilosa
10 - 20 cm					
Floresta	2,37 ± 0,03	151,90 ± 0,24	92,93 ± 13,61	755,17 ± 13,61	Muito argilosa
Plantio	2,42 ± 0,04	150,13 ± 2,63	100,74 ± 8,24	749,13 ± 9,61	Muito argilosa
Degradada	2,41 ± 0,03	139,10 ± 2,90	71,21 ± 5,34	789,69 ± 8,23	Muito argilosa

*Latossolo Amarelo álico.

3.1.1.1. Floresta primária

Caracterizada como uma floresta tropical úmida de Terra Firme de baixa altitude, com dossel bastante fechado (94,30 %) - estimado por meio de imagens hemisféricas obtidas a partir do uso do CI-110/120 Imageador de dossel (CID Inc.®, Camas, WA, USA) - e sub-bosque com pouca luminosidade (Figura 3a). O estrato arbóreo, indivíduos com diâmetro a altura do peito (DAP) maior ou igual à 10 cm, é composto por 89 espécies (riqueza) de um total de 143 indivíduos (abundância) que são distribuídos de forma uniforme dentre as espécies ($J = 0,96$; Tabela 2) e, desta forma, com baixa dominância ($d = 0,04$; Tabela 2) induzidas por *Corythophora alta* e *Virola michelii*, espécies com maior abundância ($N_i = 6$; Tabela 2, Apêndice A). As espécies com maior índice de valor de importância (IVI) foram *Goupia glabra* (4,86 %), *Tachigalia paniculata* (4,54 %) e *Corythophora alta* (4,32 %), respectivamente (Tabela 1, Apêndice A). Com relação a regeneração natural, destacam-se *Ruizterania albiflora* (19,00 %), *Rinorea racemosa* (18,63 %) e *Virola michelii* (12,30%), respectivamente (Tabela 2, Apêndice A).

A distribuição do estrato arbóreo em classes diamétricas assemelha-se ao típico padrão encontrado em florestas tropicais inequiduais, ‘J-invertido’ ou exponencial negativa, com maior quantidade de indivíduos nas menores classes de tamanho e redução acentuada no sentido das maiores classes (Figura 4a).

3.1.1.2. Plantio de andiroba (53 anos)

Inicialmente constituído por 100 indivíduos de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), introduzidos por corte e queima da vegetação (100% de abertura do dossel) em 1964. Os indivíduos foram espaçados à 3 x 4 m, em uma área de 0,12 ha, com o objetivo de avaliar o desempenho silvicultural da espécie (Volpato et al., 1972). Pelo menos até o ano de 1971 há registros de implementação de tratos culturais como a remoção da vegetação natural indesejada nas linhas do plantio (anual) e limpeza geral entre linhas (a cada dois anos), e ainda eliminação das ramificações laterais (poda) dos exemplares pertencentes ao plantio. Com a inexistência de tratos culturais, a regeneração natural invadiu a área designada ao plantio e vêm se estabelecendo até os dias atuais (Figura 4b).

A cobertura do dossel nesta área é de 97,3 % (Tabela 2). Durante a condução deste trabalho, foram encontrados 89 indivíduos remanescentes do plantio original (Apêndice B), dos quais apenas 5 obtiveram DAP inferior à 10 cm e, desta forma, incluídos na classe de regeneração natural (Tabela 2, Apêndice B). No estrato arbóreo (DAP $\geq$ 10 cm), indivíduos remanescentes do plantio e regeneração natural espontânea (Tabela 1, Apêndice B), foram inventariadas 28 espécies (riqueza) e 137 indivíduos (abundância), distribuídos de forma desuniforme dentre as espécies ($J = 0,53$; Tabela 1a) pela elevada dominância ($d = 0,61$; Tabela 1a) associada à espécie *C. guianensis* originária do plantio ($Ab = 84$; Tabela 1, Apêndice B). No estrato arbóreo, as espécies com maior IVI (Tabela 1, Apêndice B) foram *C. guianensis* (37,32 %), *Jacaranda copaia* (11,72 %) e *Goupia glaba* (8,56 %), respectivamente. Para a regeneração natural (Tabela 2, Apêndice B), as principais espécies que contribuíram com o IVI foram *Miconia splendens* (17,95 %), *Miconia argyrophylla* (13,23 %) e *Bocageopsis multiflora* (11,70 %), respectivamente.

Quando considerado a distribuição em classes diamétricas do estrato arbóreo (Figura 4b), o mesmo padrão da floresta primária foi encontrado, o de ‘J-invertido’. Contudo, comparando o plantio e a floresta (Figura 4), uma maior frequência de indivíduos (16,29 %) é atribuída ao plantio na menor classe diamétrica (10 - 20 cm), além da ausência de representantes nas duas maiores classes (60 - 70 e > 70 cm). O que indica diferenças na estrutura horizontal mesmo após os 53 anos do reestabelecimento da vegetação.

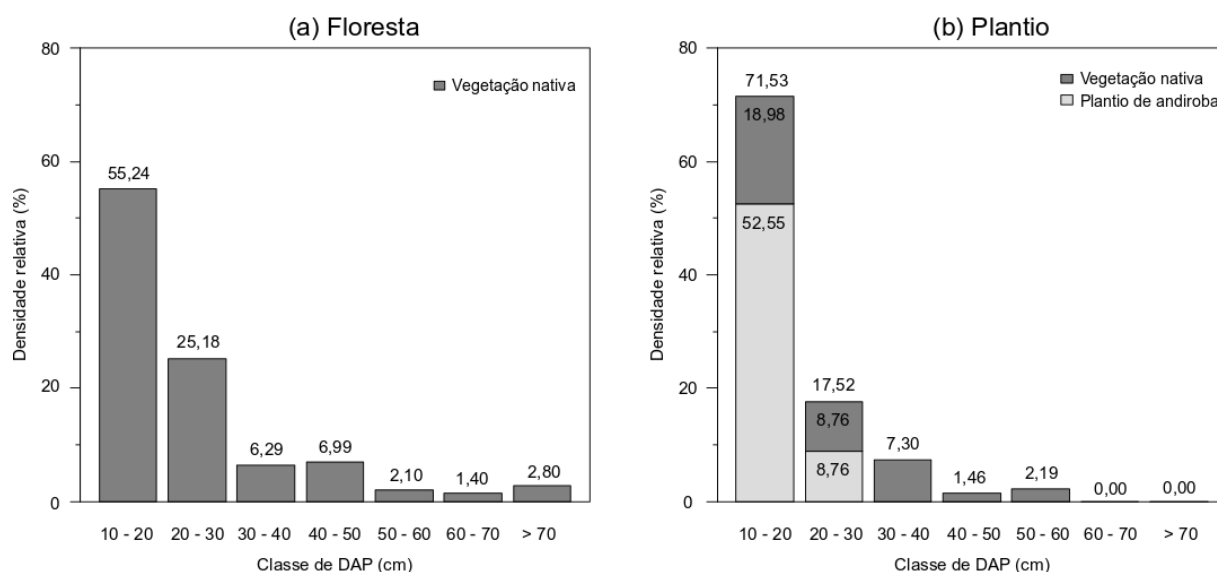


Figura 4. Distribuição do estrato arbóreo (DAP $\geq$ 10 cm) em classes diamétricas para a floresta (a) e o plantio de andiroba (*Carapa guianensis*) (b).

3.1.1.3. Área degradada (52 anos)

Área cujo o registro de alteração ocorreu no ano de 1965, pela remoção total da vegetação natural por corte e queima para a implantação da estação climatológica da RFAD. Regularmente são realizadas intervenções para limitar o crescimento da regeneração natural que é induzida pela floresta presente nas bordas da área (Figura 3c).

Parte da área apresenta solo exposto, sem cobertura da vegetação, contudo, a floresta no entorno bloqueia a total abertura do dossel (75,40 %; Tabela 2). Quando presente, a vegetação é pouco desenvolvida ou rasteira (Tabela1, Apêndice C), com dominância das espécies *Homolepsis aturensis* e *Panicum mertensii*, de um total de 28 (riqueza).

Tabela 2. Características da vegetação dos sistemas de uso da terra, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, estado do Amazonas.

Características da vegetação									
Sistema de uso da terra	Área	S	Ab	Densidade	H'	J	d	AB	Abertura do dossel
	ha			indiv. ha ⁻¹				m ²	%
Floresta*	0,32	89	143	447	4,31	0,96	0,04	10,23	5,70 $\pm$ 4,67
Plantio*	0,12	28	137	1142	1,78	0,53	0,61	4,79	2,70 $\pm$ 1,83
Degradada**	0,15	28							75,40 $\pm$ 11,24

S: riqueza; Ab: abundância; H': diversidade de Shanon; J: equitabilidade de Pielou; d: dominância de Berger-Parker; AB: área basal; Dp: densidade de partículas; média $\pm$ desvio padrão.

*Estrato arbóreo (DAP $\geq$ 10 cm).

**Vegetação pouco desenvolvida ou rasteira.

3.2. COLETA DE DADOS

A amostragem foi realizada por meio de transectos, constituídos por 10 pontos, em cada SUT, sendo as coletas conduzidas em junho, final do período chuvoso (Figura 2). Em função do tamanho da área de cada SUT (Tabela 1a), a distância entre os pontos de amostragem dos transectos foi sistematizada, utilizando-se: 15 m na floresta e 5 m no plantio e na área degradada.

Em cada ponto de referência dos transectos foram coletados: serrapilheira acumulada (quando presente), amostras de solo (atributos físicos e químicos) e macrofauna edáfica.

3.2.1. Serrapilheira acumulada

A serrapilheira acumulada (material orgânico depositado e raízes acima do solo) foi coletada concomitante à extração do monólito do solo, conforme método padronizado pelo Programa “*Tropical Soil Biology and Fertility*” (TSBF), detalhado no tópico (3.2.4.) macrofauna edáfica.

Após a triagem dos macroinvertebrados, a serrapilheira foi colocada em bandejas plásticas contendo água para a remoção do solo residual e detritos, e, desta forma, submetida ao processo de flotação (McKell et al., 1961). Evitando, assim, que o material vegetal mais leve e de difícil visualização fosse desprezado. Em seguida, o material foi seco ao ar livre e separado em frações (Figura 5), utilizando-se pinças, pinceis e paquímetros.

O material, uma vez classificado, foi devidamente etiquetado, embalado em sacos de papel e seco em estufa a 70 - 75 °C até atingir a massa seca constante. Por fim, as frações foram pesadas separadamente para obtenção da massa seca (g) e transformados em unidade de área (g m⁻²). A matéria seca total (MST), total de raízes (Rz_{total}) e a umidade da serrapilheira (US) também foi determinada, em cada unidade amostral, de acordo as seguintes equações (1, 2 e 3):

Matéria seca total (g m⁻²):

$$MST = \sum \text{Material orgânico} \quad (1)$$

Onde:

Material orgânico: folhas recém depositadas, folhas em decomposição, ramos pequenos, casca, órgãos reprodutivos e outros;

Total de raízes (g m^{-2}):

$$Rz_{\text{Total}} = RZMFF + RZP \quad (2)$$

Onde:

RZMFF: raízes muito finas e finas;

RZP: raízes pequenas.

Umidade da serrapilheira (%):

$$US = \frac{[SA - (MST + Rz_{\text{total}})] \times 100}{MST} \quad (3)$$

Onde:

SA: peso da serrapilheira acumulada (g), imediatamente após à coleta;

MST: matéria seca total (g).

3.2.1.1. Material orgânico

Classificado a partir da adaptação de Proctor (1984), constituída por:

- a) *Folhas Recém Depositadas* (FRD): folhas e/ou folíolos recém-caído das árvores, com poucos ou nenhum sinal de decomposição (Figura 5a);
- b) *Folhas em Decomposição* (FD): folhas e/ou folíolos mais velhos que apresentavam sinais de decomposição, porém, relativamente inteiras e distinguíveis (Figura 5b);
- c) *Ramos Pequenos* (RP): ramos com diâmetro menor ou igual a 2 cm ($\emptyset \leq 2 \text{ cm}$) (Figura 5c);
- d) *Órgãos Reprodutivos* (OR): flores, frutos e sementes (Figura 5d);
- e) *Cascas* (C): resíduos provenientes da decomposição de troncos e/ou ramos (Figura 5e);
- f) *Outros* (O): miscelânea, material que passou pela peneira de malha de 2 mm (Figura 5f).

3.2.1.2. Raízes

Para as raízes, a classificação seguiu as recomendações de Böhm (1979), sendo esta:

g) *Raízes Muito Finas e Finas* (RZMFF): raízes com o diâmetro menor ou igual a 2 mm ($\varnothing \leq 2$ mm) (Figura 5g);

h) *Raízes Pequenas* (RZP): raízes com o diâmetro maior que 2 mm e menor do que 5 mm ($2 \text{ mm} < \varnothing < 5 \text{ mm}$) (Figura 5h);



Figura 5. Classificações das frações da serrapilheira de acordo com Proctor (1984) e Böhm (1979). Folhas recém depositadas (a); Folhas em decomposição (b); Ramos pequenos (c); Órgãos reprodutivos (d); Cascas (e); Outros (f); Raízes muito finas e finas (g) e Raízes pequenas (h).

3.2.2. Atributos físicos do solo

Determinados, em sua maioria, a partir de amostras indeformadas (anel volumétrico, 5x5 cm) de uma das laterais adjacente ao monólito do solo (Figura 6), obtendo-se: densidade do solo, umidade gravimétrica e porosidade total nas duas profundidades estudadas (0 - 10 cm e 10 - 20 cm).

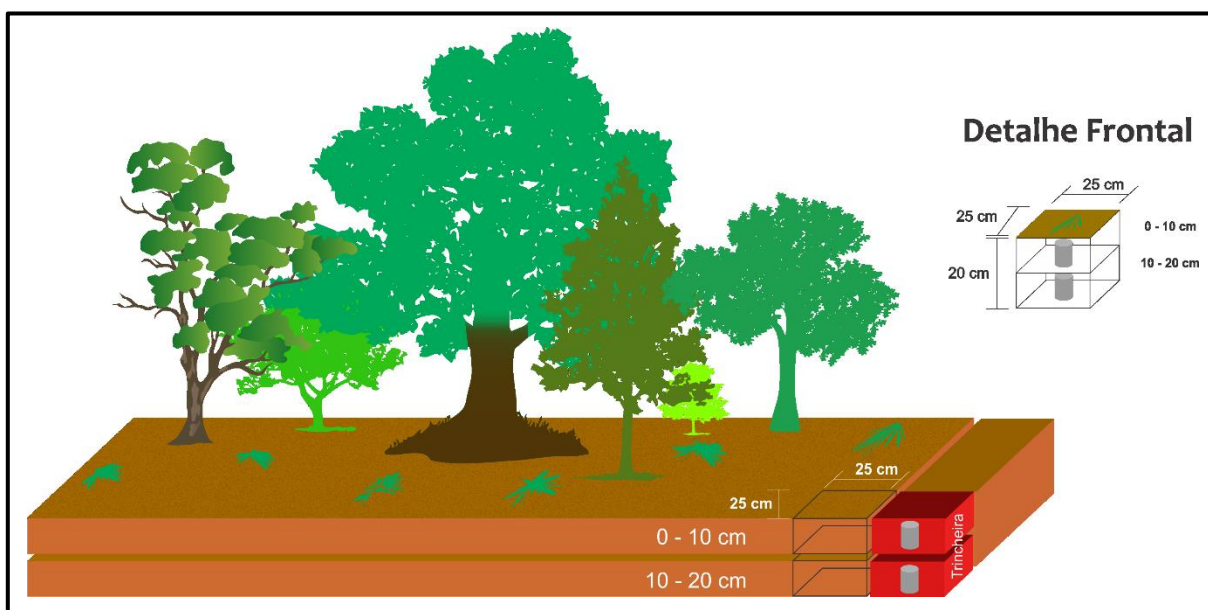


Figura 6. Representação esquemática da coleta das amostras indeformadas (atributos físicos do solo). Detalhe frontal do monólito do solo com as amostras indeformadas.

A densidade do solo (D_s), umidade gravimétrica (U_g) e porosidade total (P_T) foram calculadas conforme especificações da Embrapa (1997), utilizando a equação 4, 5 e 6, respectivamente:

Densidade do solo ($Mg\ m^{-3}$):

$$D_s = \frac{P_{seco}}{V} \quad (4)$$

Onde:

P_{seco} : peso da amostra seca a $105^\circ C$ (Mg);

V = volume do anel ou cilindro (m^3).

Umidade gravimétrica (%):

$$UG = \frac{(P_{\text{úmido}} - P_{\text{seco}}) \times 100}{P_{\text{seco}}} \quad (5)$$

Onde:

$P_{\text{úmido}}$: peso da amostra úmida (g);

P_{seco} : peso da amostra seca a 105°C (g);

Porosidade total:

$$PT = \frac{D_s}{D_p} \quad (6)$$

Onde:

D_s : densidade do solo (Mg m^{-3});

D_p : densidade de partículas do solo (Mg m^{-3});

Determinou-se, ainda, com três repetições para cada monólito, a resistência do solo à penetração de raízes (RP) obtida pelo penetrômetro de impacto (SONDATERRA®, Modelo PI-60), nas profundidades 0 - 10 cm e 10 - 20 cm (Figura 7). Os valores de RP (MPa) foram obtidos através de uma planilha eletrônica fornecida pelo fabricante do equipamento.

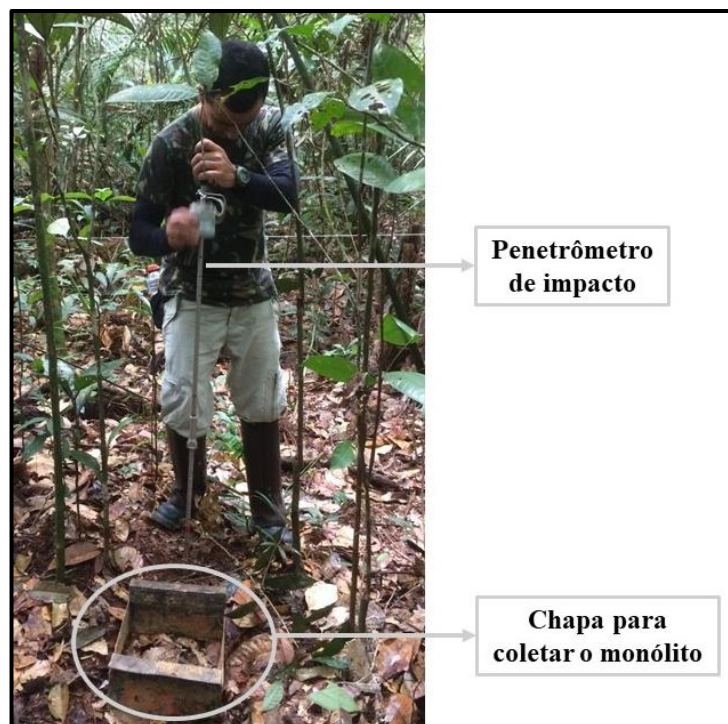


Figura 7. Amostragem da resistência do solo à penetração de raízes por meio do penetrômetro de impacto. Em destaque, o penetrômetro e a chapa para coletar o monólito.

3.2.3. Atributos químicos do solo

A amostragem do solo foi realizada ao redor de cada monólito, coletando-se 10 subamostras nas profundidades de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm, utilizando trado de rosca (Figura 8). Estas subamostras foram homogeneizadas, formando, assim, amostras compostas.

Em laboratório, as amostras foram secas em estufa a 40 °C, destorroadas e peneiradas (malha de 2 mm) para determinação dos parâmetros (Tabela 3): pH em CaCl_2 , H^+ +Al (estimado pelo índice SMP), Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Al^{3+} , P (disponível), micronutrientes (Zn, Mn e Fe), e matéria orgânica do solo (MOS). Calculou-se, ainda, a soma de bases (SB) e a capacidade de troca efetiva de cátions (t).

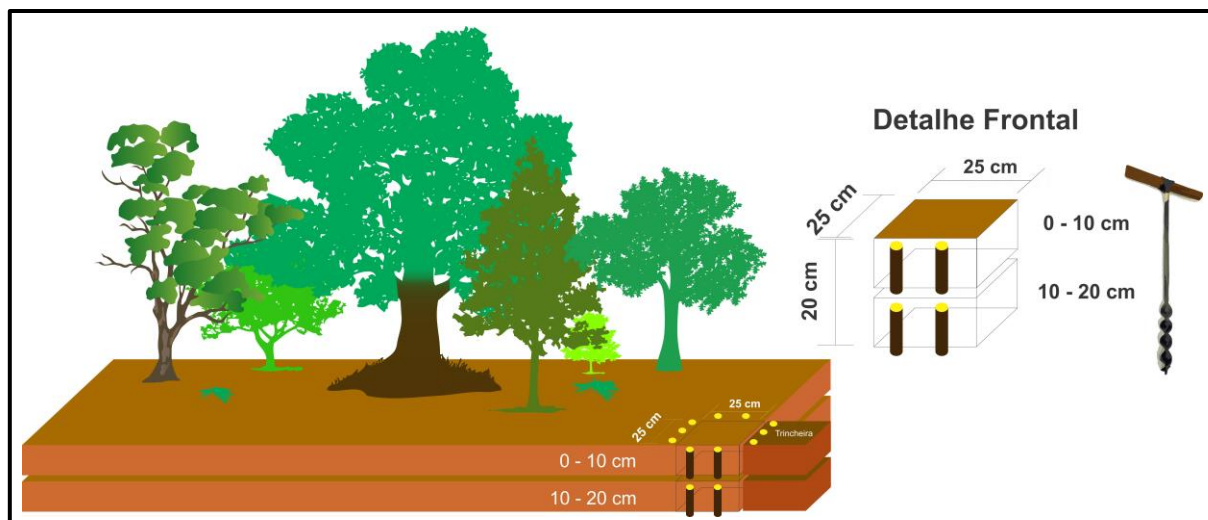


Figura 8. Representação esquemática da coleta das amostras simples ($n = 10$) para formar a amostra composta (atributos químico do solo). Detalhe frontal do monólito do solo com a projeção do trado em uma das laterais onde foram coletadas as amostras simples.

Tabela 3. Parâmetros químicos do solo e procedimentos metodológicos utilizados.

Parâmetro	Solução	Determinação	Protocolo de análise
pH CaCl_2	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Potenciômetro com eletrodo combinado	van Raij et al. (2001)
Índice SMP*	Solução tampão SMP**	Potenciômetro com eletrodo combinado	van Raij et al. (2001)
Ca^{2+}	KCl	Espectrofotômetro de absorção atômica	Embrapa (1997)
Mg^{2+}	KCl	Espectrofotômetro de absorção atômica	Embrapa (1997)
Al^{3+}	KCl	Titulação	Embrapa (1997)
K^+	Mehlich1***	Espectrofotômetro de absorção atômica	Embrapa (1997)
Fe	Mehlich1***	Espectrofotômetro de absorção atômica	Embrapa (1997)
Zn	Mehlich1***	Espectrofotômetro de absorção atômica	Embrapa (1997)
Mn	Mehlich1***	Espectrofotômetro de absorção atômica	Embrapa (1997)
P (disponível)	Mehlich1***	Espectrofotometria de absorção no uv-visível	Embrapa (1997)
MOS	$\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4$	Espectrofotometria de absorção no uv-visível	van Raij et al. (2001)

*Estimou-se H^+/Al utilizando equação alométrica (Moreira et al., 2004).

