

PRODUÇÃO TÉCNICA ITV DS

USO DE INVERTEBRADOS TERRESTRES COMO BIOINDICADORES DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NO COMPLEXO MINERAL DE CARAJÁS

GILLIANA ALMEIDA DA ROSA

Relatório técnico apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Orientador: Rodolfo Jaffé, PhD.

Co-orientador: Markus Gastauer, PhD.

Belém / PA

Janeiro/2019

Título: Uso de invertebrados terrestres como bioindicadores de recuperação ambiental no complexo mineral de Carajás.	
PROD. TEC. ITV DS N033/2019	Revisão
Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (x) Pública	00

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

<p>R788 Rosa, Gilliana Almeida da Uso de invertebrados terrestres como bioindicadores de recuperação ambiental no complexo mineral de Carajás. / Gilliana Almeida da Rosa – Belém, 2019. 70 f.: il.</p> <p>Dissertação (mestrado) -- Instituto Tecnológico Vale, 2019. Orientador: Rodolfo Jaffé, PhD. Co-orientador: Markus Gastauer, PhD.</p> <p>1. Biodiversidade - Carajás (PA). 2. Bioindicador - Carajás, (PA). 3. Invertebrados - Carajás, (PA). I. Jaffé, Rodolfo. II. Gastauer, Markus. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDD.23. ed. 581.098115</p>
--

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves – CRB 2 – 525

GILLIANA ALMEIDA DA ROSA

**USO DE INVERTEBRADOS TERRESTRES COMO BIOINDICADORES
DE RECUPERAÇÃO AMBIENTAL NO COMPLEXO MINERAL DE
CARAJÁS**

Relatório técnico apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais, área de Ciências Ambientais, do Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável (ITV DS).

Data da aprovação:

Banca examinadora:

Dr. Rodolfo Jaffé Ribbi
Orientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Dr. Markus Gastauer
Co-Orientador- Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Dr. Maria Cristina Empósito
Membro externo – Universidade Federal do Pará (UFPA)

Dr. Priscila Sanjuan de Medeiros Sarmiento
Membro externo – Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária (EMBRAPA)

Dr. Tereza Cristina Giannini
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao único, que é digno de receber a honra e glória, meu poderoso Deus. Agradeço por ser o centro e o fundamento de tudo em minha vida, por renovar a cada momento a minha força e disposição e pelo discernimento concedido ao longo dessa jornada.

Àqueles que me deram a vida: meus pais, Gilson C. da Rosa e Eliana Lira, obrigada por contribuir com tantos ensinamentos. Por extensão, meus irmãos Gillian, Natan e Maria Clara.

Ao meu esposo Fabio Baía, por toda paciência, compreensão, carinho, amor e por me ajudar a achar soluções quando elas pareciam não existir.

Ao Instituto Tecnológico Vale (ITV), pela oportunidade de ingressar no mestrado profissional em ciências ambientais e desenvolvimento sustentável.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado e pelo apoio financeiro.

Ao orientador Dr. Rodolfo Jaffé, por sua compreensão, paciência, contribuições e sugestões fundamentais para o desenvolvimento desta dissertação.

Ao Co-orientador, Dr. Markus Gastauer, por todo o conhecimento passado, pela atenção, paciência e disponibilidade.

Agradeço aos pesquisadores Cecílio Frois, Joyce Reis, Markus Gastauer, Rafael, Silvio Ramos pela ajuda no trabalho em campo, agradeço também a Leonardo Trevelin por ajudar durante as análises de dados.

Ao Pesquisador Dr. Rogerio Silva e a Doutoranda Lívia Prado do Museu Paraense Emilio Goeld - MPEG, pela identificação das formigas.

A Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA, em especial o Drº Bruno Zaché por disponibilizar o laboratório de Entomologia e auxiliar na identificação dos invertebrados.

A todos que de alguma forma, contribuíram para realização deste trabalho e que não foram citados nominalmente, muito obrigada!