** $\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{C}_4\text{H}_6\text{CaO}_4 + \text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

*** HCl ($0,05 \text{ mol L}^{-1}$) + H_2SO_4 ($0,0125 \text{ mol L}^{-1}$)

A soma de bases (SB) e capacidade de troca efetiva de cátions (t) foram calculados por meio das equações 7 e 8, respectivamente:

Soma de bases (mmol_c dm⁻³):

$$SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} \quad (7)$$

Onde:

Ca²⁺: cálcio trocável;

Mg²⁺: magnésio trocável;

K⁺: potássio trocável.

Capacidade de troca efetiva de cátions (mmol_c dm⁻³):

$$t = SB + Al^{3+} \quad (8)$$

Onde:

SB: soma de bases;

Al³⁺: alumínio trocável.

3.2.4. Macrofauna edáfica

A amostragem da macrofauna foi conduzida conforme a metodologia proposta pelo TSBF, método do monólito (bloco) do solo com dimensões de 25 cm x 25 cm x 20 cm (Anderson & Ingram, 1993; Moreira et al., 2008).

Os monólitos foram delimitados e isolados por uma chapa metálica (25 cm x 25 cm x 10 cm), estratificados horizontalmente e divididos em: serrapilheira (quando presente) e profundidades de 0 - 10 cm e 10 - 20 cm (Figura 9).

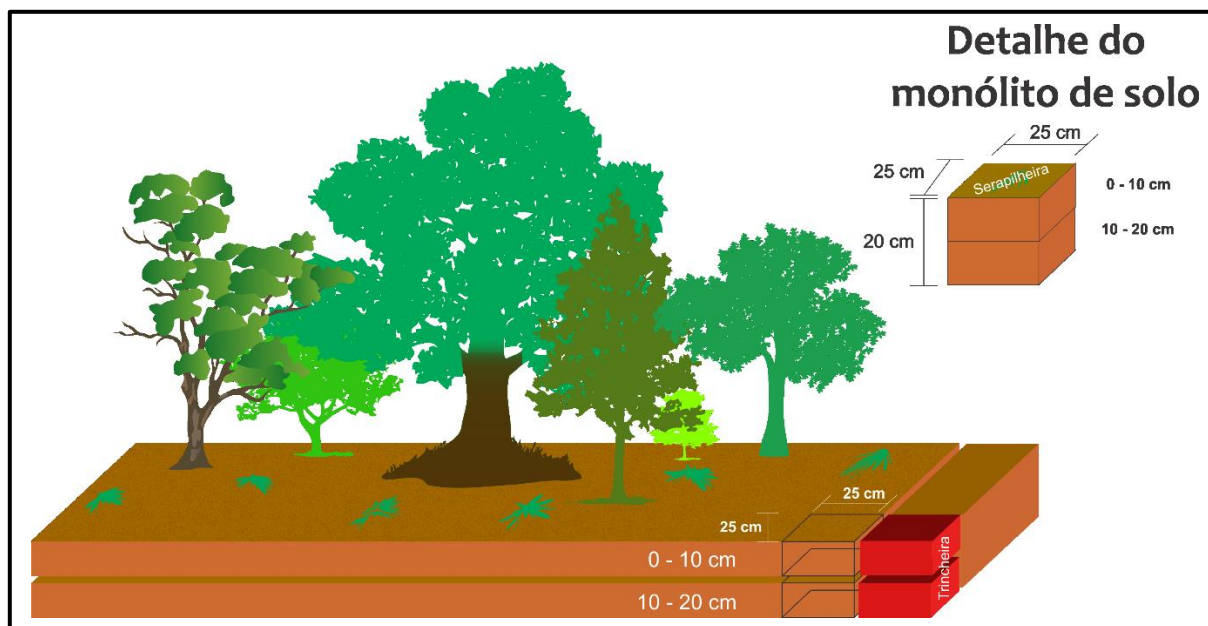


Figura 9. Representação esquemática da coleta da macrofauna edáfica. Detalhe do monólito do solo.

Após a coleta dos monólitos, o material, já estratificado, foi acondicionado em sacos plásticos e transportado para o laboratório, onde sob bandejas plásticas e iluminação artificial fez-se a triagem da macrofauna, separando e desalojando os espécimes do solo e/ou material vegetal. Durante a triagem, o solo foi cuidadosamente destorroado e os pedaços de madeira e pequenos galhos (quando presentes), coletados na serrapilheira, foram fragmentados à procura de organismos que poderiam estar abrigados em seu interior. Neste estudo a macrofauna foi operacionalmente definida como o grupo de invertebrados cujo os indivíduos são visíveis aos olhos nú (organismos macroscópicos), o que compreende mais de 90% dos indivíduos (Kevan, 1968; Warren & Zou, 2002). Avaliando tanto os geobiontes (invertebrados que habitam permanentemente o solo) quanto geófilos (organismos que vivem apenas por uma fase da sua vida no solo) (Maggenti et al., 2005).

Durante o manuseio da macrofauna, o solo presente nos espécimes foi removido com água deionizada e os organismos foram adicionados em frascos apropriados, previamente etiquetados, contendo álcool etílico a 92,8 %, para minhocas e gastrópodes, ou 70 %, para outros táxons. Em seguida, identificados em grandes grupos, contados para se obter a densidade populacional e pesados para determinar a biomassa.

A identificação foi realizada sob microscópio estereoscópio à nível de grandes grupos taxonômicos (classe, subclasse, ordem, subordem, infraordem ou família), separando os organismos de acordo com o estágio de desenvolvimento (adultos e imaturos) e consulta de

literatura especializada (Eisenbeis & Wichard, 1987; Brusca & Brusca, 2007; Triplehorn & Johnson, 2015).

No total, foram encontrados 28 grupos, conforme demonstrado na Tabela 4. Uma vez identificados, os indivíduos foram quantificados e pesados separadamente para determinar, respectivamente, a abundância, estimada em densidade (indiv. m⁻²) e a biomassa (g m⁻²), peso fresco dos indivíduos por grupo taxonômico.

Tabela 4. Ocorrência dos macroinvertebrados do solo nos sistemas de uso da terra, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, estado do Amazonas (n = 10).

Táxon	Grupos taxonômicos	Sistemas de uso da terra		
		Floresta	Plantio	Degradada
Annelida	Oligochaeta	●	■	▲
	Formicidae	●	■	▲
	Hymenoptera No-Formicidae	●	■	
	Coleoptera	●	■	▲
	Coleoptera Imaturo	●	■	▲
	Isoptera	●	■	▲
	Lepidoptera			▲
	Lepidoptera Imaturo	●	■	▲
	Embioptera	●		
	Psocoptera	●	■	
	Heteroptera	●		▲
	Heteroptera Imaturo			▲
	Auchenorrhyncha			▲
	Auchenorrhyncha Imaturo	●		
	Diptera	●		▲
	Diptera Imaturo	●	■	▲
	Blattodea	●	■	
Insecta	Orthoptera	●	■	▲
	Thysanoptera	●		
	Aranae	●	■	
	Opliones	●	■	
	Pseudoscorpionida	●	■	
	Schizomida	●	■	
	Chilopoda	●	■	▲
	Diplopoda	●	■	
	Isopoda	●	■	
	Diplura	●	■	
	Gastropoda	●	■	
	TOTAL	25	20	14

Os grupos encontrados na serrapilheira com frequência relativa menor ou igual à 20 % foram incluídos em uma categoria denominada “outros invertebrados”. Já para os invertebrados presente no solo (0 - 10 cm e 10 - 20 cm), adotou-se frequência relativa menor ou igual à 10 %

para inclusão na categoria “outros invertebrados”, exceto para Opiliones, Pseudoscorpionida e Schizomida que foram adicionados, juntamente com Aranae, em um grupo maior (classe) “Arachnida”.

A quantificação da biomassa foi de acordo com modificações de Dionísio et al. (2016), de modo que: os organismos foram retirados dos frascos, adicionados à papel absorvente para posterior secagem ao ar livre por 15 minutos, decorrido o tempo, foram pesados em balança analítica. Os valores obtidos de biomassa foram padronizados com fatores de correção (19% para minhocas e cupins, 11% para Coleoptera, 9% para formigas, 6% para Arachnida e Myriapoda e 13% para os demais invertebrados) devido todos os invertebrados perderem massa como resultado da fixação no álcool (Decaëns et al., 1994; Pauli et al., 2011).

Por fim, foram determinados parâmetros de medida ecológica como a riqueza acumulada, a riqueza média (por parcela), o índice de diversidade de Shannon (Equação 9) e a equitabilidade de Pielou (Equação 10).

Índice de diversidade de Shannon:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \ln(p_i) \quad (9)$$

Onde:

p_i : abundância proporcional do táxon i , ou seja, número de indivíduos da espécie i dividido pelo número total de indivíduos da amostra;

S : número total de táxons encontrados na amostra.

Equitabilidade de Pielou:

$$E = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (10)$$

Onde:

H' : índice de diversidade de Shannon;

S : número total de táxons encontrados na amostra.

3.3. ANÁLISE DOS DADOS

Para a análise dos dados cada camada do monólito foi analisada separadamente, sendo estas: serrapilheira, profundidades do solo: 0 - 10 e 10 - 20 cm. Todas as análises foram conduzidas com o software R, versão 3.4.2 (Team RDC, 2017).

3.3.1. Aporte da serrapilheira e macrofauna da serrapilheira

Pela ausência de serrapilheira na área degradada foi considerado apenas a floresta e o plantio na análise desse conjunto de dados (serrapilheira acumulada e macrofauna presente na serrapilheira). Para as variáveis homocedásticas ($p > 0,05$; teste de *Bartlett*) e de distribuição normal ($p > 0,05$; teste de *Shapiro-Wilk*) aplicou-se o teste *T Student* para comparar diferença ($p < 0,05$) entre esses dois SUT. Caso contrário, utilizou-se estatística não paramétrica de *Mann-Whitney* (Tabela 1, Apêndice D).

3.3.2. Atributos físico-químico do solo e macrofauna edáfica

Quanto aos atributos do solo (físico-químico) e a macrofauna do solo, os três SUT foram incluído nas análises, aplicando-se análise de variância (ANOVA) seguida do teste Tukey (*post-hoc*) para comparar diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as variáveis que não violaram os pressupostos paramétricos de homocedasticidade ($p > 0,05$; teste de *Bartlett*) e normalidade dos dados ($p > 0,05$; teste de *Shapiro-Wilk*), quando não, adotou-se estatística não paramétrica de *Kruskal-Wallis* com correção de *Bonferroni* (Tabela 2, Apêndice D).

3.3.3. Conjunto mínimo de dados

A análise de componentes principais (PCA) foi aplicada para diminuir a redundância de dados (17 variáveis) e criar um conjunto mínimo de dados ambientais (atributos físico-químico do solo) a serem relacionados com a composição dos macroinvertebrados presentes no solo. A função preliminar da PCA é reduzir a redundância do banco de dados, retendo a máxima variação possível dos dados originais, resultando em um conjunto menor de variáveis, os componentes principais (PCs). Os PCs não são correlacionados, mas ordenados, os primeiros

PCs retêm a maior quantidade da variação de todas as variáveis originais (Dunteman, 1989; Jolliffe, 2005).

Os primeiros PCs condensam a maior parte da variação dos dados. No entanto, são representações matemáticas e abstratas das variáveis de interesse. Uma forma de visualizar mais concretamente as relações entre as variáveis é a aplicação do protocolo por seleção do conjunto mínimo de dados (Andrews et al., 2002; Mukherjee & Lal, 2014). O conjunto mínimo de dados usa os PCs com maiores autovalores e os *loadings* das variáveis.

Os PCs com maiores autovalores representam maior variação no banco de dados, sendo que a maioria dos trabalhos assumem reter os PCs com autovalores maior ou igual a 1,00 (Kaiser, 1960). A correlação das variáveis com um determinado PC, é conhecida como *loading*. Apenas as variáveis com o maior peso foram retidas e incluídas no conjunto mínimo de dados. Em cada PC reteve-se a variável que apresentava o maior autovalor bem como as variáveis que apresentaram valor absoluto de até 10 % a abaixo do maior observado (Wander & Bollero, 1999, Mukherjee & Lal, 2014). Para maior redução de redundância uma matriz de correlação de Spearman determinou os coeficientes de correlação entre os parâmetros (Andrews et al., 2002; Mukherjee & Lal, 2014). Quando mais de uma variável foi mantida em determinado PC, verificou-se os valores dos coeficientes de correlação da matriz de Spearman. Caso os parâmetros fossem significativamente correlacionados ($r > 0,60$; $p < 0,05$), a variável com o maior autovalor foi retida no conjunto mínimo de dados, e as outras eliminadas (Mukherjee & Lal, 2014).

3.3.4. Composição da macrofauna

Os dados da assembleia da macrofauna foram submetidos a análise de coordenadas principais (PCoA) utilizando matriz de dissimilaridade de *Bry-Curtis* com padronização (divisão pela soma) para cada parcela e estrato amostrado (serrapilheira, profundidades do solo: 0 - 10 e 10 - 20 cm).

Para detectar se a composição da macrofauna diferiu entre os SUT (efeito do sítio) e se estava relacionada com as variáveis ambientais (frações da serrapilheira e atributos físico-químico do solo), análise de variância por permutação multivariada (PERMANOVA) foram adotadas (9.999 permutações aleatórias) para os resultados fornecidos pela PCoA. Quando o efeito do SUT foi significativo ($p < 0,05$), o teste de comparação pareada de multinível

(equivalente ao *pot-hoc* da PERMANOVA), com correção de *Bonferroni*, foi utilizado para detectar em qual dos SUT constituía a diferença.

4. RESULTADOS

4.1. APORTE DA SERRAPILHEIRA ACUMULADA

Avaliando os dados de biomassa e umidade da serrapilheira acumulada entre a floresta e o plantio, não se encontrou diferença (Tabela 5), mesmo com a influência da dominância de *C. guianensis* na estrutura horizontal (classes diamétricas, Figura 4) e composição (Apêndice A e B) da vegetação. Apenas a cobertura do dossel demonstrou diferença, com maiores valores no plantio.

Tabela 5. Biomassa (g m^{-2}) das frações da serrapilheira acumulada (material orgânico e raízes), umidade da serrapilheira (%) e cobertura do dossel (%) em área de floresta e de plantio, Reserva Florestal Adolpho Ducke ($n = 10$).

	Frações	Floresta	Plantio
Material orgânico	Folhas recém depositadas	21,67a	24,37a
	Folhas em decomposição	443,12a	394,16a
	Ramos pequenos	111,48a	153,00a
	Órgãos reprodutivos	27,90a	4,85a
	Cascas	183,18a	151,14a
	Outros	492,18a	352,93a
	Material seco total	1279,53a	1080,45a
Raízes	Raízes muito finas e finas	154,58a	214,29a
	Raízes pequenas	4,51a	9,19a
	Total de raízes	159,09a	223,48a
Umidade da serrapilheira		170,61a	151,83a
Cobertura do dossel		94,64b	97,22a

Valores entre colunas com a mesma letra não são significativamente diferente ($p > 0,05$) de acordo com o teste aplicado (Tabela 1, Apêndice D).

4.2. DENSIDADE E BIOMASSA DA MACROFAUNA DA SERRAPILHEIRA

A assembleia da macrofauna presente na serrapilheira da floresta e do plantio apresentaram ampla variação quanto a densidade, biomassa, riqueza média, diversidade e equitabilidade (Tabela 6).

A área de plantio destacou-se no estudo por apresentar a maior densidade e dominância de Isoptera (cupins), seguida pelo grupo Formicidae (formigas), o que induziu uma baixa equitabilidade ($J = 0,33$) quando comparado à floresta ($J = 0,59$) com principal dominância de Formicidae (Tabela 6 e Figura 10a). Devido a alta densidade de cupins, no plantio, a maior contribuição da biomassa foi associada ao grupo Isoptera seguida por Gastropoda, incluído em Outros Invertebrados (Tabela 6 e Figura 10b). Na floresta, a biomassa foi principalmente associada ao grupo Lepidoptera em estágio imaturo, Outros Invertebrados (maior contribuição do grupo Blattodea) e Diplopoda, respectivamente (Tabela 6 e Figura 10b).

Por mais que ambas as áreas possuam alta densidade de formigas (543 indiv. m^{-2}), em termos de biomassa, este grupo, representa apenas 6,30 % da biomassa total, o que corresponde a 0,26 $g m^{-2}$ (Tabela 6 e Figura 10).

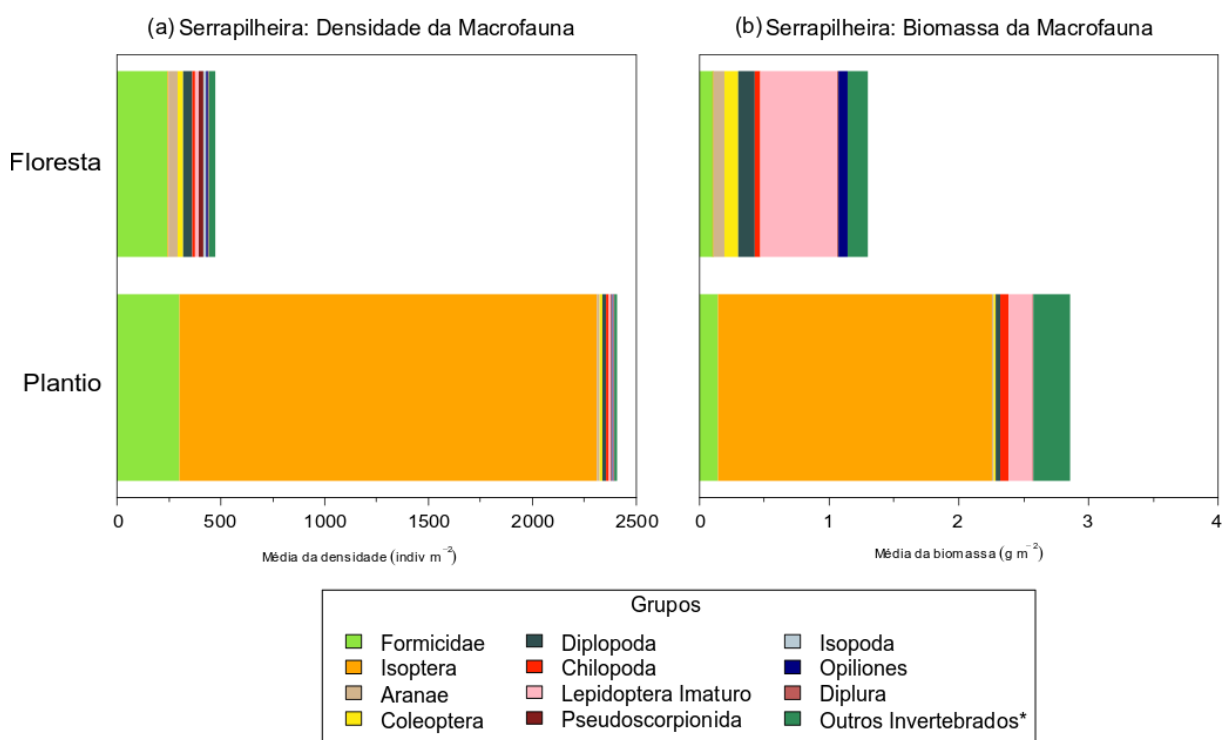


Figura 10. Média da densidade (indiv. m^{-2}) e da biomassa ($g m^{-2}$) dos grupos da macrofauna presente na serrapilheira da floresta (a) e do plantio (b), localizados na Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazonas ($n = 10$). *Grupos com frequência relativa menor ou igual a 20 %, sendo estes: Hymenoptera No-Formicidae, Coleoptera Imaturo, Auchenorrhyncha Imaturo, Diptera Imaturo, Blattodea, Orthoptera, Thysanoptera, Schizomida, Oligochaeta e Gastropoda.

Tabela 6. Densidade (indiv. m⁻²), biomassa (g m⁻²), erro padrão (entre parênteses), proporção (%), riqueza (acumulada e média), diversidade e equitabilidade da macrofauna presente na serrapilheira da floresta e do plantio, Reserva Florestal Adolpho Ducke - Amazonas (n = 10).

Táxon	Classificação taxonômico	Densidade				Biomassa			
		Floresta	Plantio	Total	%	Floresta	Plantio	Total	%
Serrapilheira									
<i>Insecta</i>		294 (108,0)	2336 (1565,6)	2630	91,16	0,82 (0,27)	2,45 (1,76)	3,27	79,18
Formicidae	Família	242 (106,3)	301 (134,0)	543	18,82	0,11 (0,04)	0,15 (0,10)	0,26	6,30
Coleoptera	Ordem	29 (6,2)	14 (5,0)	43	1,49	0,11 (0,09)	0,01	0,12	2,91
Isoptera	Infraordem	7 (6,4)	2010 (1449,7)	2017	69,91	<0,01 (0,00)	2,11 (1,6)	2,11	51,09
Lepidoptera Imaturo	Ordem	16 (5,3)	11 (5,4)	27	0,94	0,60 (0,25)	0,18 (0,14)	0,78	18,89
<i>Myriapoda</i>		60 (16,0)	29 (8,2)	89	3,08	0,17 (0,08)	0,10 (0,03)	0,27	6,54
Chilopoda	Classe	18 (6,5)	13 (4,0)	31	1,07	0,04 (0,02)	0,06 (0,03)	0,10	2,42
Diplopoda	Classe	42 (10,5)	16 (6,7)	58	2,01	0,13 (0,06)	0,04 (0,02)	0,17	4,12
<i>Crustacea</i>									
Isopoda	Ordem	14 (4,4)	5 (2,4)	19	0,66	<0,01 (0,00)	<0,01 (0,00)	<0,01	<0,01
<i>Entognatha</i>									
Diplura	Ordem	3 (2,1)	5 (2,4)	8	0,28	<0,01 (0,00)	<0,01 (0,00)	<0,01	<0,01
<i>Arachnida</i>		71 (13,9)	20 (4,6)	91	3,15	0,15 (0,08)	0,02 (0,01)	0,17	4,12
Aranae	Ordem	42 (9,9)	13 (4,6)	55	1,91	0,08 (0,04)	0,02 (0,01)	0,10	2,42
Opiliones	Ordem	8 (2,7)	2 (1,6)	10	0,35	0,07 (0,07)	<0,01 (0,00)	0,07	1,69
Pseudoscorpionida	Ordem	21 (5,4)	5 (2,4)	26	0,90	<0,01 (0,00)	<0,01 (0,00)	<0,01	<0,01
<i>Outros Invertebrados*</i>		33 (9,5)	15 (6,7)	48	1,66	0,14 (0,06)	0,28 (0,25)	0,42	10,17
Hymenoptera No-Formicidae (<i>Insecta</i>)	Ordem	6 (3,5)	2 (1,6)	8	0,28	<0,01 (0,00)	<0,01 (0,00)	0,00	<0,01
Coleoptera Imaturo (<i>Insecta</i>)	Ordem	4 (3,2)	2 (1,6)	6	0,21	0,02 (0,02)	0,01 (0,01)	0,03	0,73
Auchenorrhyncha Imaturo (<i>Insecta</i>)	Subordem	2 (1,6)	0	2	0,07	<0,01 (0,00)	0,00	0,00	<0,01
Diptera Imaturo (<i>Insecta</i>)	Ordem	3 (2,1)	5 (3,4)	8	0,28	<0,01 (0,00)	0,01 (0,01)	0,00	<0,01
Blattodea (<i>Insecta</i>)	Ordem	5 (3,4)	2 (1,6)	7	0,24	0,09 (0,06)	0,01 (0,01)	0,09	2,18

Orthoptera (<i>Insecta</i>)	Ordem	3 (2,1)	0	3	0,10	<0,01 (0,00)	0,00	0,00	<0,01
Thysanoptera (<i>Insecta</i>)	Ordem	2 (1,6)	0	2	0,07	<0,01 (0,00)	0,00	0,00	<0,01
Schizomida (<i>Arachnida</i>)	Classe	6 (2,6)	0	6	0,21	<0,01 (0,00)	0,00	0,00	<0,01
Oligochaeta (<i>Annelida</i>)	Subclasse	2 (1,6)	2 (1,6)	4	0,14	0,03 (0,03)	0,02 (0,02)	0,05	1,21
Gastropoda (<i>Mollusca</i>)	Classe	0	2 (1,6)	2	0,07	0,00	0,25 (0,25)	0,25	6,05
Total		475 (119,7)	2430 (1493,6)	2885	100,00	1,24 (0,30)	2,85 (1,76)	4,13	100,00
Riqueza acumulada		20	17	21					
Riqueza média		8a	6b						
Diversidade (Shannon)		1,68a	0,87b						
Equitabilidade (Pielou)		0,59a	0,33b						

*Grupos com frequência relativa menor ou igual à 20 %

Valores entre colunas com letras diferentes correspondem a diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o teste *T Student*.

4.3. COMPOSIÇÃO DA MACROFAUNA DA SERRAPILHEIRA

A análise de PCoA para a descrição da composição da densidade da macrofauna (Figura 11a) representou 49,43% de toda a variação dos dados nos primeiros dois eixos explicativos. O primeiro eixo está fortemente correlacionado a Formicidae (-0,81) e Isoptera (0,76) e o segundo eixo à Outros Invertebrados (0,73) e Coleoptera (0,69). Não foi detectado influência significativa dos SUT na composição da densidade da macrofauna pela PERMANOVA ($df = 1$; Pseudo- $F = 2,70$; $p = 0,081$).

Para a análise de PCoA formada a partir da composição da biomassa da macrofauna (Figura 11b), os dois primeiros eixos que contemplam os grupos que mais explicam os dados representaram 38,57% de toda a variação, sendo o primeiro eixo mais correlacionado a Lepidoptera em estágio imaturo (-0,89) e Isoptera (0,66). O segundo eixo foi representativo de Outros Invertebrados (-0,82) e Isoptera (0,71). A composição da biomassa da macrofauna, em particular, foi significativa ($df = 1$; Pseudo- $F = 3,51$; $p = 0,037$) para o efeito do SUT entre a floresta e o plantio (PERMANOVA).

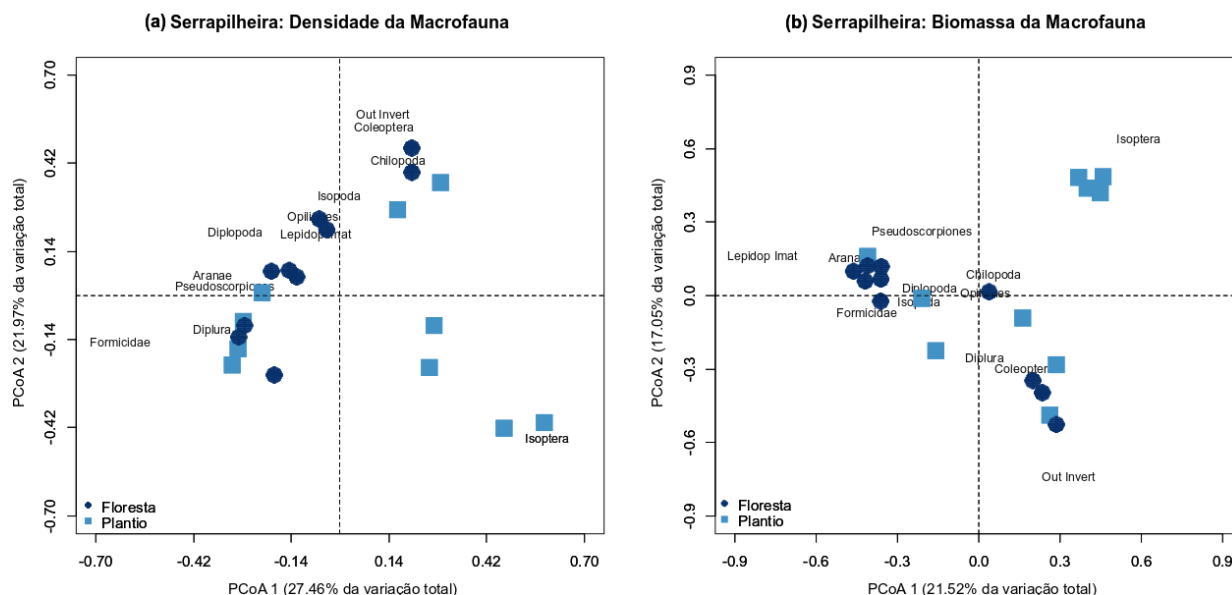


Figura 11. Análise de coordenadas principais (PCoA) da macrofauna presente na serrapilheira da floresta e do plantio, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazonas ($n = 10$). Densidade da macrofauna (a); Biomassa da macrofauna (b).

4.4. RELAÇÃO ENTRE A MACROFAUNA DA SERRAPILHEIRA E O APORTE DA SERRAPILHEIRA

As variáveis da serrapilheira acumulada e a cobertura do dossel foram pré-selecionadas, de acordo com redundância de características (morfológicas e anatômicas) e/ou importância ecológica, para constatar associações com a composição de macroinvertebrados presente na serrapilheira (densidade e biomassa).

Das variáveis selecionadas, nenhuma estabeleceu relação significativa com a assembleia de macroinvertebrados, tanto para a densidade (Tabela 1a, Apêndice E), quanto para biomassa (Tabela 1b, Apêndice E).

4.5. ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICO DO SOLO

Por meio da seleção do conjunto mínimo de dados, aplicado em cada profundidade estudada, foram retidas as variáveis: $H+Al$, P_{disp} , Ca^{2+} , Fe , Zn e Al^{3+} , para 0 - 10 cm, e $H+Al$, P_{disp} , Ca^{2+} , Fe e Ds , em 10 - 20 cm (Apêndice F). A combinação dessas variáveis formou o conjunto mínimo de dados para o teste de comparação de médias, por apresentarem a maior contribuição no total da variação do banco de dados (*loading*).

A variável que mais distinguiu entre os SUT foi o Fe , por estabelecer diferenças nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm e pH , $H+Al$ e K^+ na profundidade de 0 - 10 cm (Tabela 7). A profundidade de 10 - 20 cm demonstrou maior semelhança entre os atributos físico-químico do solo quando comparado com a de 0 - 10 cm.

Considerando o conjunto mínimo de dados, a Ds foi maior na área degradada na profundidade 0 - 10 cm (Figura 12a); as menores concentrações de P_{disp} e Zn na camada de 0 - 10 cm foram observada na área de plantio (Figura 12b-c); já as áreas de floresta e degradada foram semelhantes entre si para estas variáveis; a área degradada apresentou o menor valor de $H+Al$ (Figura 12d) independentemente da profundidade; a área de plantio apresentou também maiores valores de Al^{3+} em ambas as profundidades (Figura 12e); o Ca^+ foi semelhante entre os SUT, nas duas profundidades (Figura 12f); e o Fe , como já mencionado, diferiu entre todos os SUT em ambas as profundidades (Figura 12g).

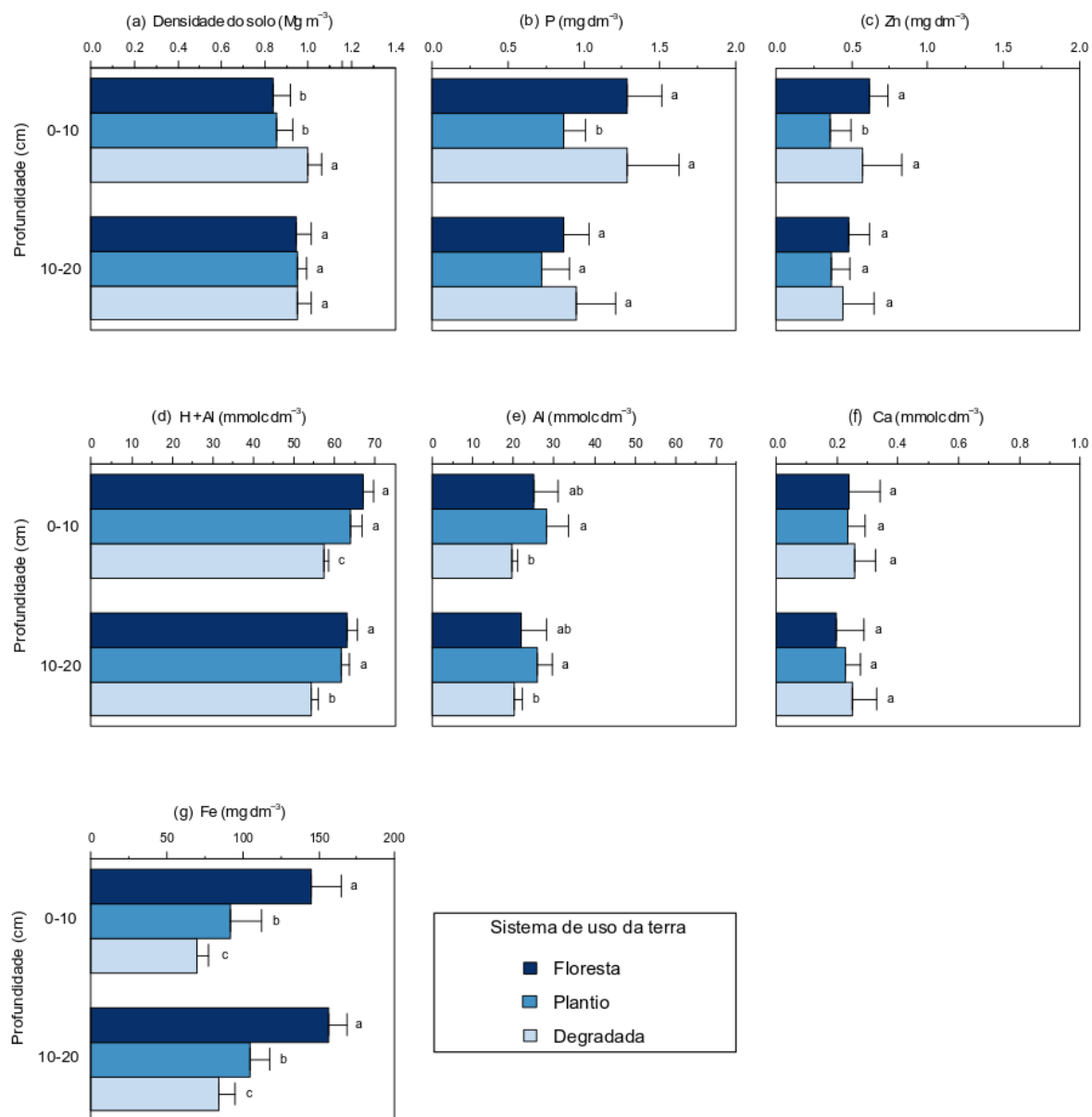


Figura 12. Atributos físico-químico do solo selecionados pelo conjunto mínimo de dados entre os sistemas de uso da terra (floresta, plantio e degradada) nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazonas (n = 10). Letras diferentes entre a mesma profundidade são significativamente diferente ($p < 0,05$) de acordo com o teste aplicado (Tabela 2, Apêndice D).

4.6. DENSIDADE E BIOMASSA DA MACROFAUNA EDÁFICA

Os SUT influenciaram a riqueza acumulada da macrofauna na seguinte ordem; floresta > plantio > degradada, independentemente da profundidade (Tabela 8). Em 0 - 10 cm, a riqueza média de grupos da área degradada foi menor que os demais SUT, porém, em 10 - 20 cm, apenas a floresta (4 grupos) e a área degradada (2 grupos) distinguiram. O aumento da profundidade, no geral, reduziu à metade a riqueza (acumulada e média) de grupos (Tabela 8).

Quanto a diversidade e a equitabilidade, ambos apresentaram o mesmo comportamento entre as profundidades. A diversidade de grupos da área degradada diferiu dos demais SUT e a equitabilidade permaneceu semelhante entre os SUT (Tabela 8).

A profundidade de 0 - 10 cm apresentou maior densidade da macrofauna (2.102 indiv. m⁻²), seguindo o padrão apresentado para riqueza acumulada (floresta > plantio > degradada). Na profundidade de 10 - 20 cm foi encontrado um padrão inverso (degradada > plantio > floresta). Os grupos dominantes em cada SUT foram, respectivamente, Formicidae e Isoptera, floresta e plantio, e Coleoptera e Formicidae na área degradada (0 - 10 cm); para a profundidade de 10 - 20 cm, Formicidae na floresta e na área degradada, e Isoptera no plantio (Tabela 8 e Figura 13a). A média da densidade de macroinvertebrados, nas duas profundidades e nos três SUT, foi de 891 indiv. m⁻².

Apesar da dominância de formigas, cupins e besouros nos SUTs, a contribuição desses organismos foi pouco expressiva quanto a biomassa fresca da macrofauna. De modo geral, a biomassa de minhocas (Oligochaeta) foi maior tanto para a profundidade de 0 - 10 cm (41,91 %) quanto para de 10 - 20 cm (48,87 %). Destaca-se que particularmente na floresta (0 - 10 cm) e na área degradada (10 - 20 cm) a maior contribuição da biomassa foi atribuída ao grupo Chilopoda e Coleoptera em estágio imaturo, respectivamente (Tabela 8 e Figura 13b). A média da biomassa da macrofauna, para as duas profundidades e os três SUT, foi de 3,86 g m⁻².

Tabela 7. Atributos físico-químicos do solo entre os sistemas de uso da terra nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazonas (n = 10).

Sistema de uso da terra	Ds	PT	UG	RP*	pH	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	t	P _{disp}	Fe	Zn	Mn	MOS
	(Mg m ⁻³)	(%)		(MPa)	CaCl ₂	(mmol _c dm ⁻³)							(mg dm ⁻³)			(g kg ⁻¹)	
0 - 10 cm																	
Floresta	0,84b	64,36a	48,66a	1,20b	3,66c	67,10a	25,05ab	0,24a	0,54a	0,36a	1,14 ^a	26,19ab	1,28a	145,25a	0,62a	1,83a	28,92a
Plantio	0,86b	64,14a	51,11a	1,21b	3,83b	64,03b	28,10a	0,23a	0,59a	0,30b	1,12 ^a	29,22a	0,87b	92,00b	0,36b	1,70ab	27,02a
Degradada	1,00a	59,16b	31,01b	3,53a	4,00a	57,38c	19,64b	0,26a	0,31b	0,22c	0,79b	20,43b	1,28a	69,95c	0,57a	1,46b	19,59b
10 - 20 cm																	
Floresta	0,94a	60,07a	39,70a	1,96b	3,75b	63,27a	22,00ab	0,20a	0,41a	0,27a	0,87 ^a	22,87ab	0,87a	156,45a	0,48a	1,96a	23,28a
Plantio	0,95a	60,72a	40,76a	1,84b	3,85b	61,66a	25,80a	0,23a	0,52a	0,25a	1,00a	26,80a	0,73a	104,95b	0,37a	1,62b	21,48a
Degradada	0,95a	60,66a	33,14b	2,89a	4,02a	54,27b	20,25b	0,25a	0,21b	0,17b	0,63b	20,88b	0,95a	84,25c	0,44a	1,33b	15,90b

Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; UG: umidade gravimétrica; RP: resistência à penetração; SB: soma de bases; t: capacidade efetiva de troca de cátions; MOS: matéria orgânica do solo; valores entre linhas (na mesma profundidade) com letras diferentes, correspondem a diferença significativa (*p* > 0,05) de acordo com o teste aplicado (Tabela 2, Apêndice D). Letras diferentes entre a mesma profundidade são significativamente diferente (*p* < 0,05) de acordo com o teste aplicado (Tabela 2, Apêndice D).

*n = 30

Tabela 8. Densidade (indiv. m⁻²), biomassa (g m⁻²), erro padrão (entre parênteses) proporção (%), riqueza (acumulada e média), diversidade e equitabilidade da macrofauna edáfica nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm sob diferentes sistemas de uso da terra (floresta, plantio e degradada), Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazonas (n = 10).

(a)											
0 - 10 cm											
Táxon	Classificação taxonômica	Densidade					Biomassa				
		Floresta	Plantio	Degradada	Total	%	Floresta	Plantio	Degradada	Total	%
<i>Annelida</i>											
Oligochaeta	Subclasse	24 (9,3)	42 (9,3)	8 (6,1)	74	3,52	0,38 (0,19)	1,95 (0,69)	1,09 (1,07)	3,42	41,91

<i>Insecta</i>		666 (237,1)	448 (74,2)	475 (148,7)	1589	75,59	0,98 (45)	0,9 (0,29)	0,57 (0,29)	2,45	30,02
Formicidae	Família	398 (93,31)	214 (44,8)	174 (72,0)	786	37,39	0,30 (0,13)	0,06 (0,02)	0,04 (0,02)	0,40	4,90
Coleoptera	Ordem	43 (13,1)	88 (15,7)	256 (161,9)	387	18,41	0,10 (0,05)	0,17 (0,07)	0,08 (0,04)	0,35	4,29
Coleoptera Imaturo	Ordem	11 (5,4)	6 (3,5)	10 (4,9)	27	1,28	0,14 (0,09)	0,02 (0,01)	0,42 (0,29)	0,58	7,11
Isoptera	Infraordem	203 (154,4)	130 (54)	24 (20,7)	357	16,98	0,35 (0,30)	0,27 (0,12)	0,03 (0,03)	0,65	7,97
Lepidoptera Imaturo	Ordem	3 (3,2)	8 (2,7)	3 (2,1)	14	0,67	0,09 (0,09)	0,38 (0,27)	<0,01 (0,00)	0,47	5,76
Diptera Imaturo	Ordem	8 (3,6)	2 (1,6)	8 (6,4)	18	0,86	<0,01 (0,00)	<0,01 (0,00)	<0,01 (0,00)	<0,01	<0,01
<i>Myriapoda</i>		114 (14,8)	99 (7,1)	2 (1,5)	215	10,23	0,79 (0,14)	0,49 (0,07)	0,00	1,39	17,03
Chilopoda	Classe	74 (11,3)	56 (10,47)	2 (1,6)	132	6,28	0,53 (0,09)	0,17 (0,03)	<0,01 (0,00)	0,81	9,93
Diplopoda	Classe	40 (8)	43 (10,41)	0	83	3,95	0,26 (0,12)	0,32 (0,08)	0,00	0,58	7,11
<i>Crustacea</i>											
Isopoda	Ordem	27 (9,6)	5 (2,4)	0	32	1,52	0,10 (0,05)	0,02 (0,02)	0,00	0,12	1,47
<i>Entognatha</i>											
Diplura	Ordem	38 (10,2)	19 (4,0)	0	57	2,71	0,04 (0,02)	0,01 (0,00)	0,00	0,05	0,61
<i>Arachnida*</i>		64 (11,2)	24 (6,0)	0	88	4,19	0,35 (0,14)	0,09 (0,08)	0,00	0,44	5,39
Aranae	Ordem	45 (9,5)	16 (4,8)	0	61	2,90	0,28 (0,14)	0,09 (0,08)	0,00	0,37	4,53
Opiliones	Ordem	6 (2,6)	0,00	0	6	0,29	<0,01 (0,00)	0,00	0,00	<0,01	<0,01
Pseudoscorpionida	Ordem	10 (4,3)	2 (1,6)	0	12	0,57	<0,01 (0,00)	<0,01 (0,00)	0,00	<0,01	<0,01
Schizomida	Ordem	3 (2,1)	6 (3,54)	0	9	0,43	0,07 (0,07)	<0,01 (0,00)	0,00	0,07	0,86
<i>Outros Invertebrados**</i>		19 (5,0)	13 (4,0)	15 (2,0)	47	2,24	0,06 (0,03)	0,05 (0,02)	0,18 (0,09)	0,28	3,43
Hymenoptera No-Formicidae (<i>Insecta</i>)	Ordem	3 (2,1)	3 (2,1)	0	6	0,29	<0,01 (0,00)	<0,01 (0,00)	0,00	<0,01	<0,01
Lepidoptera (<i>Insecta</i>)	Ordem	0	0	2 (1,6)	2	0,10	0,00	0,00	0,02 (0,02)	0,02	0,25
Blattodea (<i>Insecta</i>)	Ordem	2 (1,6)	6 (2,6)	0	8	0,38	<0,01 (0,00)	0,05 (0,025)	0,00	0,05	0,61
Orthoptera (<i>Insecta</i>)	Ordem	0	2 (1,6)	5 (2,4)	7	0,33	0,00	<0,01 (0,00)	0,16 (0,09)	0,16	1,96
Diptera (<i>Insecta</i>)	Ordem	2 (1,6)	0	2 (1,6)	4	0,19	<0,01	0,00	<0,01 (0,00)	<0,01	<0,01
Embioptera (<i>Insecta</i>)	Ordem	2 (1,6)	0	0	2	0,10	0,01 (0,01)	0,00	0,00	<0,01	<0,01
Psocoptera (<i>Insecta</i>)	Ordem	3 (2,1)	2 (1,6)	0	5	0,24	<0,01 (0,00)	<0,01 (0,00)	0,00	<0,01	<0,01

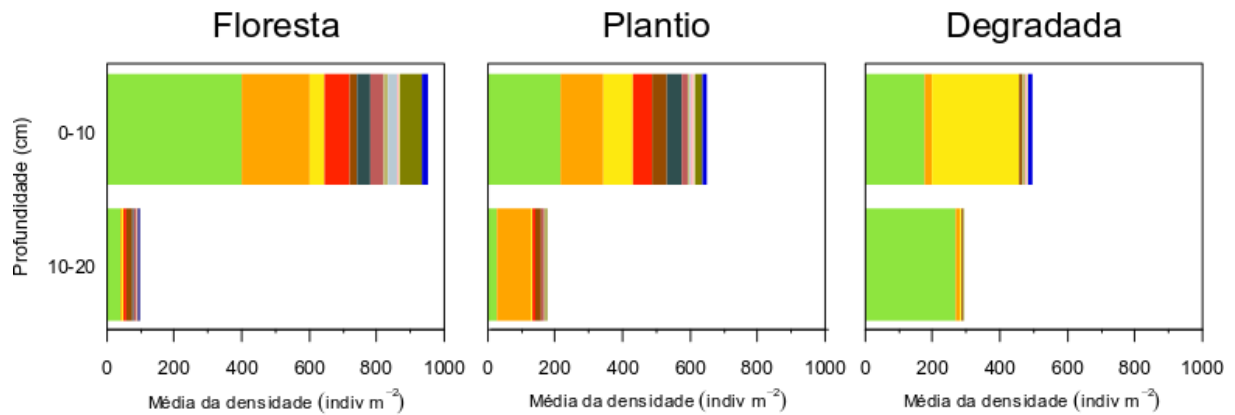
Heteroptera (<i>Insecta</i>)	Subordem	3 (3,2)	0	2 (1,6)	5	0,24	0,02 (0,02)	0,00	<0,01 (0,00)	0,02	0,25
Heteroptera Imaturo (<i>Insecta</i>)	Subordem	0	0	2 (1,6)	2	0,10	0,00	0,00	<0,01 (0,00)	<0,01	<0,01
Auchenorrhyncha (<i>Insecta</i>)	Subordem	0	0	2 (1,6)	2	0,10	0,00	0,00	<0,01 (0,00)	<0,01	<0,01
Auchenorrhyncha Imaturo (<i>Insecta</i>)	Subordem	2 (1,6)	0	0	2	0,10	<0,01	0,00	0,00	<0,01	<0,01
Gastropoda (<i>Mollusca</i>)	Classe	2 (1,6)	0	0	2	0,10	0,03 (0,03)	0,00	0,00	0,03	0,37
Total		952 (261,6)	650 (77,4)	500 (154,9)	2102	100,00	2,8 (0,60)	3,51 (0,91)	1,85 (1,04)	8,16	100,00
Riqueza acumulada		23	18	15	27						
Riqueza média		10a	9a	4b							
Diversidade (Shannon)		1,68a	1,72a	0,74b							
Equitabilidade (Pielou)		0,46a	0,48a	0,42a							
(b) 10 - 20 cm											
Táxon	Classificação taxonômica	Densidade					Biomassa				
		Floresta	Plantio	Degradada	Total	%	Floresta	Plantio	Degradada	Total	%
Annelida											
Oligochaeta	Subclasse	14 (6,1)	18 (5,5)	3 (3,2)	35	6,14	0,64 (0,31)	0,97 (0,84)	0,06 (0,06)	1,67	48,87
Insecta		54 (10,7)	134 (90,7)	290 (110,9)	478	83,86	0,21 (0,10)	0,30 (0,26)	0,34 (0,28)	0,84	24,58
Formicidae	Família	38 (8,0)	27 (17,7)	269 (102,8)	334	58,60	0,04 (0,03)	<0,01 (0,00)	0,06 (0,02)	0,10	2,93
Coleoptera	Ordem	5 (4,8)	2 (1,6)	5 (3,4)	12	2,11	<0,01 (0,00)	0,01 (0,01)	<0,01	0,01	0,29
Coleoptera Imaturo	Ordem	3 (2,3)	3 (2,1)	3 (3,2)	9	1,58	0,06 (0,04)	0,02 (0,02)	0,27 (0,27)	0,35	10,24
Isoptera	Infraordem	5 (3,4)	102 (90,6)	13 (11,1)	120	21,05	0,07 (0,05)	0,27 (0,26)	0,01 (0,01)	0,34	9,95
Lepidoptera Imaturo	Ordem	3 (2,1)	0	0	3	0,53	0,04 (0,04)	0	0	0,04	1,17
Diptera Imaturo	Ordem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Myriapoda		16 (4,8)	12 (4,2)	0	28	4,912	0,63 (0,55)	0,12 (0,07)	0	0,75	21,95
Chilopoda	Classe	11 (4,2)	10 (3,5)	0	21	3,68	0,06 (0,03)	0,07 (0,03)	0	0,13	3,80
Diplopoda	Classe	5 (2,4)	2 (1,6)	0	7	1,23	0,57 (0,56)	0,05 (0,05)	0	0,62	18,14
Crustacea											
Isopoda	Ordem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Entognatha											
Diplura	Ordem	10 (6,8)	6 (6,4)	0	16	2,81	0,01 (0,00)	<0,01 (0,00)	0	0,01	0,29
Arachnida		2 (1,6)	7 (3,5)	0	9	1,58	0,13 (0,12)	<0,01 (0,00)		0,13	3,80
Aranae	Ordem	2 (1,6)	5 (2,4)	0	7	1,23	0,13 (0,13)	<0,01 (0,00)	0	0,13	3,80
Opiliones	Ordem	0	2 (1,6)	0	2	0,35	0	<0,01 (0,00)	0	<0,01	<0,01
Pseudoscorpionida	Ordem	0	0	0	0	0,0	0	0	0	0	0,00
Schizomida	Ordem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
Outros Invertebrados*		4 (2,1)	0	0	4	0,7	0,02 (0,02)	0	0	0,02	0,51
Hymenoptera No-Formicidae (<i>Insecta</i>)	Ordem	2 (1,6)	0	0	2	0,35	0,02 (0,02)	0	0	0,02	0,51
Lepidoptera (<i>Insecta</i>)	Ordem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Blattodea (<i>Insecta</i>)	Ordem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Orthoptera (<i>Insecta</i>)	Ordem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diptera (<i>Insecta</i>)	Ordem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Embioptera (<i>Insecta</i>)	Ordem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Psocoptera (<i>Insecta</i>)	Ordem	2 (1,6)	0	0	2	0,35	<0,01 (0,00)	0	0	<0,01	<0,01
Heteroptera (<i>Insecta</i>)	Subordem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heteroptera Imaturo (<i>Insecta</i>)	Subordem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Auchenorrhyncha (<i>Insecta</i>)	Subordem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Auchenorrhyncha Imaturo (<i>Insecta</i>)	Subordem	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gastropoda (<i>Mollusca</i>)	Classe	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total		100 (21,4)	177 (98,8)	293 (128,2)	570	100,00	1,64 (1,05)	1,40 (0,95)	0,40 (0,32)	3,42	100,00
Riqueza acumulada		12	10	5	13	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Riqueza média		4a	3ab	2b	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Diversidade (Shannon)		1,02a	0,76a	0,22b	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Equitabilidade (Pielou)		0,63a	0,61a	0,66a	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

*Grupos com frequência relativa menor ou igual à 10 %, exceto Opilones, Pseudoscorpionida e Schizomida que foram incluídos na Classe Arachnida.

Valores entre colunas com letras diferentes correspondem a diferença significativa ($p > 0,05$) de acordo com o teste de Tukey.

(a) Densidade da Macrofauna



(b) Biomassa da Macrofauna

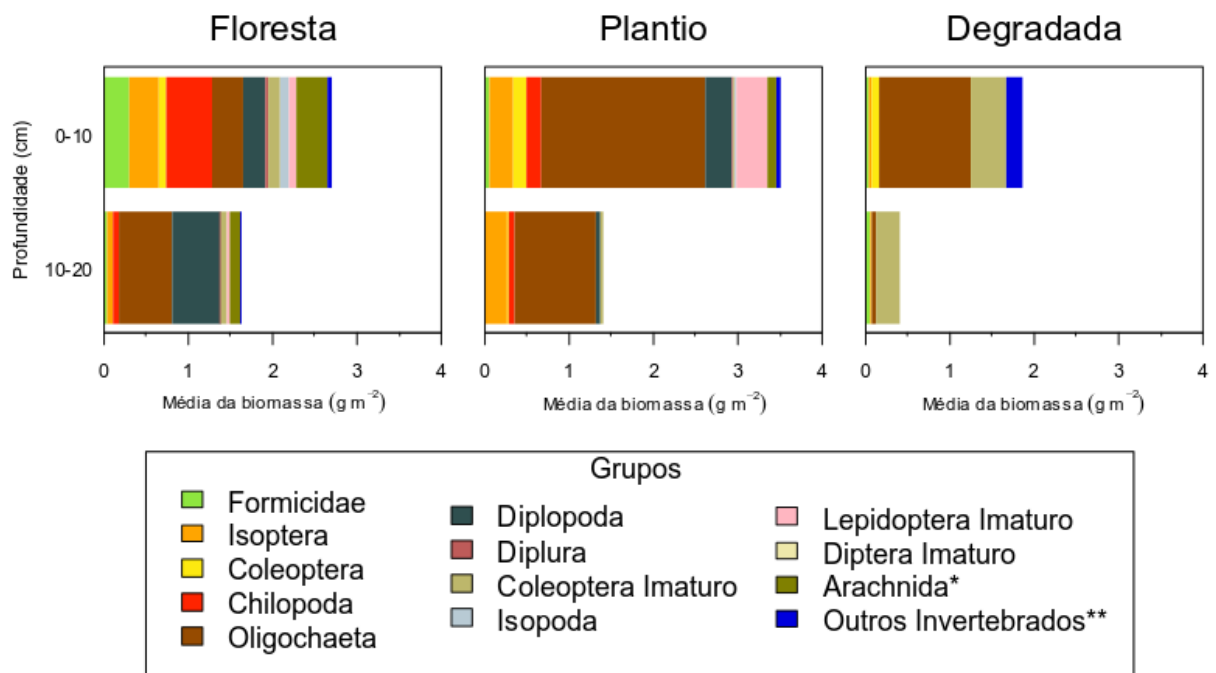


Figura 13. Média da densidade (indiv. m⁻²) e da biomassa (g m⁻²) dos grupos da macrofauna edáfica entre os sistemas de uso da terra (floresta, plantio e degradada) nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm, Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazonas (n = 10). *Representado pelos grupos: Aranae, Opiliones, Pseudoscorpionida e Schizomida. **Grupos com frequência relativa menor ou igual a 10 %, sendo estes: Hymenoptera No-Formicidae, Lepidoptera, Blattodea, Orthoptera, Diptera, Embioptera, Psocoptera, Heteroptera, Heteroptera Imaturo, Auchenorrhyncha, Auchenorrhyncha Imaturo e Gastropoda.

4.7. COMPOSIÇÃO DA MACROFAUNA EDÁFICA

A análise de PCoA que contempla a densidade da macrofauna edáfica presentes na profundidade de 0 - 10 cm captou 56,1% de toda a variação dos dados nos primeiros dois eixos (Figura 14a), sendo o primeiro eixo mais correlacionado a Formicidae (-0,92) e Isoptera (0,65) e o segundo eixo a Coleoptera (0,75) e Isoptera (-0,52). Foi constatado diferença entre os SUT na composição da macrofauna (0 - 10 cm) pela PERMANOVA ($df = 2$; Pseudo- $F = 4,76$; $p = 0,002$). O teste de comparação pareada de multinível detectou que a floresta e o plantio são semelhantes (p ajustado = 0,225) e a área degradada diferente da floresta (p ajustado = 0,003) e do plantio (p ajustado = 0,039).

As diferenças na composição da macrofauna entre os SUT em 0 - 10 cm (Floresta = Plantio $\neq$ Degradada) está relacionado principalmente a redução da densidade de cupins e ao aumento da população de besouros, assim como, pela diminuição da riqueza de grupos, decompositores (Diplopoda e Isopoda) e predadores (Arachnida, Diplura e Chilopoda), na área degradada quando comparada a floresta e ao plantio (Figuras 13a e 14a, Tabela 7a).

Na profundidade de 10 - 20 cm, a análise de PCoA com a composição da densidade da macrofauna edáfica, captou 56,5% de toda a variação nos dois primeiros eixos (Figura 14b), sendo que o primeiro eixo obteve maior correlação com Formicidae (-0,97) e Oligochaeta (0,56) e o segundo eixo com Isoptera (0,81) e Oligochaeta (-0,65). Mais uma vez, foi constatado diferença na composição da macrofauna (PERMANOVA) entre os SUT ($df = 2$; Pseudo- $F = 7,80$; $p < 0,001$). O teste de comparação pareada de multinível identificou que a floresta e o plantio são semelhantes (p ajustado = 0,312) e a área degradada diferente da floresta (p ajustado = 0,015) e do plantio (p ajustado = 0,003).

As diferenças entre os SUT na composição da macrofauna na profundidade de 10 - 20 cm (Floresta = Plantio $\neq$ Degradada) está associado a redução na densidade de minhocas e acréscimo na população de formigas, bem como, pela perda da riqueza de grupos, decompositores e predadores na área degradada quando comparado aos demais SUT (Figuras 13b e 14b, Tabela 7b).

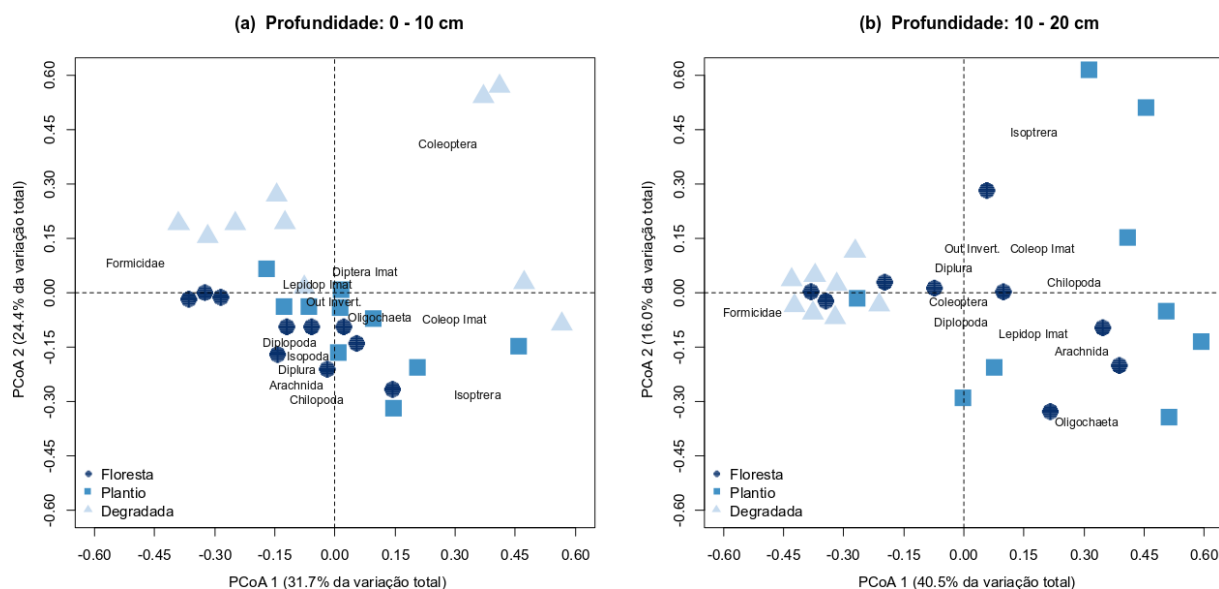


Figura 14. Análise de coordenadas principais (PCoA) da macrofauna edáfica entre os sistemas de uso da terra (floresta, plantio e degradada), Reserva Florestal Adolpho Ducke, Amazonas (n = 10). Profundidade de 0 - 10 cm (a); Profundidade de 10 - 20 cm (b). Nota: em quatro das parcelas, profundidade de 10 - 20 cm, não houve ocorrência de macroinvertebrados, sendo duas na área degradada e uma no plantio e na floresta.

4.8. RELAÇÃO ENTRE A MACROFAUNA EDÁFICA E OS ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICO DO SOLO

Das variáveis ambientais selecionadas (conjunto mínimo de dados) apenas a acidez potencial (H+Al) demonstrou relação com a composição da macrofauna, em ambas as profundidades (Tabela 1, Apêndice G). Da mesma forma, a distribuição da macrofauna também pode ser explicada por pH, K⁺, RP (0 - 10 cm) e pH, K⁺ e UG (10 - 20 cm), visto que estas variáveis apresentaram elevado *loading* (Tabela 1, Apêndice F) mas foram eliminadas por serem fortemente correlacionadas ($r > 0,60$; $p < 0,05$) com H+Al (Tabela 2, Apêndice F).

5. DISCUSSÃO

5.1. BIOMASSA DA MACROFAUNA: DECOMPOSIÇÃO DA SERRAPILHEIRA

A atividade da macrofauna do solo, em condições tropicais, é estimulada pelo manejo de serrapilheira, otimizado pela produção da biomassa (folhas, galhos e raízes), aumentando a variedade de recursos alimentares a estes organismos, importantes na conservação da fertilidade do solo (Lavelle et al., 1995).

A taxa de decomposição da serrapilheira foi indiretamente atribuída a diferença na composição da biomassa da macrofauna presente na serrapilheira (Figura 11b), densidade arbórea (Tabela 2) e cobertura do dossel (Tabela 5). Esperava-se uma maior quantidade de serrapilheira acumulada (Tabela 5) no plantio por ter maior densidade arbórea e cobertura do dossel, entretanto esses resultados não foram encontrados e podem ter relação com a composição da biomassa da macrofauna do plantio.

De forma geral, em florestas primárias e secundárias há uma maior produção e deposição de serrapilheira associada à sucessão florestal (tempo), entretanto, em áreas plantadas esse padrão é mais expressivo nos primeiros anos de estabelecimento da vegetação (Tabela 9). Plantios com idade mais avançada podem apresentar maior deposição e acúmulo de serrapilheira do que florestas (Tabela 9). Neste estudo, apesar do maior acúmulo de serrapilheira na floresta, não houve diferença significativa com o plantio (Tabelas 5 e 9).

Quando a vegetação é submetida as mesmas condições de clima e sítio, como nesse estudo, a deposição e o acúmulo de serrapilheira dependem das características das espécies como aspectos ecológicos (pioneira e clímax), densidade arbórea e cobertura do dossel (Ewel, 1976; Luizão, 1989; Lugo et al., 1990; Cuevas & Lugo, 1998; Celentano et al., 2011; Villa et al., 2016). Em plantios há maior adensamento dos indivíduos arbóreos, vegetação equiânea (baixa variação em idade) e dominância de determinada espécie arbórea quando comparado à florestas preservadas (Lugo et al., 1990; Cuevas & Lugo, 1998; Fernandes et al., 2006; Celentano et al., 2011; Camara et al., 2018; Correia et al. 2018). As semelhanças entre a serrapilheira acumulada na floresta e no plantio, deste estudo, podem ser atribuídas a maior velocidade de decomposição no plantio, pois, a composição da biomassa foi diferente entre os dois SUT.

Tabela 9. Serrapilheira produzida ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) e serrapilheira acumulada (Mg ha^{-1}) em florestas e plantios submetidas a condições tropicais e subtropicais.

Serrapilheira		Local	Tipo de Vegetação	Vegetação dominante	Idade (anos)	Referência
Produzida [↓]	Acumulada ^{↑↑}					
-	12,80	Brasil	Floresta Primária	Floresta Amazônica	Madura	Este estudo
-	7,93	Perú	Floresta Primária	Floresta Amazônica	Madura	Tapia-Coral et al. (2014)
9,00	-	Guatemala	Floresta Primária	Não especificado	Madura	Ewel (1976)
8,25	-	Brasil	Floresta Primária (platô)	Floresta Amazônica	Madura	Luizão (1989)
8,00	-	América do Sul	Floresta Primária	Floresta Tropical	Madura	Chave et al. (2010)
7,44	-	Brasil	Floresta Primária (baixo)	Floresta Amazônica	Madura	Luizão (1989)
-	6,96	Brasil	Floresta Secundária	Mata Atlântica	Estágio avançado	Camara et al. (2018)
8,60	-	Brasil	Floresta Secundária	Mata Atlântica	Estágio avançado	White et al. (2013)
7,63	-	Brasil	Floresta Secundária	Mata Atlântica	> 58	Fernandes et al. (2006)
-	6,78	Perú	Floresta Secundária	<i>Vismia</i> sp. e <i>Cecropia</i> sp.	16	Tapia-Coral et al. (2014)
7,29	-	Costa Rica	Floresta Secundária	Não especificado	7 – 9	Celentano et al. (2011)
6,07	-	Brasil	Floresta Secundária	<i>Cecropia</i> sp	3	Luizo & Schubart (1987)
-	8,84	Brasil	Floresta Secundária	Mata Atlântica	Estágio inicial	Camara et al. (2018)
4,45	7,47	Brasil	Floresta Secundária*	Floresta Amazônica	Estágio inicial	Correia et al. (2018)
9,06	-	Brasil	Plantio**	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	Estágio avançado	Fernandes et al. (2006)
9,20	-	Brasil	Plantio**	<i>Carapa guianensis</i>	Estágio avançado	Fernandes et al. (2006)
-	10,80	Brasil	Plantio**	<i>Carapa guianensis</i>	53	Este estudo
14,30	27,20	Porto Rico	Plantio	<i>Pinus caribaea</i> var. <i>hondurensis</i>	26	Cuevas & Lugo (1998); Lugo et al. (1990)
13,70	9,95	Porto Rico	Plantio	<i>Hibiscus elatus</i>	26	Cuevas & Lugo (1998); Lugo et al. (1990)
13,20	14,15	Porto Rico	Plantio	<i>Eucalyptus saligna</i>	25	Cuevas & Lugo (1998); Lugo et al. (1990)
11,40	23,90	Porto Rico	Plantio	<i>Pinus elliottii</i> var. <i>densa</i>	26	Cuevas & Lugo (1998); Lugo et al. (1990)
11,10	15,09	Porto Rico	Plantio	<i>Eucalyptus</i> cf. <i>patentinervis</i>	26	Cuevas & Lugo (1998); Lugo et al. (1990)
10,80	14,74	Porto Rico	Plantio	<i>Khaya nyasica</i>	26	Cuevas & Lugo (1998); Lugo et al. (1990)
9,80	11,93	Porto Rico	Plantio	<i>Swietenia macrophylla</i>	26	Cuevas & Lugo (1998); Lugo et al. (1990)
9,00	5,00	Porto Rico	Plantio	<i>Hernandia sonora</i>	26	Cuevas & Lugo (1998); Lugo et al. (1990)

8,10	14,21	Porto Rico	Plantio	<i>Anthocephalus chinensis</i>	26	Cuevas & Lugo (1998); Lugo et al. (1990)
9,20	5,40	Porto Rico	Plantio	<i>Terminalia ivorensis</i>	23	Cuevas & Lugo (1998); Lugo et al. (1990)
-	7,02	Perú	Plantio	<i>Simarouba amara</i>	16	Tapia-Coral et al. (2014)
-	5,69	Perú	Plantio	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	15	Tapia-Coral et al. (2014)
10,00	-	Guatemala	Plantio Misto	Pelo menos cinco espécies [#]	14	Ewel (1976)
5,60	10,4	Brasil	Plantio	<i>Swietenia macrophylla</i>	13	Correia et al. (2018)
4,59	7,58	Brasil	Plantio Misto	Quatro espécies ^{##}	13	Correia et al. (2018)
-	14,40	Porto Rico	Plantio	<i>Eucalyptus robusta</i>	9	Matthew & Zou (2002)
-	11,80	Porto Rico	Plantio	<i>Casuarina equisetifolia</i>	9	Matthew & Zou (2002)
-	11,50	Porto Rico	Plantio	<i>Leucaena leucocephala</i>	9	Matthew & Zou (2002)
8,00	-	Guatemala	Plantio Misto	Pelo menos cinco espécies ^{##}	9	Ewel (1976)
3,48	-	Brasil	Plantio Misto	44 espécies•	8	Villa et al. (2016)
2,86	-	Brasil	Plantio Misto	44 espécies•	7	Villa et al. (2016)
8,00	-	Guatemala	Plantio Misto	Pelo menos cinco espécies ^{##}	6	Ewel (1976)
2,74	-	Brasil	Plantio Misto	44 espécies•	6	Villa et al. (2016)
6,50	-	Guatemala	Plantio Misto	Pelo menos cinco espécies	5	Ewel (1976)
6,29	-	Costa Rica	Plantio Misto	Quatro espécies ^{##}	4	Celentano et al. (2011)
6,10	-	Guatemala	Plantio Misto	Pelo menos cinco espécies [#]	4	Ewel (1976)
5,80	-	Guatemala	Plantio Misto	Pelo menos cinco espécies [#]	3	Ewel (1976)
4,60	-	Guatemala	Plantio Misto	Pelo menos cinco espécies [#]	1	Ewel (1976)

[↓]Amostrada com litter traps: armadilhas suspensas; ^{↓↓}Amostrada com TSBF: quadrado de chão. *Enriquecido com *Swietenia macrophylla*; **Com regeneração natural espontânea; [#]*Heliconia latispata*, *Trema micranth*, *Cochlospermum vitifolium*, *Paspalum fasciculatum* e *Orbignya cohune*; ^{##}*Swietenia macrophylla*, *Toona ciliata*, *Khaya ivorensis* e *Azadirachta indica*; •Dominância: *Inga marginata*, *Melia azebarach*, *Chorisia speciosa*, *Acacia polyphylla* e *Psidium guajava*.

O acúmulo de serrapilheira depende da quantidade de material decíduo aportado sobre o solo e por sua taxa de decomposição (Lugo et al., 1990). A decomposição é regulada, principalmente pelas condições climáticas, quantidade e qualidade da serrapilheira, assim como pela natureza, abundância e biomassa dos organismos decompositores (Swift, 1979; Couteaux et al., 1995; Aerts, 1997; Bradford et al., 2002; Schmidt et al., 2008). As condições do solo e a atividade do sistema radicular também são importantes reguladores no processo de decomposição (Lavelle et al., 1993). Na floresta e no plantio, deste estudo, as principais características que podem estar relacionadas a decomposição são quantidade (depositada) e qualidade (dominância de *C. guianensis*) da serrapilheira e biomassa de macroinvertebrados decompositores.

A alta diversidade de espécies arbóreas em florestas tropicais proporciona a variação interespecífica na queda de folhas e consequente heterogeneidade espacial no chão das florestas devido à variação temporal e espacial no folhicho (Luizão & Schubart 1987). Isso aumenta a heterogeneidade de microhabitats e qualidade da serrapilheira, maior riqueza e/ou diversidade e eventualmente menor dominância de macroinvertebrados (Lavelle & Pashanasi, 1989; Barros et al., 2002; Tapia-Coral et al., 2012; Tapia-Coral et al., 2014). O que deve explicar os resultados encontrados na floresta primária, com maior riqueza (média e acumulada), diversidade e equitabilidade (uniformidade) dos grupos quando comparado ao plantio (Tabela 6).

Características físico-química da serrapilheira afetam diretamente a fauna do solo (Laossi et al., 2008; Korboulewsky et al., 2016). A dominância de espécies arbóreas, como de *C. guianensis* aumenta a similaridade das características físico-químicas da serrapilheira e consequentemente a densidade de determinado invertebrado do solo (Kamau et al., 2017). Isto é explicado pela maior disponibilidade de determinado recurso (homogeneidade da serrapilheira) e seleção de organismos adaptados ao seu consumo, aumentando a decomposição (Bardgett & Putten, 2014).

O efeito da dominância de *C. guianenses* na área de plantio induziu uma alta densidade de cupins (Tabela 6 e Figuras 10a e 11a) e composição da biomassa (Tabela 6 e Figuras 10b e 11b) quando comparado a floresta primária. A possível maior taxa de decomposição no plantio pode ser explicada pela dominância de cupins, grupo classificado funcionalmente como detritívoro. Os demais grupos que se relacionaram com a composição da biomassa, Lepidoptera em estágio Imaturo e “Outros invertebrados”, não são detritívoros e apresentaram

baixa densidade (15 indiv. m⁻²; Tabela 6), respectivamente, sendo assim, não participam efetivamente da decomposição.

Em solos tropicais, os cupins são os organismos mais abundantes e desempenham um importante papel no consumo, decomposição da serrapilheira e ciclagem de nutrientes (Wood & Sands, 1978; Eggleton et al., 1996, Jouquet et al., 2011). Alimentam-se essencialmente das folhas e da madeira presente na serrapilheira, consumindo em torno de 30 - 70 % desse material (Edwards, 1974; Lavelle et al., 1993). Associações simbióticas com a microflora presente em seu tubo digestivo permitem digerir uma maior variedade de materiais, até mesmo os que possuem baixa qualidade orgânica (Lavelle, 1997), como por exemplo os que são providos de *C. guianensis* (Dunisch et al., 2002).

A biomassa de cupins foi estimada em 2 g m⁻², representando cerca de 40 - 65 % da biomassa total da macrofauna em florestas de Terra Firme na Amazônia (Wood & Sands, 1978; Martius, 1994), resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho que foram de 2,11 g m⁻² e 51,09 % (Tabela 6), respectivamente. Uma maior densidade e biomassa associada ao grupo Isoptera também foi encontrada por Tapia-Coral et al. (1999) com macroinvertebrados da serrapilheira em outras áreas na Amazônia Central.

5.2. CONJUNTO MÍNIMO DE DADOS: ATRIBUTOS FÍSICO-QUÍMICO DO SOLO

Os valores da densidade do solo encontrados entre os SUT ($\geq 1,00$ Mg m⁻³; Tabela 7 e Figura 12a) estão relacionados com o elevado teor da fração argila (> 600 g kg⁻¹; Tabela 1), o que condiciona boa agregação, friabilidade e drenagem ao solo (Quesada et al., 2011). A maior densidade do solo na camada superficial da área degradada pode ser atribuída: (1) as características da vegetação (Tabela 1a e Apêndice C) como a baixa atividade do sistema radicular e ausência da serrapilheira (Braz et al., 2011; Viana et al., 2014), aspectos que reduzem o provimento de matéria orgânica e limitam o desenvolvimento das propriedades física do solo (Viana et al., 2014); (2) ao impacto direto da água da chuva e a maior dinâmica da umidade do solo, processos que favorecem a compactação (Imhoff et al., 2000; McDowell et al., 2001) e são intensificados com a abertura do dossel (Tabela 2); e (3) a menor atividade de macroinvertebrados (Tabela 8 e Figura 13), organismos responsáveis pela regulação da estrutura do solo (Barros et al., 2001).

O avançado estado de desenvolvimento pedogenético de solos tropicais, reflexo dos processos de intemperismo, resulta na liberação de quantidades insignificantes de nutrientes da fração mineral, o que torna esses solos pobres quimicamente, como em Ca, K e Mg (Chauvel et al., 1987; Quesada et al., 2010; Quesada et al., 2011). Fato este que explica as baixas concentração desses nutrientes encontrada nos SUT (Tabela 7).

Os minerais que dominam a fração argila (caulinita, óxidos de ferro e alumínio, goethita, hematita e gibsita) proporcionam alta capacidade de adsorção do P, condicionando baixos teores desse elemento no solo (Vitousek & Sanford, 1986; Quesada et al., 2011) como os resultados deste estudo (Tabela 7 e Figura 12b). A maior concentração de P disponível na área degradada comparada ao plantio, em 0 - 10 cm, pode está relacionado a maior solubilidade de fosfatos de Fe e Al com o acréscimo do pH (Quesada et al., 2010). Ao comparar a floresta e a área degradada, o P disponível permaneceu semelhante (Tabela 7 e Figura 12b), mesmo que a floresta apresente maior acidez no solo (Tabela 7) e menor solubilidade dos fosfatos, conforme citado anteriormente. Esses resultados podem ser melhor compreendidos quando observado a dinâmica do P entre a floresta e o plantio. Isto porquê Dunisch et al. (2002) encontraram balanço positivo (entrada) de P provido da decomposição da serrapilheira em uma floresta secundária enriquecida e balanço negativo (saída) associado a um plantio de *C. guianensis* na Amazônia Central.

A composição mineral da fração argila, em solos tropicais, promove, ainda, altos teores de Fe e Al (Quesada et al., 2010; Quesada et al., 2011). Os mesmos autores, também relacionam a acidez do solo com a concentração de Al no solo. O que pode explica a elevada concentração de Fe e Al, assim como, os valores de pH e H+Al, indicativos da acidez do solo, nos SUT estudados (Tabela 7 e Figura 12). Diferenças entre os SUT para essas variáveis podem ser atribuídas à prática de corte e queima (plantio e área degradada). Devido a influência das cinzas remanescentes afetar fortemente o pH pela adição de bases trocáveis nos primeiros anos (Nye & Greenland, 1964; Ewel et al., 1981) e o efeito do pH permanecer mesmo com a redução de bases trocáveis após 81 anos à prática de corte e queima (Moraes et al., 1996).

Em aproximadamente 50 anos à remoção da vegetação, as variáveis indicativas de acidez do solo (pH, Al^{3+} e H+Al) são menos expressivas na área degradada. Provavelmente associado a ausência de serrapilheira na área degradada que contém a produção de ácidos orgânicos provenientes da decomposição e a acidificação do solo (Sayer, 2006). Além disto, uma das principais causas da acidificação do solo é a concentração de CO_2 , precursor do ácido

carbônico (Johnson et al., 1977), intensificado com a respiração das raízes e microbiota da rizosfera (Hinsinger et al., 2003)

O Zn pode ser influenciado pela mineralogia da fração argila, conteúdo de oxihidróxido, pH, matéria orgânica e capacidade de troca catiônica do solo (McBride, 1979; Adriano, 1986). Entretanto, nenhuma dessas variáveis parece afetar as concentrações de Zn, pois, o pH, MOS e t não apresentaram correlação ($r > 0,6$ e $p < 0,05$; Tabela 2, Apêndice F) com o Zn e a composição mineralógica do solo não deve ter grande variação devido à proximidade dos SUT.

5.3. MACROFAUNA EDÁFICA

A densidade da macrofauna amostrada nas duas profundidades (891 indiv. m^{-2}), deste trabalho, estão dentro do intervalo de 136 - 11.560 indiv. m^{-2} para regiões tropicais, considerando diversos SUT e mesmo método de coleta (Pauli et al., 2011). Quanto a biomassa (3,86 g m^{-2}), foram encontrados valores abaixo do intervalo de 6,9 - 61,9 g m^{-2} , indicado por esses autores.

A baixa densidade de Oligochaeta (36 indiv. m^{-2} ; 4,83 %; nas duas profundidades) pode explicar os valores de biomassa deste estudo, visto que esses organismos são os macroinvertebrados dominantes ($> 70\%$) em termos de biomassa (Brown et al., 2004; Decaëns, et al., 2004; Pauli et al., 2011). Apesar de baixos valores de biomassa de minhocas afetar a ciclagem de nutrientes e a estruturação do solo (Brown et al., 2001), a atividade biológica do sistema radicular e de outros macroinvertebrados também podem atuar neste mesmo sentido (Lavelle et al., 1993; Lavelle et al., 2006). Para inferências mais específicas, destaca-se a importância de se avaliar a distribuição sazonal das minhocas, ainda que uma maior densidade esteja relacionada a estação chuvosa (Brown et al., 2004), período de coleta deste estudo.

A redução da riqueza e diversidade de grupos taxonômicos e da ocorrência dos grupos decompositores e predadores (Figuras 13a e 14, Tabela 8), que ocorre no solo da área degradada, pode ter relação com a ausência da serrapilheira, o que resulta: (1) em condições microclimáticas (temperatura e umidade) desfavoráveis ao desenvolvimento e colonização das camadas superficiais do solo (Barros et al. 2003; Kamau et al., 2017), assim como, (2) na perda dos meso e macroinvertebrados que vivem e se alimentam na serrapilheira (decompositores) e como consequência, (3) na perda dos predadores (Tapia-Coral et al., 1999; Barros et al., 2004; Rousseau et al., 2014).

5.4. ACIDEZ DO SOLO E COMPOSIÇÃO DA MACROFAUNA EDÁFICA

Na Amazônia, os solos são predominantemente ácidos, devido ao avançado estágio pedogenético (Quesada et al., 2010; Quesada et al., 2011), o que resulta em uma fauna do solo tolerante, que pode ser abundante e ativa nesses ecossistemas (Lavelle et al., 1995). Apesar da acidez do solo representar a principal fonte de variação da macrofauna nos SUT estudados, a composição desses organismos parece ter maior dependência do provimento da serrapilheira. Pelo fornecimento de habitat, temperatura e umidade favoráveis ao desenvolvimento desses organismos (Barros et al., 2004; Pauli et al., 2011; Kamau et al., 2017).

O padrão de distribuição da macrofauna edáfica, nos SUTs estudados, é explicado pela acidez potencial (H^+Al ; Tabela 1, Apêndice G). Os organismos do solo que majoritariamente contribuíram com a ordenação da densidade (Figura 14), são afetados por variações na acidez do solo. Mboukou-Kimbatsa et al. (1998) e Franco et al. (2016) encontraram um padrão semelhante relacionado ao pH do solo, ou seja, quanto maior o pH menor a abundância da macrofauna.

A relação negativa entre a abundância da macrofauna e o pH do solo encontrado por Franco et al. (2016) foi associado ao manejo do solo (aplicação de calcário), enquanto que Mboukou-Kimbatsa et al. (1998) associaram a razões ecológicas como o aumento das espécies florestais com a redução do pH do solo. Neste estudo, a relação do pH com a composição da macrofauna, também pode ser associada à vegetação, principalmente, ao aporte da serrapilheira.

A distribuição dos grupos da fauna do solo depende de variações do pH, principalmente a abundância de minhocas por normalmente estabelecer uma forte correlação positiva com o pH (Swift et al., 1979). Entretanto, neste trabalho, a densidade de minhocas (10 - 20 cm) teve relação negativa com o pH. O que pode ser atribuído a correlação negativa entre o pH e a umidade do solo ($r = -0,687$ e $p = 0,002$; Tabela 2b, Apêndice F), visto que esses organismos são altamente dependentes da umidade do solo (Pauli et al., 2011; Vasconcellos et al., 2013).

5.5. RESTAURAÇÃO DO PLANTIO

A semelhança de riqueza, diversidade, equitabilidade e composição da macrofauna do solo da floresta e do plantio (Tabela 8; Figuras 13a e 14), e de muitos atributos físico-químico do solo (Tabela 7; Figura 1, Apêndice F) evidenciam o reestabelecimento de importantes

serviços ecossistêmicos após 53 anos de restauração florestal, mesmo com a dominância de uma espécie arbórea ($d = 0,61$; Tabela 2).

Diferenças na composição de determinado organismo, ocorrem ao longo da restauração vegetal (Negrete-Yankelevich et al., 2007; Vasconcellos et al., 2013; Amazonasa et al., 2017), portanto a macrofauna são considerados indicadores da qualidade do solo (Rousseau et al., 2012; Rousseau et al., 2013; Vasconcellos et al., 2013), além de contribuir com os serviços ecossistêmicos (Lavelle et al., 1993; Hoffer et al. 2001; Barros et al., 2004). Apesar da floresta e do plantio diferirem em determinado grupo taxonômico (solo), neste estudo, a restauração ecológica do plantio foi atribuída ao principal padrão da distribuição da macrofauna (invertebrados dominantes; PCoA) e aos índices de medida ecológica. Esse critério foi adotado devido a limitações do método de coleta (TSBF), como a frequente e/ou escassa agregação da população de macroinvertebrados (Brown et al., 2004) e ocorrência de táxons raros (Rossi et al., 2010) associados a amostragem.

Estudos anteriores sugerem que a macrofauna da serrapilheira se recuperam mais rapidamente do que os do solo (Negrete-Yankelevich et al., 2007), contrariando os resultados deste trabalho. Quanto a macrofauna da floresta e do plantio, uma maior riqueza, diversidade e equitabilidade foi atribuída à serrapilheira da floresta (Tabela 6; Figura 10a), enquanto que no solo, estes parâmetros foram iguais (Tabela 8; Figura 13a). Fato que deve está relacionado com a alta dominância de *C. guianensis* no plantio, pois, Negrete-Yankelevich et al. (2007) estudaram sucessões florestais sem expressiva dominância de espécie arbórea.

Os resultados deste trabalho confirmam outros estudos em que o reestabelecimento da vegetação e do aporte da serrapilheira podem restaurar e conservar a assembleia da macrofauna (Hoffer et al., 2001; Negrete-Yankelevich et al., 2007; Amazonasa et al., 2017), ainda que a dominância de espécie arbórea induza diferenças nos organismos da serrapilheira, como foi encontrado neste estudo.

6. CONCLUSÕES

I. Não foi constatado diferença no aporte da serrapilheira entre a floresta e o plantio. A dominância arbórea de *Carapa guianensis* induziu variações na riqueza, diversidade, equitabilidade e composição da biomassa da macrofauna da serrapilheira. No plantio, a dominância de cupins (densidade e biomassa) deve indicar um aumento nas taxas de decomposição e explicar a similaridade do aporte da serrapilheira;

II. As variações quantitativas do aporte da serrapilheira, induzidas pelos SUT, não estão relacionadas com a composição (densidade e biomassa) da macrofauna presente na serrapilheira;

III. O Al^{3+} , Ca^{2+} , Fe, Zn, P_{disp} , densidade do solo e acidez potencial são os principais atributos físico-químico do solo que representam às mudanças do uso da terra. O reestabelecimento da vegetação, mesmo que com a dominância de uma espécie arbórea, restaura e conserva a assembleia da macrofauna (exclusivamente) do solo.

IV. A distribuição da macrofauna edáfica pode ser associada a variações nas concentrações da acidez potencial. Contudo, fatores como: habitat, temperatura e umidade, provido pela serrapilheira, favorecem a riqueza e diversidade da macrofauna e ocorrência dos grupos predadores e decompositores.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Aliado a análise quantitativa da serrapilheira, recomenda-se a determinação da qualidade da serrapilheira, para explicar a distribuição da macrofauna, os atributos físico-químico do solo e o efeito da dominância de espécies arbóreas, em particular, *Carapa guianensis*.

Estudos incluindo a dominância de outras espécies arbóreas com diferentes idades de estabelecimento, em solos tropicais, são necessários para maiores generalizações sobre o aporte da serrapilheira, os atributos físico-químico do solo e a assembleia da macrofauna.

Para uma análise mais refinada da assembleia da macrofauna, recomenda-se, (1) abordar a distribuição sazonal, (2) incluir armadilhas de interceptação e queda (*pitfall traps*), complementar às coletas pelo método TSBF e (3) identificar, quando possível, em um menor nível taxonômico.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achard, F., Eva, H.D., Stibig, H.-J., Mayaux, P., Gallego, J., Richards, T., Malingreau, J.-P. 2002. Determination of deforestation rates of the world's humid tropical forests. *Science*. 297, 999-1002 p.
- Adriano, D.C. 1986. Trace Elements in the Terrestrial Environment. Springer-Verlag, New York.
- Aerts, R. 1997. Climate, leaf litter chemistry and leaf litter decomposition in terrestrial ecosystems: a triangular relationship. *Oikos* 79, 439-449 p.
- Amazonasa, N.T., Vianib, R. A. G., Regob, M. G. A., Camargoc, F. F., Fujiharab, R. T., Valsechib, O. A. 2017. Soil macrofauna density and diversity across a chronosequence of tropical forest restoration in Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Bioogy. Electronic Publication*.
- Anderson, J.M., Ingram, J.S.I., 1993. Tropical Soil Biology and Fertility: A Handbook of Methods. CAB International, Wallingford.
- Andrews, S.S., Mitchell, J.P., Mancinelli, R., Karlen, D.L., Hartz, T.K., Horwath, W.R., Pettygrove, G.S., Scow, K.M., and Munk, D.S. 2002. On-Farm Assessment of Soil Quality in California's Central Valley. *Agronomy Journal*. 94: 12-23 p.
- Bardgett, R.D. & Putten, W.H. van der. 2014. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. *Nature*. 515, 505-511 p.
- Barros, E., Curmi, P., Hallaire, V., Chauvel, A., Lavelle, P., 2001. The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an Oxisol in the process of forest to pasture conversion. *Geoderma* 100, 193-213 p.
- Barros, E., Grimaldi, M., Sarrazin, M., Chauvel, A., Mitja, D., Desjardins, T., Lavelle, P., 2004. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. *Applied Soil Ecology*. 26, 157- 168 p.
- Barros, E., Neves, A., Blanchart, E., Fernandes, E.C., Wandelli, E., Lavelle, P. 2003. Development of the soil macrofauna community under silvopastoral and agrosilvicultural systems in Amazonia. *Pedobiologia*. 47, 273-280 p.
- Barros, E., Pashanasi, B., Constantino, R., Lavelle, P., 2002. Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biology and Fertility of Soils*. 35, 338-347 p.
- Beare, M.H., Coleman Jr., D.C., Crossley, D.A., Hendrix, P.F., Odum, E.P., 1995. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant and Soil*. 170 (1), 5-22 p.
- Béliveau, A., Davidson, R., Lucotte, M., Lopes, L.O.C., Paquet, S., Vasseur, C. 2015. Early effects of slash-and-burn cultivation on soil physicochemical properties of small-scale farms in the Tapajés region, Brazilian Amazon. *Journal of Agricultural Science* 153, 205–221 p.

- Böhm, W. 1979. Methods of studying root system. Berlin, Springer-Verlag, 188 p.
- Bradford, M.A., Tordof, G.M., Eggers, T., Jones, H., Newington, J.E. 2002. Microbiota, fauna, and mesh size interaction in litter decomposition. *Oikos*. 99, 317-323 p.
- Braz, A.M.S., Fernandes, A.R., Alleoni, L.R.F. 2011. Soil attributes after the conversion from forest to pasture in Amazon. *Land Degradation & Development*. 24,33-38 p.
- Brown, G.G., Fragoso, C., Barois, I., Rojas, P., Patrón, J.C., Bueno, J., Moreno, A.G., Lavelle, P., Ordaz, V., Rodríguez, C., 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. *Acta Zoológica Mexicana*. No. spec. 1, 79-110 p.
- Brown, G.G., Moreno, A.G., Barois, I., Fragoso, C., Rojas, P., Hernández, B., Patrón, J.C., 2004. Soil macrofauna in SE Mexican pastures and the effect of conversion from native to introduced pastures. *Agriculture Ecosystems & Environmental*. 103, 313-327 p.
- Brusca, R.C. & Brusca, G.J. 2007. Invertebrados. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, 968 p.
- Camara, R., Santos, G.L., Pereira¹, M.G., Silva¹, C.F, Silva¹, V.F.V., Silva, R.M. 2018. Effects of Natural Atlantic Forest Regeneration on Soil Fauna, Brazil. *Floresta e Ambiente*. 25(1), e20160017.
- Cardinale, B.J., Duffy, J.E., Gonzalez, A., Hooper, D.U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G.M., Tilman, D., Wardle, D.A., Kinzig, A.P., Daily, G.C., Loreau, M., Grace, J.B., Larigauderie, A., Srivastava, D.S., Naeem, S. 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*. 486, 59-67 p.
- Celentano, D., Zahawi, R.A., Finegan, B., Ostertag, R., Cole, R.J., Holl, K.D., 2011. Litterfall dynamics under different tropical forest restoration strategies. *Biotropica* 43, 279-287 p.
- Chauvel, A., Lucas, Y., Boulet, R., 1987. On the genesis of the soil mantle of the region of Manaus, Central Amazonia, Brazil. *Experientia*. 43, 234-240 p.
- Chave, J., Navarrete, D., Almeida, S., Álvarez, E., Aragão, L. E. O. C., Bonal, D., Châtelet, P., Silva Espejo, J., Goret, J.-Y., von Hildebrand, P., Jiménez, E., Patiño, S., Peñuela, M. C., Phillips, O. L., Stevenson, P., and Malhi, Y. 2010. Regional and temporal patterns of litter fall in tropical South America. *Biogeosciences*. 6, 7565-7597 p.
- Chazdon, R.L. 2008. Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands. *Science*. 320, 1458-1460 p.
- Cherubin, M.R., Karlen, D.L., Franco, A.L.C., Tormena, C.A., Cerri, C.E.P., Davies, C.A., Cerri, C.C., 2016. Soil physical quality response to sugarcane expansion in Brazil. *Geoderma* 267, 156-168 p.
- Correia, R.G., Martins, W.B.R., Oliveira, F.A., Dionisio, L.F.S., Neves, R.L.P., Batista, T. F.V. Production and decomposition of litter in different mahogany (*Swietenia macrophylla* King) cropping systems. *Brazilian Journal of Wood Science*. 9(2), 103-110 p.

Couteaux, M., Bottner, P., Berj, B. 1995. Litter decomposition climate and litter quality. *European Journal of Soil Biology*. 10, 63-66 p.

Cuevas, E., Lugo, A.E., 1998. Dynamics of organic matter and nutrient return from litter fall in stands of ten tropical tree plantation species. *Forest Ecology and Management*. 112, 263-279 p.

Daily, G.C., Alexander, S., Ehrlich, P.R., Goulder, L., Lubchenko, J., Matson, P.A., Moony, H.A., Postel, S., Schneider, S.H., Tilman, D., Woodwell, G.M., 1997. Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues Ecology* 2. 1-18 p.

Decaëns, T. 2010. Macroecological patterns in soil communities. *Global Ecology and Biogeography* 19, 287-302 p.

Decaëns, T., Jiménez, J., Barros, E., Chauvel, A., Blanchart, E., Fragoso, C., Lavelle, P., 2004. Soil macrofaunal communities in permanent pastures derived from tropical forest or savanna. *Agriculture Ecosystems & Environmental*. 103, 301-312 p.

Decaëns, T., Lavelle, P., Jimenez, J.J., Escobar, G., Rippstein, G., 1994. Impact of land management on soil macrofauna in the Oriental Llanos of Colombia. *European Journal of Soil Biology*. 30, 157-168 p.

Dionísio, J. A., Pimentel, I. C., Signer, D., de Paula, A. M., Marcela, A., Mattana, A. L. 2016. Guia prático de biologia do Solo. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo - SBCS. Núcleo Estadual do Paraná. 152 p.

Dirzo, R. & Raven, P.H. 2003. Global state of biodiversity and loss. *Annual Review of Environment and Resources*. 28, 137-167 p.

Dunisch, O., Erbreich, M., Eilers, T. 2002. Nutrient fluxes and growth of *C. guianensis* Aubl. in two plantation systems in the central Amazon. *Forest Ecology and Management*. 166, 55-68 p.

Duntelman G. H. 1989. Principal components analysis: Sage.

Edwards, C.A. 1974. Macroarthropods. Biology of plant litter decomposition. London, Academic Press, vol. 2, 533-554 p.

Eggleton, P., Bignell, D.E., Sands, W.A., Mawdsley, N.A., Lawton, J.H., Wood, T.G., Bignell, N.C. 1996. The Diversity, Abundance and Biomass of Termites under Reserve, Southern Cameroon Differing Levels of Disturbance in the Mbalmayo Forest. *Philosophical Transactions of Royal Society*. B 351, 51-68 p.

Eisenbeis, G., Wichard, W. 1987. Atlas on the Biology of Soil Arthropods: Springer-Verlag. Berlin, Heidelberg.

Embrapa. 1997. Manual de Métodos de Análises de Solo. Centro Nacional de Pesquisas de Solos – CNPS. Rio de Janeiro. 212 p.

Ewel, J., Berish, C., Brown, B., Price, N. 1981. Slash and burn impacts on a Costa Rica wet forest site. *Ecology*. 62, 816-829 p.

Ewel, J.J. 1976. Litterfall and leaf decomposition in a tropical forest succession in eastern Guatemala. *Journal of Ecology*. 64, 293-308 p.

Fernandes, M.M., Pereira, M.G., Magalhães, L.M. S., Cruz, A. R., Giácomo, R.G. 2006. Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de floresta secundária, plantio de Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) e Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) na FLONA Mário Xavier, RJ. *Ciência Florestal*, Santa Maria. 16(2), 163-175 p.

Foley, J., Asner, G.P., Costa, M.H., Coe, M.T., Fries, R., Gibbs, H.K, Howard, E. A., Olson, S., Patz, J., Ramankutty, N., Snyder, P. 2007. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 5, 25-32 p.

Franco, A.L.C., Bartz M.L.C., Cherubin M.R., Baretta D., Cerri C.E.P., Feigl B.J., Wall D.H., Davies C.A., Cerri C.C. 2016. Loss of soil (macro)fauna due to the expansion of Brazilian sugarcane acreage. *Science of the Total Environment*. 563-564, 160-168 p.

Gholami, S., Sheikhmohamadi, B., Sayad, E. 2017. Spatial relationship between soil macrofauna biodiversity and trees in Zagros forests, Iran. *Catena*. 159, 1-8 p.

Giardina, C.P, Sanford, R.L, Dockersmith, I.C., Jaramillo, V.J. 2000. The effects of slash and burning on ecosystem nutrients during land preparation phase of shifting cultivation. *Plant and Soil*. 220, 247-260 p.

Hinsinger, P., Plassard, C., Tang, C., Jaillard, B.T. 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: a review. *Plant Soil*. 248, 43-59 p.

Hopkins, M.J.G. 2005. Flora da Reserva Ducke, Amazonas, Brasil. *Rodriguésia* 56, 9-25 p.

Hoffer H, Hanagarth W, Garcia M, Martius C, Franklin E, Rombke J., Beck, L. 2001. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. *European Journal of Soil Biology*. 37, 229-235p.

Imhoff S., Silva A.P., Tormena C.A. 2000. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília 35, 1493-1500 p.

Jax, K. 2005. Function and “functioning” in ecology: what does it mean? *Oikos*. 111, 641-648 p.

Jolliffe I. 2005. Principal component analysis: Wiley Online Library.

Johnson, D.W., Cole, D.W., Gessel, S.P., Singer, M.J., Minden, R.V. 1977 Carbonic Acid Leaching in A Tropical, Temperate, Subalpine, and Northern Forest Soil. *Arctic and Alpine Research*. 9(4), 329-343 p.

- Jouquet, P., Traore, S., Choosai, C., Hartmann, C., Bignell, D. 2011. Influence of termites on ecosystem functioning. Ecosystem services provided by termites. *European Journal of Soil Biology*. 47(4), 215-222 p.
- Kaiser, H. F. 1960. The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*. 20, 141-151 p.
- Kamau, S., Barrios, E., Karanja, N.K., Ayuke, F.O., Lehmann, J., 2017. Soil macrofauna abundance under dominant tree species increases along a soil degradation gradient. *European Journal of Soil Biology*. 112, 35-46 p.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E., 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. *Soil Science Society of America Journal*. 61, 4-10 p.
- Kevan, DKMcE, 1968. Soil animals. Gateshead on Tyne. Northumberland Press, UK. Wallingford, 285-307 p.
- Korboulewsky, N.B., Perez, G., Chauvat, M. 2016. How tree diversity affects soil fauna diversity: a review. *Soil Biology and Biochemistry*. 94, 94-106 p.
- Laossi, K.R., Barot, S., Carvalho, D., Desjardins, T., Lavelle, P., Martins, M., Mitja, D., Rendeiro, A.C., Rousseau, G., Sarrazin, M., Velasquez, E., Grimaldi, M. 2008. Effects of plant diversity on plant biomass production and soil macrofauna in Amazonian pastures. *Pedobiologia (Jena)*. 51, 397-407 p.
- Larson, W.E., Pierce, F.J., 1994. The dynamics of soil quality as a measure of Sustainable Management. In: Pankhurst, C., Doube, B.M., Gupta, V.V.S.R. (Eds.), *Biological Indicators of Soil Health*. CAB International, Wallingford, UK. 1-23 p.
- Lavelle, P. & Spain, A.V. 2006. *Soil ecology*. Kluwer Scientific Publications. Amsterdam, The Netherlands, 651 p.
- Lavelle, P. 2002. Functional domains in soils, *Ecological Research*. 17, 441-450 p.
- Lavelle, P., 1997. Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research*. 27, 93-132 p.
- Lavelle, P., Blanchart, E., Martin, A., Spain, A., Toutain, F., Barois, I. and Schaefer, R. 1993. A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems: application to soils in the humid tropics. *Biotropica*. 25 (2), 130-150 p.
- Lavelle, P., Chauvel, A., Fragoso, C., 1995. Faunal activity in acid soils. In: Date, R.A., (Ed.), *Plant Soil Interactions at Low pH*, Kluwer Academic, Dordrecht. 201-211 p.
- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., Rossi, J.-P. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*. 42, S3-S15.

Lavelle, P., Pashanasi, B., 1989. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). *Pedobiologia*. 33, 283-291 p.

Lavelle, P., Rodriguez, N., Arguello, O., Bernal, J., Botero, C., Chaparro, P., Gómez, Y., Gutiérrez, A., Hurtado, M.P., Loaiza, S., Pullido, S. X., Rodríguez, E., Sanabria, C., Velásquez, E., Fonte, S. J. 2014. Soil ecosystem services and land use in the rapidly changing Orinoco River basin of Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 185, 106-117 p.

Lugo, A.E., Cuevas, E., Sanchez, M.J. 1990. Nutrients and mass in litter and top soil of ten tropical tree plantations. *Plant Soil*. 125, 263-280 p.

Luizão, F. J.; Schubart, H.O.R. 1987. Litter production and decomposition in a terra-firme forest of Central Amazonia. *Experientia*. 43, 259-265 p.

Luizão, F.J. 1989. Litter production and mineral element input to the forest floor in a Central Amazonian forest. *GeoJournal*. 19, 407-417 p.

Maggenti, M.A., Maggenti, A.R., Gardner, S.L., 2005. Online Dictionary of nvertebrate Zoology. Disponível em: <<http://digitalcommons.unl.edu/onlinedictinvertzoolo>>. Acessado em: 10/04/18.

Margulis, S. 2004. Causes of Deforestation of the Brazilian Amazon. World Bank Working Paper no 22. Washington, DC: The World Bank.

Marichal, R., Grimaldi M., Feijoo M.c A., Oszwaldd J., Praxedese C., Coboc D. H. R., Hurtado M. P., Desjardinsb T., Junior M. L. S., Costag L. G. S., Mirandag I. S., Oliveirag M. N. D., Brownh G. G., Tsélouikoa S., Martinse M. B., Decaënsi T., Velasquezj E., Lavellea P., 2014. Soil macroinvertebrate communities and ecosystem services in deforested landscapes of Amazonia. *Applied Soil Ecology* 83, 177-185 p.

Marques-Filho A.O., Ribeiro M.N.G., Santos J.M. 1981. Estudos climatológicos da Reserva Florestal Ducke, Manaus, AM. IV–Precipitação. *Acta Amazonica*. 4, 759-768 p.

Martius, C. 1994. Diversity and ecology of termites in Amazonian forest. *Pedobiology* 38, 407-428 p.

Mathieu, J., Grimaldi, M., Jouquet, P., Rouland, C., Lavelle, P., Desjardins, T., Rossi, J.P., 2009. Spatial patterns of grasses influence soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. *Soil Biology & Biochemistry*. 41, 586-593 p.

Mathieu, J., Rossi, J.P., Mora, P., Lavelle, P., Martins, P.F.D.S., Rouland, C., Grimaldi, M., 2005. Recovery of soil macrofauna communities after forest clearance in Eastern Amazonia, Brazil. *Conservation Biology*. 19, 1598-1605 p.

Mboukou-Kimbatsa, I.M.C, Bernhard-Reversat, F., Loumeto, J.J. 1998. Change in soil macrofauna and vegetation when fastgrowing trees are planted on savanna soils. *Forest Ecology and Management*. 110, 1-12 p.

- McBride, M.B. & Blasiak, J.J. 1979. Zinc and copper solubility as a function of pH in an acid soil. *Soil Science Society of America Journal*, 43, 866-870 p.
- Mcdowell R.W., Sharpley A.N., Condron L.M., Haygarth P.M., Brookes P.C. 2001. Processes controlling soil phosphorus release to runoff and implications for agricultural management. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 59, 269-284 p.
- McGrath, D.A., Smith, K.C., Gholz, H.L., Oliveira, F.A. 2001. Effects of land-use change on soil nutrient dynamics in Amazônia. *Ecosystems*. 4, 625-646 p.
- McKell C.M., Wilson A.M., Jones M.B. 1961. A flotation method for easy separation of roots from soil samples. *Agronomy Journal*. 253, 56-57 p.
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA). 2005. *Ecosystems and Human Well-being: General Synthesis*. Millennium Ecosystem Assessment series. Island Press, 160 p.
- Moraes, J.F.L., Volkoff, B., Cerri, C.C., Bernoux, M. 1996. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondonia, Brazil. *Geoderma*. 70, 63-81p.
- Moreira, A., Almeida, M.P., Costa, D.G., Santos, L.S. 2004. Acidez potencial pelo método do pH SMP no Estado do Amazonas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 39, 89-92 p.
- Moreira, A. & Fageria, N. K. 2009. Soil Chemical Attributes of Amazonas State, Brazil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 40, 2912-2925 p.
- Moreira, F.M.S., Huising, E.J., Bignell, D., 2008. *A Handbook of Tropical Soil Biology: Sampling and Characterization of Below-ground Biodiversity*. Earthscan, London.
- Mukherjee, A. & Lal, R. 2014. Comparison of soil quality index using three methods. *PLoS One*. 9, 1–15p.
- Negrete-Yankelevich, S., Fragoso, C., Newton, A.C., Heal, O.W. 2007. Successional changes in soil, litter and macroinvertebrate parameters following selective logging in a Mexican Cloud Forest *Applied Soil Ecology*. 35(2), 340-355 p.
- Neill, C., Piccolo, M.P., Cerri, C.C., Steudler, P.A., Melillo, J.M., Brito, M., 1997. Net nitrogen mineralization and net nitrification rates in soils following deforestation for pasture across the southwestern Brazilian Amazon Basin landscape. *Oecologia*. 110, 243-252 p.
- Nye, P.H. & Greenland, D.J., 1964. Changes in the soil after clearing tropical forest. *Plant Soil*, 21, 101-112 p.
- Pauli, N., Barrios, E., Conacher, A.J., Oberthür, T., 2011. Soil macrofauna in agricultural landscapes dominated by the Quesungual slash-and-mulch agroforestry system, Western Honduras. *Applied Soil Ecology*. 47, 119-132 p.
- Proctor, J. 1984. Tropical forest litterfall II. The data set. Pp. 83-113 in Chadwick, A. C. & Sutton, S. L. (eds). *Tropical rain forest: the Leeds Symposium*. Leeds Philosophical and Literary Society, Leeds.

- Quesada, C.A, Lloyd J., Schwarz M., Patiño S., Baker T.R., Czimczik C., Fyllas N.M., Martinelli L., Nardoto G.B., Schmerler J. et al. 2010. Chemical and physical properties of Amazon forest soils in relation to their genesis. *Biogeosciences*. 7, 1515-1541 p.
- Quesada, C.A, Lloyd J., Schwarz M., Patiño S., Baker T.R., Czimczik C. 2011. Soils of Amazonia with particular reference to the RAINFOR sites. *Biogeosciences*. 6, 3851-3921 p.
- Rossi, J.P., Celini, L., Mora, P., Mathieu, J., Lapied, E., Nahmani, J.-F., Ponge, F., Lavelle, P. 2010. Decreasing fallow duration in tropical slash-and-burn agriculture alters soil macroinvertebrate diversity: a case study in southern French Guiana. *Agriculture Ecosystems & Environmental*. 135, 148-154 p.
- Rousseau G.X., Silva P.R.S., Celentano D., Carvalho C.J.R.. Macrofauna do solo em uma cronosequência de capoeiras, florestas e pastos no Centro de Endemismo Belém, Amazônia Oriental. *Acta Amazonica* 2014. 44(4), 499- 512 p.
- Reynolds, W.D.; Bowman, B.T.; Drury, C.F.; Tan, C.S., Lu, X. 2002. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. *Geoderma*. 110, 131-146 p.
- Rousseau, G.X., Deheuvels, O., Rodriguez Arias, I., Somarriba, E. 2012. Indicating soil quality in cacao-based agroforestry systems and old-growth forests: The potential of soil macrofauna assemblage. *Ecological Indicators*. 23, 535-543 p.
- Rousseau, L., Fonte, S. J., Tellez, O., van der Hoek, R., & Lavelle, P. 2013. Soil macrofauna as indicators of soil quality and land use impacts in smallholder agroecosystems of western Nicaragua. *Ecological Indicators*. 27, 71-82p.
- Sayer, E.J. 2006. Using experimental manipulation to assess the roles of leaf litter in the functioning of forest ecosystems. *Biological Reviews*. 81, 1-31 p.
- Schmidt, P., Dickow, K., Rocha, A.A., Marques, R., Scheuermann, L., Römbke, J., Förster, B., Höfer, H., 2008. Soil macrofauna and decomposition rates in southern Brazilian Atlantic rainforests. *Ecotropica*. 14, 89-100 p.
- Schoenholtz, S.H., Van Miegroet, H., Burger, J.A., 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*. 138, 335-356 p.
- Sileshi, G., Mafongoya P.L. 2006. Variation in macrofaunal communities under contrasting land use systems in eastern Zambia. *Applied Soil Ecology*. 33, 49-60 p.
- Swift, M.J., Heal, O.W., Anderson, J.M., 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. University of California Press, Berkeley, CA, 372 p.
- Tapia-Coral, S. C., Luizão, F. Pashanasi, B., Castillo, D. 2012. Comunidade de macroinvertebrados do solo em plantíos florestais e sistemas naturais na amazônia peruana. 21(1-2), 33-44 p.

Tapia-Coral, S.C., Luizão, F., Wandelli, E. 1999. Macrofauna da liteira em sistemas agroflorestais sobre pastagens abandonadas na Amazônia central. *Acta Amazônica*. 29(3), 477-495 p.

Tapia-coral, S.C.; Luizão, F.; Pashanasi, B.; del Castillo, D.; Lavelle, P. 2014. Influência da massa e nutrientes da liteira sobre a composição dos macro-invertebrados em plantíos florestais na Amazônia peruana. *Folia Amazónica*. 23 (2):171-186 p.

Team RDC, 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing (Vienna, Austria).

ter Steege, H., Pitman, N.C.A., Killeen, T.J., Laurance, W.F., Peres, C.A., Guevara, J. E. Salomão, R.P., Castilho, C.V., Amaral, I.L., Matos, F.D.A, et al. 2015. Estimating the global conservation status of more than 15,000 Amazonian tree species. *Science Advances*. 1, e1500936.

To, J. & Kay, B.D. 2005. Variation in penetrometer resistance with soil properties: the contribution of effective stress and implications for pedotransfer functions. *Geoderma*. 126, 261-276 p.

Tollefson, J. 2015. Stopping deforestation: Battle for the Amazon, *Nature*. 520, 20-23 p.

Triplehorn, C.A. & Johnson, N.F. 2015. 2ª Edição brasileira. Estudo dos insetos: tradução da 7ª edição de Borror and DeLong's introduction to the study of insects. São Paulo. Cengage Learning. 761 p.

van Raij B., Andrade J.C., Cantarella H., Quaggio, J.A. 2001. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas. 285 p

Vasconcellos, R.L., Segat, J.C., Bonfim, J.A., Baretta, D., Cardoso, E.J., 2013. Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. *European Journal of Soil Biology*. 58, 105-112 p.

Velasquez, E., Lavelle, P., Andrade, M., 2007. GISQ, a multifunctional indicator of soil quality. *Soil Biology & Biochemistry*. 39, 3066–3080 p.

Viana, R.M., Ferraz, J.B.S., Neves Jr., A.F., Vieira, G., Pereira, B.F.F. 2014. Soil quality indicators for different restoration stages on Amazon rainforest. *Soil Tillage Research*. 140, 1-7 p.

Villa, E.B., Pereira, M. G., Alonso, J.M., Beutler, S.J., Leles, P. S. S. 2016. Aporte de Serapilheira e Nutrientes em Área de Restauração Florestal com Diferentes Espaçamentos de Plantio. *Floresta e Ambiente*. 23(1), 90-99 p.

Vitousek P.M. & Sanford R.L. 1986. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 17, 137-167 p.

Volpato, E.; Schmidt, P.E., Araújo, V.C. 1972. *Carapa guianensis* Aubl (Andiroba). Estudos comparativos de tratamentos silviculturais. *Acta Amazonica*. Ano II, n 3, 75-81 p.

Warren, M.W., Zou, X., 2002. Soil macrofauna and litter nutrientes in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*. 170, 161-171 p.

Wall, D.H., Bardgett R.D., Behan-Pelletier, V., Herrick, J.E., Jones, H., Ritz, K., Six, J. Strong, D.R., van der Putten, W.H. (Eds). 2012. *Soil Ecology and Ecosystem Services*. Oxford University Press. 464 p.

Wander, M. M & Bollero, G. A. 1999. Soil quality assessment of tillage impacts in Illinois. *Soil Science Society of America Journal*. 63, 961-971 p.

Wardle, D.A. 2002. *Communities and Ecosystems: Linking the Aboveground and Belowground Components*. Princeton University Press. 400 p.

Warren, M.W., Zou, X., 2002. Soil macrofauna and litter nutrients in three tropical tree plantations on a disturbed site in Puerto Rico. *Ecology and Management*. 170, 161-171 p.

White, B.L.A., Nascimento, D.L., Dantas, T.V.P., Ribeiro, A.S. 2013. Dynamics of the production and decomposition of litterfall in a brazilian northeastern tropical forest (Serra de Itabaiana National Park, Sergipe State). *Acta Scientiarum. Biological Sciences*, Maringá. 35(2), 195-201 p.

Wood, T.G. & Sands, W.A. 1978. The role of termites in ecosystems. in: M.V. Brian (Ed.), *Production Ecology of Ants and Termites*. Cambridge University Press, Cambridge, 245-292 p.

9. APÊNDICES

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Estrutura horizontal da floresta primária	60
Tabela 1. Estrutura horizontal do estrato arbóreo ($DAP \geq 10$ cm) da floresta primária (0,32 ha).....	60
Tabela 2. Estrutura horizontal da regeneração natural ($3 \text{ cm} \geq DAP < 10$ cm) da floresta primária (três subparcelas de 10x10 m)	62
APÊNDICE B - Estrutura horizontal do plantio de andiroba (<i>Carapa guianensis</i>).....	63
Tabela 1. Estrutura horizontal do estrato arbóreo ($DAP \geq 10$ cm) do plantio de andiroba (<i>Carapa guianensis</i>) (0,12 ha)	63
Tabela 2. Estrutura horizontal da regeneração natural ($3 \text{ cm} \geq DAP < 10$ cm) do plantio de andiroba (<i>Carapa guianensis</i>) (0,12 ha)	65
APÊNDICE C - Composição da vegetação da área degradada.....	67
Tabela 1. Lista de espécies da área degradada (0,15 ha)	67
APÊNDICE D - Hipóteses dos testes paramétricos	68
Tabela 1. Valores de p para os pressupostos dos testes paramétricos (homocedasticidade e normalidade dos dados) considerando as frações da serrapilheira (material orgânico e raízes), material seco total, umidade da serrapilheira e abertura do dossel entre as áreas de floresta e plantio.....	68
Tabela 2. Valores de p para os pressupostos dos testes paramétricos (homocedasticidade e normalidade dos dados) considerando os atributos do solo (físico-químico) por profundidade (0 - 10 e 10 - 20 cm) e entre sistema de uso da terra (floresta, plantio e degradada)	68
APÊNDICE E - Relação entre a macrofauna da serrapilheira e o aporte da serrapilheira	69
Tabela 1. PERMANOVA: teste do efeito das variáveis pré-selecionadas da serrapilheira acumulada e da cobertura do dossel para a ordenação (PCoA) da composição de macroinvertebrados (densidade e biomassa) presente na serrapilheira	69

APÊNDICE F - Seleção do conjunto mínimo de dados ambientais 70

Figura 1. Análise dos componentes principais (PCA) das variáveis ambientais (atributos físico-químico do solo) para as profundidades estudadas (0 - 10 e 10-20 cm). Representação dos dois primeiros PCs.....70

Tabela 1. Resultado da análise dos componentes principais (PCA) 71

Tabela 2. Matriz de correlação de Spearman (valores de p e r) para as variáveis ambientais (atributos físico-químico do solo) nas duas profundidades estudadas (0 - 10 e 10 - 20 cm) 72

APÊNDICE G - Relação entre a macrofauna edáfica e os atributos físico-químico do solo.74

Tabela 1. PERMANOVA: teste do efeito dos atributos do solo (físico-químico), selecionados pelo conjunto mínimo de dados, para a ordenação (PCoA) da composição da densidade de macroinvertebrados edáfico nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm.....74

APÊNDICE A - Estrutura horizontal da floresta primária.

Tabela 1. Estrutura horizontal do estrato arbóreo (DAP $\geq$ 10 cm) da floresta primária (0,32 ha).

Espécie	Ni	DR	DoR	FR	IVI
<i>Abarema adenófora</i>	1	0,70	1,80	0,85	1,12
<i>Ampelocera edentula</i>	2	1,40	1,54	1,71	1,55
<i>Anacardium spruceanum</i>	1	0,70	0,57	0,85	0,71
<i>Aniba hastmanniana</i>	1	0,70	0,27	0,85	0,61
<i>Anisophylllea manausensis</i>	1	0,70	0,09	0,85	0,55
<i>Annona ambotay</i>	1	0,70	0,11	0,85	0,56
<i>Annona insignis</i>	2	1,40	0,46	1,71	1,19
<i>Bocoa viridiflora</i>	1	0,70	0,59	0,85	0,72
<i>Brosimum parinarioides</i>	1	0,70	2,78	0,85	1,45
<i>Brosimum rubescens</i>	1	0,70	0,19	0,85	0,58
<i>Byrsonima crispa</i>	1	0,70	0,66	0,85	0,74
<i>Byrsonima duckeana</i>	2	1,40	0,63	1,71	1,25
<i>Cariniana decandra</i>	1	0,70	1,52	0,85	1,02
<i>Carpotroche crispidentata</i>	1	0,70	0,20	0,85	0,58
<i>Caryocar glabrum</i>	1	0,70	0,18	0,85	0,58
<i>Chrysophyllum colombiana</i>	1	0,70	0,32	0,85	0,63
<i>Chrysophyllum colombianum</i>	1	0,70	0,12	0,85	0,56
<i>Clarisia racemosa</i>	2	1,40	0,80	0,85	1,02
<u>Corythophora alta</u>	6	4,20	6,21	2,56	4,32
<i>Couratari longipedicellata</i>	2	1,40	1,58	1,71	1,56
<i>Dipteryx odorata</i>	1	0,70	0,23	0,85	0,59
<i>Dipteryx punctata</i>	2	1,40	3,76	1,71	2,29
<i>Duguetia surinamensis</i>	2	1,40	0,62	1,71	1,24
<i>Dulacia guianensis</i>	1	0,70	0,59	0,85	0,72
<i>Endlicheria bracteata</i>	2	1,40	0,52	1,71	1,21
<i>Ephedranthus amazonicus</i>	1	0,70	0,15	0,85	0,57
<i>Eschweilera truncata</i>	3	2,10	4,16	1,71	2,65
<i>Eschweilera wachenheimii</i>	2	1,40	0,43	1,71	1,18
<i>Goupia glabra</i>	2	1,40	12,31	0,85	4,86
<i>Guarea guidonia</i>	1	0,70	0,37	0,85	0,64
<i>Guarea humaitensis</i>	1	0,70	0,15	0,85	0,57
<i>Helicostylis tomentosa</i>	1	0,70	0,19	0,85	0,58
<i>Iryanthera juruensis</i>	1	0,70	0,39	0,85	0,65
<i>Lecythis prancei</i>	3	2,10	2,35	1,71	2,05
<i>Licania heteromorfa</i>	1	0,70	0,14	0,85	0,57
<i>Licania lata</i>	1	0,70	0,36	0,85	0,64
<i>Licania micranta</i>	1	0,70	0,59	0,85	0,72
<i>Licania oblongifolia</i>	1	0,70	0,10	0,85	0,55
<i>Malmea manausensis</i>	1	0,70	0,08	0,85	0,55
<i>Miconia argyrophylla</i>	5	3,50	1,57	1,71	2,26

<i>Miconia poeppigii</i>	1	0,70	0,10	0,85	0,55
<i>Miconia regelii</i>	2	1,40	0,19	0,85	0,81
<i>Miconia splendens</i>	2	1,40	0,44	1,71	1,18
<i>Micropholis venulosa</i>	1	0,70	0,84	0,85	0,80
<i>Micropholis williamii</i>	1	0,70	0,16	0,85	0,57
<i>Minuartia guianensis</i>	1	0,70	0,51	0,85	0,69
<i>Moronobea coccínea</i>	1	0,70	1,18	0,85	0,91
<i>Moronobea pulchra</i>	1	0,70	0,08	0,85	0,55
<i>Naucleopsis caloneura</i>	1	0,70	0,46	0,85	0,67
<i>Neea oppositifolia</i>	1	0,70	0,11	0,85	0,56
<i>Ocotea myriantha</i>	1	0,70	0,40	0,85	0,65
<i>Oenocarpus bacaba</i>	1	0,70	0,37	0,85	0,64
<i>Osteophloeum platyspermum</i>	1	0,70	0,34	0,85	0,63
<i>Parkia multijuga</i>	1	0,70	6,01	0,85	2,52
<i>Paypayrola grandiflora</i>	1	0,70	0,14	0,85	0,56
<i>Pourouma guianensis</i>	2	1,40	0,45	1,71	1,18
<i>Pouteria cladanta</i>	2	1,40	0,55	1,71	1,22
<i>Pouteria eugeniifolia</i>	1	0,70	0,14	0,85	0,56
<i>Pouteria guianensis</i>	2	1,40	1,18	0,85	1,15
<i>Pouteria hispida</i>	1	0,70	0,21	0,85	0,59
<i>Pouteria macrophylla</i>	1	0,70	0,29	0,85	0,61
<i>Pouteria reticulata</i>	1	0,70	0,49	0,85	0,68
<i>Pradosia cochlearia</i>	1	0,70	0,62	0,85	0,72
<i>Protium apiculatum</i>	1	0,70	0,08	0,85	0,54
<i>Protium strumosum</i>	1	0,70	0,21	0,85	0,59
<i>Pseudopiptadenia psilostachya</i>	1	0,70	7,68	0,85	3,08
<i>Pseudoxandra coriácea</i>	1	0,70	0,08	0,85	0,54
<i>Rinorea racemosa</i>	2	1,40	0,23	0,85	0,83
<i>Roucheria punctata</i>	1	0,70	0,24	0,85	0,60
<i>Sacoglottis guianensis</i>	1	0,70	1,13	0,85	0,90
<i>Scleronema micranthum</i>	2	1,40	1,51	1,71	1,54
<i>Simaba polyphylla</i>	3	2,10	0,67	1,71	1,49
<i>Siparuna glycyarpa</i>	1	0,70	0,47	0,85	0,67
<i>Sloanea floribunda</i>	2	1,40	0,32	0,85	0,86
<i>Sloanea guianensis</i>	1	0,70	1,23	0,85	0,93
<i>Swartzia recurva</i>	1	0,70	0,26	0,85	0,61
<i>Swartzia tessmannii</i>	1	0,70	0,25	0,85	0,60
<i>Tachigali paniculata</i>	3	2,10	9,82	1,71	4,54
<i>Tachigali venusta</i>	1	0,70	0,08	0,85	0,55
<i>Talisia veraluciana</i>	2	1,40	0,53	1,71	1,21
<i>Tapirira guianensis</i>	1	0,70	0,39	0,85	0,65
<i>Theobroma sylvestre</i>	1	0,70	0,10	0,85	0,55
<i>Thyrsodium spruceanum</i>	1	0,70	0,10	0,85	0,55
<i>Virola calophylla</i>	5	3,50	0,91	2,56	2,32
<u><i>Virola michelii</i></u>	<u>6</u>	<u>4,20</u>	<u>0,82</u>	<u>2,56</u>	<u>2,53</u>

<i>Virola molíssima</i>	5	3,50	1,51	2,56	2,52
<i>Virola multinervia</i>	2	1,40	0,29	1,71	1,13
<i>Xylopia emarginata</i>	3	2,10	4,29	0,85	2,41
<i>Zygia racemosa</i>	3	2,10	1,83	1,71	1,88
SOMA	143	100,00	100,00	100,00	100,00

Ni: número de indivíduos; DR: densidade relativa, DoR: dominância relativa; FR: frequência relativa; IVI: índice de valor de importância; linhas em negrito representam as três espécies com maior IVI e linhas sublinhadas correspondem as espécies mais abundantes (dominantes).

Tabela 2. Estrutura horizontal da regeneração natural ($3 \text{ cm} \geq \text{DAP} < 10 \text{ cm}$) da floresta primária (três subparcelas de 10x10 m).

Espécie	Ni	DR	DoR	FR	IVI
<i>Annona ambotay</i>	1	1,56	2,66	1,85	6,08
<i>Chimarrhis barbata</i>	1	1,56	0,94	1,85	4,36
<i>Clarisia racemosa</i>	2	3,13	1,09	1,85	6,07
<i>Compsonura ulei</i>	2	3,13	1,82	3,70	8,65
<i>Cordia hirta</i>	1	1,56	1,25	1,85	4,66
<i>Diospyros vestita</i>	1	1,56	3,24	1,85	6,66
<i>Duguetia flagellaris</i>	1	1,56	0,40	1,85	3,81
<i>Duguetia surinamensis</i>	1	1,56	0,65	1,85	4,07
<i>Endlicheria bracteata</i>	1	1,56	0,54	1,85	3,95
<i>Ephedranthus amazonicus</i>	1	1,56	0,75	1,85	4,17
<i>Eschweilera bracteosa</i>	1	1,56	2,57	1,85	5,98
<i>Faramea torquata</i>	1	1,56	0,44	1,85	3,85
<i>Helianthostylis sprucei</i>	2	3,13	1,15	3,70	7,98
<i>Helicostylis tomentosa</i>	1	1,56	0,89	1,85	4,30
<i>Inga alba</i>	2	3,13	4,12	3,70	10,95
<i>Inga gracilifolia</i>	1	1,56	4,61	1,85	8,02
<i>Inga paraenses</i>	2	3,13	1,04	1,85	6,02
<i>Licania heteromorfa</i>	1	1,56	1,28	1,85	4,70
<i>Mabea caudata</i>	2	3,13	1,63	3,70	8,46
<i>Naucleopsis caloneura</i>	1	1,56	1,14	1,85	4,55
<i>Nealchornea yapurensis</i>	1	1,56	0,54	1,85	3,95
<i>Neea oppositifolia</i>	1	1,56	5,03	1,85	8,44
<i>Ocotea neblinae</i>	1	1,56	1,06	1,85	4,47
<i>Osteophloeum platyspermum</i>	1	1,56	0,60	1,85	4,01
<i>Parinari excelsa</i>	1	1,56	4,93	1,85	8,34
<i>Parkia multijuga</i>	1	1,56	2,05	1,85	5,47
<i>Pouteria hispida</i>	1	1,56	1,49	1,85	4,90
<i>Pouteria reticulata</i>	2	3,13	4,46	3,70	11,29
<i>Protium apiculatum</i>	2	3,13	2,86	3,70	9,69

<i>Protium hebetatum</i>	2	3,13	1,51	1,85	6,49
<i>Protium pilosum</i>	1	1,56	0,82	1,85	4,23
<i>Protium strumosum</i>	1	1,56	0,36	1,85	3,78
<i>Rinorea racemosa</i>	4	6,25	10,52	1,85	18,63
<u><i>Ruizterania albiflora</i></u>	<u>6</u>	<u>9,38</u>	<u>5,92</u>	<u>3,70</u>	<u>19,00</u>
<i>Siparuna glycyarpa</i>	1	1,56	2,18	1,85	5,60
<i>Siparuna guianensis</i>	1	1,56	0,78	1,85	4,19
<i>Swartzia corrugata</i>	1	1,56	0,57	1,85	3,99
<i>Syagrus inajai</i>	1	1,56	3,46	1,85	6,87
<i>Thrysodium spruceanum</i>	2	3,13	2,16	3,70	8,99
<i>Trattinnickia burserifolia</i>	1	1,56	1,15	1,85	4,57
<i>Virola michelii</i>	2	3,13	5,47	3,70	12,30
<i>Virola molíssima</i>	1	1,56	0,49	1,85	3,90
<i>Virola multinervia</i>	1	1,56	3,51	1,85	6,93
<i>Vouacapoua pallidior</i>	1	1,56	0,56	1,85	3,98
<i>Zygia racemosa</i>	1	1,56	5,29	1,85	8,71
SOMA	64	100,00	100,00	100,00	300,00

Ni: número de indivíduos; DR: densidade relativa, DoR: dominância relativa; FR: frequência relativa; IVI: índice de valor de importância; linhas em negrito representam as três espécies com maior IVI e linha sublinhada corresponde a espécie com maior abundância (dominante).

APÊNDICE B - Estrutura horizontal do plantio de andiroba (*C. guianensis*).

Tabela 1. Estrutura horizontal do estrato arbóreo ($DAP \geq 10$ cm) do plantio de andiroba (*C. guianensis*) (0,12 ha).

Espécie	Ni	DR	DoR	FR	IVI
<i>Byrsonima chrysophylla</i>	1	0,70	0,19	2,13	1,01
<u><i>Carapa guianensis</i></u>	<u>84</u>	<u>61,31</u>	<u>35,74</u>	<u>14,89</u>	<u>37,32</u>
<i>Caryocar villosum</i>	1	0,70	4,45	2,13	2,43
<i>Corythophora alta</i>	1	0,70	2,52	2,13	1,78
<i>Couepia longipendula</i>	1	0,70	0,24	2,13	1,02
<i>Dicypellium manauense</i>	1	0,70	5,01	2,13	2,61
<i>Elicostidis tormentosa</i>	1	0,70	0,60	2,13	1,14
<i>Enterolobium schomburgkii</i>	1	0,70	0,48	2,13	1,10
<i>Eugenia cuspidifolia</i>	1	0,70	1,31	2,13	1,38
<i>Goupia glabra</i>	11	7,75	9,42	8,51	8,56
<i>Helicostylis tomentosa</i>	2	1,41	1,00	4,26	2,22
<i>Hymenolobium sericeum</i>	2	1,41	1,16	2,13	1,56
<i>Ingá paraensis</i>	1	0,70	1,49	2,13	1,44
<i>Jacaranda copaia</i>	9	6,34	16,07	12,77	11,72
<i>Licania lata</i>	1	0,70	0,21	2,13	1,02
<i>Miconia argyrophylla</i>	1	0,70	0,57	2,13	1,13
<i>Miconia splendens</i>	2	1,41	0,61	4,26	2,09
<i>Ocotea neblinae</i>	1	0,70	0,19	2,13	1,01
<i>Oenocarpus bacaba</i>	3	2,11	2,09	4,26	2,82
<i>Pogonophora schomburgkiana</i>	1	0,70	0,24	2,13	1,02
<i>Pourouma guianensis</i>	1	0,70	1,67	2,13	1,50
<i>Pouteria reticulata</i>	1	0,70	2,09	2,13	1,64
<i>Pseudopiptadenia psilostachya</i>	1	0,70	0,19	2,13	1,01
<i>Qualea paraensis</i>	2	1,41	6,04	4,26	3,90
<i>Rinorea guianensis</i>	1	0,70	2,25	2,13	1,69
<i>Scleronema micranthum</i>	2	1,41	2,00	2,13	1,85
<i>Thyrsodium spruceanum</i>	1	0,70	0,31	2,13	1,05
<i>Zygia racemosa</i>	2	1,41	1,64	4,26	2,44
SOMA	137	100,00	100,00	100,00	100,00

Ni: número de indivíduos; DR: densidade relativa; DoR: dominância relativa; FR: frequência relativa; IVI: índice de valor de importância; linhas em negrito representam as três espécies com maior IVI e linha sublinhada corresponde a espécie com maior abundância (dominante).

Tabela 2. Estrutura horizontal da regeneração natural ($3 \text{ cm} \geq \text{DAP} < 10 \text{ cm}$) do plantio de andiroba (*C. guianensis*) (0,12 ha).

Espécie	Ni	DR	DoR	FR	IVI
<i>Amaioua guianensis</i>	1	0,60	0,33	0,78	1,71
<i>Aniba canelilla</i>	1	0,60	0,58	0,78	1,96
<i>Annona ambotay</i>	1	0,60	0,62	0,78	2,00
<i>Aptandra tubicina</i>	2	1,20	1,64	1,56	4,40
<i>Aspidosperma carapanauba</i>	1	0,60	0,28	0,78	1,66
<i>Astrocaryum gynaconthum</i>	5	2,99	2,22	3,13	8,34
<i>Bocageopsis multiflora</i>	7	4,19	3,61	3,91	11,70
<i>Carapa guianensis</i>	5	2,99	4,00	2,34	9,34
<i>Casearia sylvestris</i>	1	0,60	1,35	0,78	2,73
<i>Cecropia concolor</i>	2	1,20	1,28	0,78	3,25
<i>Cecropia sciadophylla</i>	1	0,60	0,24	0,78	1,62
<i>Clarisia eliciiformea</i>	2	1,20	1,90	1,56	4,66
<i>Clarisia ilicifolia</i>	1	0,60	0,86	0,78	2,24
<i>Corythophora alta</i>	1	0,60	0,42	0,78	1,80
<i>Dicypellium manauense</i>	1	0,60	0,22	0,78	1,60
<i>Duguetia surinamensis</i>	1	0,60	0,60	0,78	1,98
<i>Dulacia guianensis</i>	1	0,60	0,79	0,78	2,17
<i>Duroia macrophylla</i>	1	0,60	0,47	0,78	1,85
<i>Elicostidis tormentosa</i>	2	1,20	1,81	1,56	4,57
<i>Eperua glabriflora</i>	1	0,60	0,36	0,78	1,74
<i>Erythroxylum macrophyllum</i>	1	0,60	0,26	0,78	1,64
<i>Eschweilera truncata</i>	5	2,99	2,19	3,13	8,31
<i>Eschweilera wachenheimii</i>	2	1,20	0,45	0,78	2,43
<i>Faramea torquata</i>	3	1,80	1,00	1,56	4,36
<i>Geissospermum argenteum</i>	4	2,40	3,84	0,78	7,01
<i>Geissospermum urceolatum</i>	1	0,60	0,28	0,78	1,66
<i>Guatteria olivacea</i>	2	1,20	1,35	1,56	4,11
<i>Helianthostylis sprucei</i>	1	0,60	0,39	0,78	1,77
<i>Helicostylis tomentosa</i>	1	0,60	0,81	0,78	2,19
<i>Hymenolobium sericeum</i>	2	1,20	2,83	1,56	5,59
<i>Ingá paraensis</i>	1	0,60	0,83	0,78	2,21
<i>Jacaranda copaia</i>	1	0,60	0,80	0,78	2,18
<i>Lacmellea gracilis</i>	1	0,60	0,41	0,78	1,79
<i>Lacunaria jenmanii</i>	1	0,60	1,89	0,78	3,27
<i>Licania lata</i>	1	0,60	0,41	0,78	1,79
<i>Licania micrantha</i>	1	0,60	1,62	0,78	3,00
<i>Licania oblongifolia</i>	2	1,20	1,95	0,78	3,93
<i>Loreya spruceana</i>	3	1,80	2,61	2,34	6,75
<i>Lorezia spruceana</i>	1	0,60	0,32	0,78	1,70
<i>Loureia spruceana</i>	2	1,20	0,89	0,78	2,87
<i>Mabea caudata</i>	3	1,80	2,10	1,56	5,46
<i>Miconia affinis</i>	1	0,60	1,27	0,78	2,65

<i>Miconia argyrophylla</i>	8	4,79	5,31	3,13	13,23
<i>Miconia sp</i>	7	4,19	4,14	0,78	9,11
<u><i>Miconia splendens</i></u>	10	5,99	8,05	3,91	17,95
<i>Miconia tomentosa</i>	2	1,20	0,91	1,56	3,67
<i>Naucleopsis caloneura</i>	5	2,99	2,39	2,34	7,73
<i>Ocotea oblonga</i>	1	0,60	0,25	0,78	1,63
<i>Osteophloeum platynemum</i>	1	0,60	0,72	0,78	2,10
<i>Palicourea guianensis</i>	1	0,60	0,45	0,78	1,83
<i>Palicourea nitidella</i>	1	0,60	0,26	0,78	1,64
<i>Peltogyne catingae</i>	1	0,60	1,45	0,78	2,83
<i>Pogonophora schomburgkiana</i>	1	0,60	1,54	0,78	2,92
<i>Pourouma guianensis</i>	2	1,20	0,92	1,56	3,68
<i>Pourouma minor</i>	1	0,60	0,37	0,78	1,75
<i>Pouteria opposita</i>	1	0,60	0,32	0,78	1,70
<i>Pouteria torta</i>	1	0,60	0,35	0,78	1,73
<i>Protium apiculatum</i>	3	1,80	1,54	2,34	5,68
<i>Protium hebetatum</i>	1	0,60	0,22	0,78	1,60
<i>Pseudopiptadenia psilostachya</i>	1	0,60	0,31	0,78	1,69
<i>Psychotria astrellantha</i>	1	0,60	0,20	0,78	1,58
<i>Rinorea guianensis</i>	1	0,60	1,09	0,78	2,47
<i>Rinorea racemosa</i>	3	1,80	1,22	1,56	4,58
<i>Simaba polyphylla</i>	1	0,60	0,33	0,78	1,71
<i>Simarouba amara</i>	1	0,60	0,33	0,78	1,71
<i>Siparuna glycyarpa</i>	4	2,40	1,31	2,34	6,05
<i>Siparuna guianensis</i>	2	1,20	0,45	1,56	3,21
<i>Sloanea guianensis</i>	1	0,60	0,38	0,78	1,76
<i>Sorocea muriculata</i>	3	1,80	1,06	2,34	5,20
<i>Swartzia lamellata</i>	1	0,60	0,58	0,78	1,96
<i>Swartzia recurva</i>	1	0,60	0,58	0,78	1,96
<i>Talisia cupularis</i>	1	0,60	0,26	0,78	1,64
<i>Thyrsodium spruceanum</i>	1	0,60	0,28	0,78	1,66
<i>Tourolia guianensis</i>	3	1,80	2,20	2,34	6,34
<i>Touroulia guianensis</i>	1	0,60	0,37	0,78	1,75
<i>Trattinnickia burserifolia</i>	3	1,80	1,46	0,78	4,03
<i>Trymatococcus amazonicus</i>	2	1,20	0,60	0,78	2,58
<i>Virola calofila</i>	1	0,60	0,33	0,78	1,71
<i>Virola calophylla</i>	1	0,60	0,81	0,78	2,19
<i>Virola michelii</i>	1	0,60	0,24	0,78	1,62
<i>Virola mollissima</i>	5	2,99	1,65	2,34	6,99
<i>Virola multinervia</i>	2	1,20	2,36	1,56	5,12
<i>Vismia sandwithii</i>	1	0,60	0,36	0,78	1,74
SOMA	167	100,00	100,00	100,00	300,00

Ni: número de indivíduos; DR: densidade relativa, DoR: dominância relativa; FR: frequência relativa; IVI: índice de valor de importância; linhas em negrito representam as três espécies com maior IVI e linha sublinhada corresponde a espécie com maior abundância (dominante).

APÊNDICE C - Composição da vegetação da área degradada.

Tabela 1. Lista de espécies da área degradada (0,15 ha).

Espécie
<i>Aciotis indecora</i>
<i>Andropogon leucostachyus</i>
<i>Chamaesyce hyssopifolia</i>
<i>Clidemia bullosa</i>
<i>Croton lobatos</i>
<i>Digitaria horizontalis</i>
<i>Drymaria cordata</i>
<i>Ertela trifolia</i>
<i>Fimbristylis dichotoma</i>
<u><i>Homolepsis aturensis</i></u>
<i>Mandevilla scabra</i>
<i>Micaria alata</i>
<i>Mimosa pudica</i>
<i>Panicum laxum</i>
<u><i>Panicum mertensii</i></u>
<i>Paspalum dichotoma</i>
<i>Phyllanthus niruri</i>
<i>Pilea microphylla</i>
<i>Rhynchospora pubera</i>
<i>Rolandra fruticosa</i>
<i>Sabicea amazonenses</i>
<i>Sclerela pratensis</i>
<i>Spermacoce verticillata</i>
<i>Stachytarpheta cayennensis</i>
<i>Turnera ulmifolia</i>
<i>Unxia camphorata</i>
<i>Yptis atrorubens</i>
<u><i>Zornia latifolia</i></u>

Linhas sublinhadas correspondem as espécies mais abundantes (dominantes).

APÊNDICE D - Hipóteses dos testes paramétricos.

Tabela 1. Valores de p para os pressupostos dos testes paramétricos (homocedasticidade e normalidade dos dados) considerando as frações da serrapilheira (material orgânico e raízes), material seco total, umidade da serrapilheira e cobertura do dossel entre as áreas de floresta e plantio.

Pressupostos	FRD	FD	RP	OR	C	O	MST	RZMFF	RZP	RZ _{total}	US	CD
Homocedasticidade	0,179	0,948	0,163	<u><0,001</u>	0,296	<u>0,027</u>	0,210	0,762	0,381	0,77	0,492	<u>0,010</u>
Normalidade dos dados	<u>0,001</u>	0,260	<u>0,003</u>	<u><0,001</u>	<u>0,037</u>	<u>0,044</u>	0,408	0,200	<u>0,001</u>	0,23	0,054	<u><0,001</u>

FRD: folhas recém depositadas; FD: folhas em decomposição; RP: ramos pequenos; C: casca; O: outros; MST: material seco total; RZMFF: raízes muito finas e finas; RZP: raízes pequenas; US: umidade da serrapilheira; CD: abertura do dossel; valores sublinhados não atendem as premissas dos testes paramétricos.

Nota: quando as variáveis atenderam aos pressupostos dos testes paramétricos foi aplicado o teste T para verificar diferença significativa ($p < 0,05$) das variáveis entre as áreas, caso contrário, aplicou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney ($p < 0,05$).

Tabela 2. Valores de p para os pressupostos dos testes paramétricos (homocedasticidade e normalidade dos dados) considerando os atributos do solo (físico-químico) por profundidade (0 - 10 e 10 - 20 cm) e entre sistema de uso da terra (floresta, plantio e degradada).

Conjunto de dados		Pressupostos	Ds	PT	UG	RP	pH	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	t	P	Fe	Zn	Mn	MOS
Profundidade (cm)	0 - 10	Homocedasticidade	0,861	0,927	0,145	<u><0,001</u>	0,771	0,054	<u><0,001</u>	0,203	<u>0,003</u>	0,719	<u><0,001</u>	0,837	<u>0,047</u>	<u>0,022</u>	<u>0,049</u>	<u>0,021</u>	0,167
		Normalidade dos dados	0,775	0,709	0,180	<u>0,001</u>	0,572	0,080	0,690	<u>0,043</u>	0,925	0,246	0,682	0,204	0,087	0,407	0,415	0,283	0,827
	10 - 20	Homocedasticidade	0,293	0,348	0,420	<u>0,021</u>	<u>0,007</u>	0,614	<u>0,008</u>	0,250	<u>0,032</u>	0,608	<u>0,007</u>	0,734	0,353	0,884	0,216	0,059	0,313
		Normalidade dos dados	0,575	0,706	0,471	0,076	0,723	0,699	0,765	<u>0,028</u>	0,186	0,916	0,739	0,720	<u>0,019</u>	0,323	<u>0,040</u>	0,414	0,798

Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; UG: umidade gravimétrica; RP: resistência à penetração; SB: soma de bases; t: capacidade efetiva de troca de cátions; MOS: matéria orgânica do solo; valores sublinhados não atendem as premissas dos testes paramétricos.

Nota: quando as variáveis atenderam aos pressupostos dos testes paramétricos foi aplicado ANOVA seguida de Tukey para verificar diferença significativa ($p < 0,05$) das variáveis entre os sistemas de uso da terra, caso contrário, aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$) com correção de Bonferroni.

APÊNDICE E - Relação entre a macrofauna da serrapilheira e o aporte da serrapilheira.

Tabela 1. PERMANOVA: teste do efeito das variáveis pré-selecionadas da serrapilheira acumulada e da cobertura do dossel para a ordenação (PCoA) da composição de macroinvertebrados (densidade e biomassa) presente na serrapilheira.

a) Densidade						
Fonte de variação	df	SQ	MQ	Pseudo-F	r ²	p(perm)
FD	1	0,1981	0,1981	1,2851	0,0726	0,3038
RZMFF	1	0,1518	0,1518	0,9847	0,0557	0,4011
MST	1	0,0156	0,0156	0,1014	0,0057	0,9089
US	1	0,0267	0,0267	0,1730	0,0098	0,8476
CD	1	0,1764	0,1764	1,1443	0,0647	0,3427
Resíduo	14	2,1585	0,1542		0,7915	
Total	19	2,7272			1,0000	
b) Biomassa						
Fonte de variação	df	SQ	MQ	Pseudo-F	r ²	p(perm)
FD	1	0,0770	0,0770	0,3082	0,0191	0,7479
RZMFF	1	0,0442	0,0442	0,1770	0,0110	0,8609
MST	1	0,1073	0,1073	0,4293	0,0266	0,6759
US	1	0,0594	0,0594	0,2378	0,0147	0,8060
CD	1	0,2446	0,2446	0,9791	0,0607	0,4305
Resíduo	14	3,4975	0,2498		0,8679	
Total	19	4,0300			1,0000	

FD: folhas em decomposição; RZMFF: raízes muito finas e finas; MST: material seco total; US: umidade da serrapilheira; CD: cobertura do dossel.

APÊNDICE F - Seleção do conjunto mínimo de dados ambientais.

Figura 1. Análise dos componentes principais (PCA) das variáveis ambientais (atributos físico-químico do solo) para as profundidades estudadas (0 - 10 e 10-20 cm). Representação dos dois primeiros PCs.

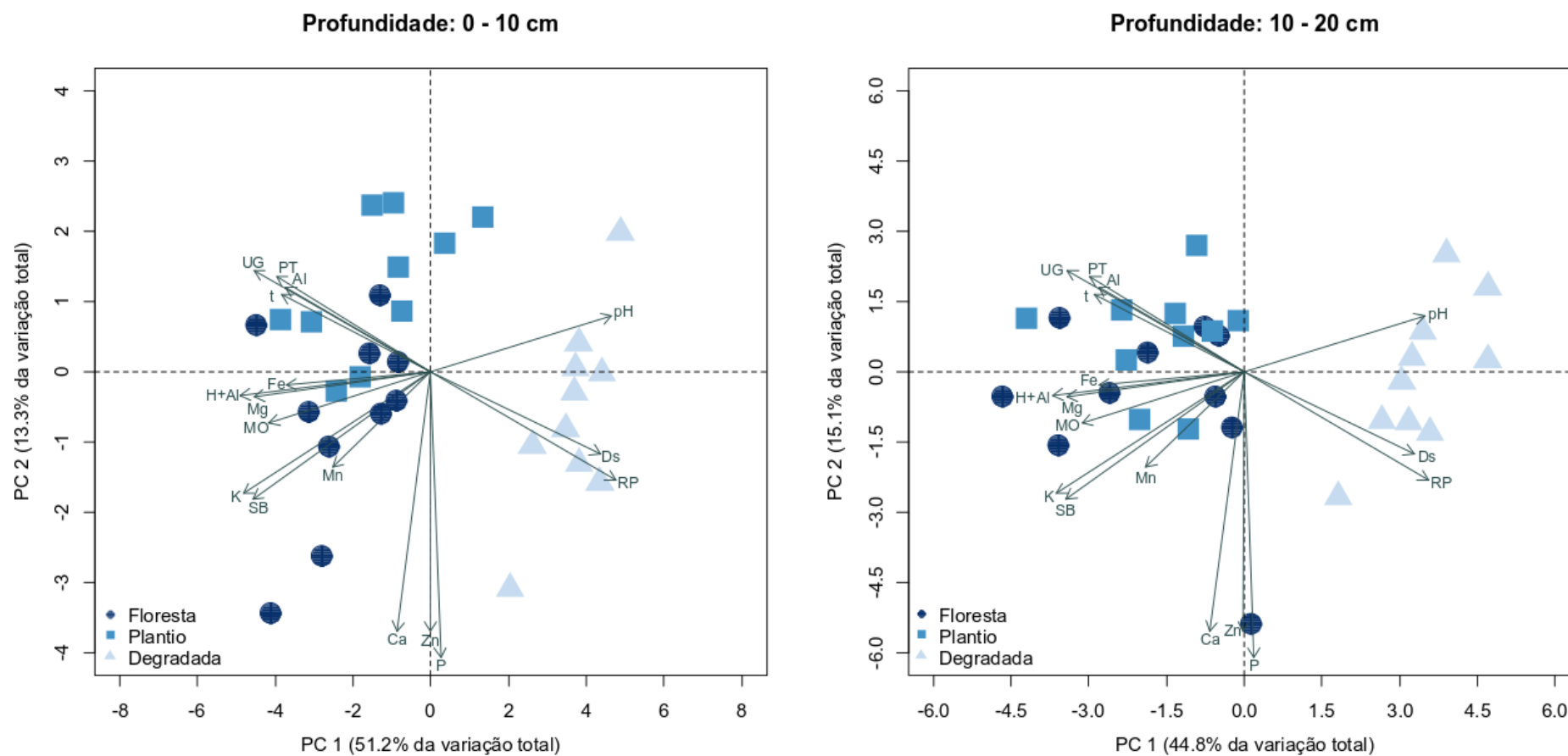


Tabela 1. Resultado da análise dos componentes principais (PCA).

Profundidade	0 - 10 cm				10 - 20 cm				
	PC-1	PC-2	PC-3	PC-4	PC-1	PC-2	PC-3	PC-4	PC-5
Autovalores	2,95	1,51	1,24	1,03	2,76	1,60	1,33	1,24	1,08
% Variância	51,22	13,34	9,01	6,28	44,76	15,14	10,40	9,03	6,89
Variância Cumulativa	51,22	64,56	73,57	79,85	44,76	59,90	70,30	79,33	86,22
Eigen vetores ou <i>loading</i>									
Ds	0,800	-0,224	-0,198	0,258	0,031	<u>0,880</u>	-0,349	0,239	0,100
PT	-0,728	0,260	0,169	-0,265	0,014	-0,834	0,435	-0,253	-0,123
UG	-0,827	0,279	0,014	-0,241	-0,862	0,019	0,038	-0,346	-0,103
RP	0,869	-0,295	-0,088	-0,019	0,780	0,054	0,120	0,309	0,137
pH	0,854	0,147	-0,299	-0,267	0,874	0,218	0,228	-0,129	0,074
H+Al	<u>-0,949</u>	-0,087	0,136	0,049	<u>-0,946</u>	-0,127	-0,150	0,044	-0,081
Al ³⁺	-0,691	0,228	-0,481	<u>0,425</u>	-0,644	0,339	0,453	0,396	-0,278
Ca ²⁺	-0,164	<u>-0,694</u>	<u>-0,521</u>	-0,091	0,082	0,138	<u>0,584</u>	-0,172	<u>0,717</u>
Mg ²⁺	-0,835	-0,062	-0,265	-0,165	-0,850	0,297	0,170	-0,209	0,066
K ⁺	-0,889	-0,323	0,113	0,072	-0,938	-0,130	-0,002	0,055	0,119
SB	-0,843	-0,336	-0,297	-0,120	-0,821	0,229	0,325	-0,192	0,325
T	-0,709	0,209	-0,482	<u>0,411</u>	-0,663	0,341	0,456	0,378	-0,257
P _{disp}	0,040	<u>-0,769</u>	0,144	0,239	0,075	-0,374	0,157	<u>0,773</u>	0,152
Fe	-0,687	-0,036	<u>0,575</u>	<u>0,395</u>	-0,663	-0,256	<u>-0,549</u>	-0,008	0,148
Zn	-0,004	<u>-0,694</u>	0,274	-0,053	-0,090	-0,587	-0,046	0,363	0,275
Mn	-0,470	-0,255	-0,152	-0,339	-0,590	0,038	-0,383	0,164	0,444
MOS	-0,756	-0,132	0,078	-0,250	-0,813	-0,279	0,058	0,109	-0,076

PC: componente principal; Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; UG: umidade gravimétrica; RP: resistência à penetração; SB: soma de bases; t: capacidade efetiva de troca de cátions; MOS: matéria orgânica do solo; valores em negrito em cada componente são as variáveis com maior peso (contribuição no PC) e valores em negrito sublinhado correspondem as variáveis selecionadas pelo conjunto mínimo de dados.

Tabela 2. Matriz de correlação de Spearman (valores de p e r) para as variáveis ambientais (atributos físico-químico do solo) nas duas profundidades estudadas (0 - 10 e 10 - 20 cm).

a)		0 - 10 cm															
	Ds	PT	UG	RP	pH	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	t	P _{disp}	Fe	Zn	Mn	MOS
Ds	-	<0,001	0,001	<0,001	0,007	0,001	0,079	0,698	0,010	0,012	0,020	0,051	0,571	0,025	0,756	0,135	0,007
PT	-0,975	-	0,005	0,001	0,044	0,008	0,094	0,775	0,040	0,061	0,059	0,067	0,657	0,073	0,628	0,167	0,026
UG	-0,731	0,644	-	0,001	0,016	0,008	0,029	0,798	<0,001	0,009	0,002	0,017	0,149	0,082	0,715	0,313	0,021
RP	0,783	-0,720	-0,720	-	0,002	0,001	0,019	0,528	0,004	0,005	0,009	0,011	0,421	0,012	0,488	0,271	0,017
pH	0,624	-0,493	-0,572	0,703	-	<0,001	0,042	0,796	0,007	<0,001	0,004	0,026	0,698	<0,001	0,570	0,093	0,005
H+Al	-0,728	0,620	0,619	-0,733	-0,905	-	0,017	0,862	0,002	<0,001	<0,001	0,008	0,562	0,001	0,879	0,059	<0,001
Al ³⁺	-0,437	0,419	0,529	-0,562	-0,499	0,570	-	0,653	0,009	0,051	0,005	<0,001	0,455	<u>0,097</u>	0,361	0,250	0,249
Ca ²⁺	0,102	-0,075	-0,067	0,165	0,068	0,046	0,118	-	0,700	0,741	0,212	0,616	<u>0,197</u>	<u>0,186</u>	<u>0,510</u>	0,461	0,869
Mg ²⁺	-0,603	0,502	0,779	-0,654	-0,625	0,702	0,614	0,101	-	<0,001	<0,001	0,003	0,540	0,079	0,830	0,157	0,010
K ⁺	-0,593	0,463	0,609	-0,646	-0,860	0,904	0,481	0,087	0,803	-	<0,001	0,028	0,453	0,002	0,381	0,069	<0,001
SB	-0,557	0,467	0,702	-0,610	-0,658	0,753	0,644	0,319	0,945	0,865	-	0,002	0,935	0,089	0,635	0,074	0,005
t	-0,480	0,454	0,569	-0,602	-0,537	0,616	0,994	0,131	0,667	0,531	0,693	-	0,491	0,079	0,420	0,236	0,173
P _{disp}	0,148	-0,116	-0,365	0,209	-0,101	0,151	-0,194	<u>0,329</u>	-0,160	0,195	0,021	-0,179	-	0,560	<u>0,133</u>	0,443	0,885
Fe	-0,541	0,446	0,433	-0,593	-0,888	0,750	<u>0,416</u>	<u>-0,337</u>	0,438	0,695	0,425	0,437	0,152	-	0,760	0,305	0,080
Zn	0,082	-0,127	-0,096	0,181	-0,148	0,040	-0,237	<u>0,172</u>	0,056	0,227	0,124	-0,209	<u>0,379</u>	0,080	-	0,573	0,900
Mn	-0,378	0,351	0,260	-0,283	-0,420	0,467	0,295	0,192	0,359	0,451	0,444	0,304	0,199	0,265	0,147	-	0,144
MOS	-0,632	0,537	0,554	-0,568	-0,649	0,808	0,296	0,043	0,609	0,766	0,649	0,346	0,038	0,437	-0,033	0,370	-
b)		10 - 20 cm															
	Ds	PT	UG	RP	pH	H+Al	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	t	P	Fe	Zn	Mn	MOS
Ds	-	<0,001	0,494	0,719	0,908	0,939	0,947	0,628	0,609	0,998	0,755	0,964	0,249	0,830	0,323	0,237	0,470
PT	-0,952	-	0,572	0,780	0,987	0,970	0,759	0,463	0,627	0,963	0,859	0,783	0,253	0,807	0,368	0,204	0,463
UG	-0,178	0,147	-	<0,001	0,002	0,004	0,027	0,619	<0,001	0,001	<0,001	0,012	0,513	0,008	0,974	0,275	0,010
RP	0,094	-0,073	-0,762	-	0,018	0,015	0,129	0,618	0,012	0,008	0,012	0,082	0,372	0,015	0,721	0,196	0,072
pH	0,030	-0,004	-0,687	0,565	-	<0,001	0,069	0,268	0,019	<0,001	0,019	0,046	0,647	<0,001	0,297	0,039	<0,001

H+Al	-0,020	-0,010	0,663	-0,576	-0,921	-	0,017	0,326	0,013	<0,001	0,015	0,010	0,671	0,001	0,352	0,010	<0,001
Al ³⁺	-0,017	0,080	0,535	-0,383	-0,451	0,571	-	0,964	0,024	0,009	0,012	<0,001	0,405	0,554	0,954	0,432	0,032
Ca ²⁺	-0,127	0,191	0,130	0,130	0,285	-0,254	0,012	-	0,651	0,732	0,217	0,886	0,968	<u>0,458</u>	0,692	0,814	0,433
Mg ²⁺	0,134	-0,127	0,773	-0,596	-0,563	0,587	0,545	0,118	-	0,001	<0,001	0,009	0,202	0,060	0,881	0,053	0,018
K ⁺	-0,001	0,012	0,748	-0,617	-0,884	0,916	0,614	-0,090	0,710	-	0,001	0,004	0,779	0,006	0,312	0,012	<0,001
SB	0,082	-0,047	0,820	-0,595	-0,563	0,580	0,593	0,316	0,949	0,746	-	0,004	0,407	0,638	0,920	0,103	0,020
t	-0,012	0,072	0,591	-0,434	-0,489	0,606	0,993	0,038	0,609	0,665	0,657	-	0,179	0,085	0,988	0,323	0,018
P	-0,296	0,294	-0,170	0,231	-0,120	0,111	0,216	0,010	-0,325	0,073	0,407	0,492	-	0,875	0,115	0,912	0,518
Fe	-0,056	-0,064	0,617	-0,580	-0,804	0,714	0,155	<u>-0,193</u>	0,465	0,638	0,430	0,210	0,041	-	0,406	0,026	0,014
Zn	-0,255	0,233	0,008	-0,093	-0,269	0,241	-0,015	-0,104	-0,039	0,261	0,026	0,004	0,396	0,216	-	0,531	0,292
Mn	0,303	-0,325	0,281	-0,330	-0,503	0,608	0,204	-0,062	0,477	0,592	0,103	0,323	0,029	0,538	0,163	-	0,034
MOS	-0,188	0,191	0,607	-0,448	-0,796	0,846	0,521	-0,204	0,566	0,802	0,560	0,566	0,169	0,583	0,271	0,517	-

Ds: densidade do solo; PT: porosidade total; UG: umidade gravimétrica; RP: resistência à penetração; SB: soma de bases; t: capacidade efetiva de troca de cátions; MOS: matéria orgânica do solo; a matriz superior (itálico) representa os valores de *p* e a matriz inferior representa os valores de *r*; valores em negrito correspondem a correlação forte ($r > 0,6$) ou correção significativa ($p < 0,05$) entre as variáveis selecionadas com maior peso em cada PC; valores sublinhados correspondem a correlação fraca ($r < 0,6$) ou correção não significativa ($p > 0,05$) entre as variáveis selecionadas com maior peso em cada PC.

APÊNDICE G - Relação entre a macrofauna edáfica e os atributos físico-químico do solo.

Tabela 1. PERMANOVA: teste do efeito dos atributos do solo (físico-químico), selecionados pelo conjunto mínimo de dados, para a ordenação (PCoA) da composição da densidade de macroinvertebrados edáfico nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm.

a) 0 - 10 cm						
Fonte de variação	df	SQ	MQ	Pseudo-F	r ²	p(perm)
H+Al	1	0,572	0,572	6,54	0,182	0,0025
P	1	0,251	0,251	2,88	0,080	0,0629
Fe	1	0,059	0,059	0,68	0,019	0,5186
Ca ²⁺	1	0,045	0,045	0,52	0,014	0,5807
Zn	1	0,178	0,178	2,04	0,057	0,1359
Al ³⁺	1	0,023	0,023	0,26	0,007	0,7679
Resíduo	23	2,011	0,087		0,641	
Total	29	3,139			1,000	
b) 10 - 20 cm						
Fonte de variação	df	SQ	MQ	Pseudo-F	r ²	p(perm)
H+Al	1	0,824	0,824	6,330	0,197	0,0077
P	1	0,418	0,418	3,220	0,100	0,0542
Fe	1	0,260	0,260	2,000	0,062	0,1485
Ca ²⁺	1	0,062	0,062	0,476	0,015	0,6080
Ds	1	0,011	0,011	0,009	0,003	0,9127
Resíduo	20	2,601	2,601		0,623	
Total	25	4,177	0,130		1,000	

Ds: densidade do solo.