RESUMO

Bioindicadores são frequentemente utilizados para estudos de avaliação da qualidade ambiental, como monitoramento de áreas degradadas e processos de recuperação. Eles estão associados a características específicas da paisagem e respondem às mudanças ambientais por meio de alterações na composição e estrutura das comunidades. Diante disto, este trabalho tem por objetivo avaliar a influência da revegetação após a mineração sobre as comunidades de invertebrados em diferentes ambientes e definir quais grupos podem ser utilizados como bioindicadores. O estudo foi realizado na Província Mineral de Carajás, situada no sudeste do estado do Pará. Foram definidas oito áreas de estudo onde seis estão em diferentes estágios de revegetação e duas são referência de canga. Três áreas são localizadas nos arenitos e as outras três em pilhas de estéril. Em cada estágio de revegetação foram instaladas 3 parcelas, totalizando 76, tendo cada uma a dimensão de 10 x 10 metros, com quatro armadilhas tipo *pitfall*, que permaneceram instaladas durante o período de 24 horas para a captura de invertebrados. Os indivíduos coletados foram triados e identificados ao maior nível taxonômico possível. Foram encontrados 17.101 espécimes pertencentes a 72 famílias e 287 morfoespécies. Formicidae destacou-se com 9.018 indivíduos, 39 gêneros e 97 espécies. Foram encontradas 10 famílias nos ambientes de arenito e 15 famílias nas áreas de pilha de estéril que diferiram da composição geral de famílias entre as áreas, demonstrando diferença na composição das famílias de invertebrados entre os estágios de revegetação. Para Formicidae, há composição de espécies é similar para ambas áreas de arenito e pilhas de estéril. No ambiente arenito o estágio de revegetação tem influência positiva sobre a riqueza e composição de morfoespécies enquanto no ambiente de pilha de estéril influencia riqueza, diversidade e composição. Nos arenitos a densidade de borda floresta influencia positivamente a diversidade e tem efeito negativo sobre a composição de morfoespécies. Área de floresta tem influência positiva sobre a diversidade nos arenitos e densidade de mancha floresta tem influência sobre a riqueza de morfoespécies nas pilhas de estéril. Para família Formicidae, estágio de revegetação tem influência positiva sobre a riqueza, diversidade e composição nos ambientes de arenito e pilha de estéril. A diversidade de shannon, influência de forma positiva a composição de formigas nos arenitos. Distância floresta tem efeito negativo sobre a riqueza. Densidade de mancha floresta influencia positivamente a diversidade, área de floresta tem efeito positivo sobre a composição e distância mineração tem influência positiva sobre composição nos ambientes pilha de estéril. Na análise para indicadores de áreas recuperadas no ambiente arenito destacou-se, algumas espécies das ordens Coleoptera, Díptera e Hymenoptera, e em solo exposto as ordens as Colembola e Hymenoptera. No ambiente pilha de estéril, destacam-se como indicadores as ordens Coleoptera, Colembola, Dermaptera, Isoptera e Hymenoptera e nas áreas de solo exposto Coleoptera e Díptera. Assim conclui-se que riqueza e diversidade de invertebrados nos ambientes estudados difere entre as áreas de estágio de revegetação e também é influenciada por características da paisagem ligadas a cobertura vegetal. Como contribuição desta pesquisa, esperamos que os resultados obtidos sobre bioindicadores de revegetação possam ser utilizados em futuros programas de monitoramento para acompanhamento de áreas em recuperação.

Palavra-chave: Biodiversidade. Bioindicador. Invertebrados. Revegetação.

ABSTRACT

Bioindicators are often used for environmental quality assessment studies, such as monitoring of degraded areas and recovery processes. They are associated with landscape-specific characteristics and respond to environmental changes through changes in the composition and structure of communities. In view of this, this work aims to evaluate the influence of revegetation after mining on the invertebrate communities in different environments and to define which groups can be used as bioindicators. The study was carried out in the Carajás Mineral Province, located in the southeastern state of Pará. Eight study areas were defined where six are in different revegetation stages and two are canga reference. Three areas are located in the sandstones and the other three in sterile stacks. At each stage of revegetation, three plots were installed, totaling 76, each one measuring 10 x 10 meters, with four pitfall traps, which remained installed during the 24-hour period for the capture of invertebrates. The individuals collected were screened and identified at the highest taxonomic level possible. We found 17,101 specimens belonging to 72 families and 287 morphospecies. Formicidae stood out with 9,018 individuals, 39 genera and 97 species. Ten families were found in sandstone environments and 15 families in the sterile pile areas that differed from the general family composition between the areas, showing a difference in the composition of the invertebrate families between the revegetation stages. For Formicidae, species composition is similar for both sandstone areas and sterile stacks. In the sandstone environment the revegetation stage has a positive influence on the richness and composition of morphospecies while in the sterile cell environment it influences richness, diversity and composition. In sandstones forest edge density positively influences diversity and has a negative effect on morphospecies composition. Forest area has positive influence on diversity in sandstones and density of forest spot has influence on the richness of morphospecies in the sterile stacks. For Formicidae family, revegetation stage has a positive influence on the richness, diversity and composition in the environments of sandstone and sterile pile. The diversity of shannon, influence positively the composition of ants in the sandstones. Distance forest has negative effect on wealth. Density of forest spot positively influence diversity, forest area has positive effect on the composition and distance mining has positive influence on composition in the sterile pile environments. In the analysis for indicators of areas recovered in the sandstone environment, some species of the orders Coleoptera, Diptera and Hymenoptera were highlighted, and Colembola and Hymenoptera on exposed soil. In the sterile cell environment, the orders Coleoptera, Colembola, Dermaptera, Isoptera and Hymenoptera are highlighted as indicators and Coleoptera and Díptera exposed soil areas. Thus, it is concluded that the richness and diversity of invertebrates in the studied environments differs between revegetation stages and is also influenced by landscape characteristics linked to vegetation cover. As a contribution of this research, we hope that the results obtained on revegetation bioindicators can be used in future monitoring programs to monitor areas in recovery.

Key words: Biodiversity. Bioindicator. Invertebrates. Revegetation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Mapa da área de estudo mostrando a localidade dos pontos de coleta (azul) dos invertebrados terrestres. Localização da Flona Carajás, Pará Brasil.....	22
Figura 2 -	Aspecto geral dos estágios de revegetação no arenito. (A) A2_WHTH, representando solo exposto, (B) A1_INI, representando estágio inicial de revegetação; (C) A2_INT, representando estágio Intermediário; (D) A3_ADV5, representando estágio avançado.....	23
Figura 3 -	Aspecto geral dos estágios de revegetação na pilha de estéril. (A) O_WHTH, representando solo exposto da área Oeste, (B) S4_INI, representando estágio inicial da área sul IV; (C) NW_INT, representando estágio Intermediário da área Noroeste; (D) O_ADV, representando estágio avançado da área Oeste; (E) Referência canga; (F) Referência Capão; (G) Referência floresta.....	24
Figura 4 -	Armadilha utilizada para amostragem de invertebrados. (A) <i>pitfall</i> tipo copo plástico; (B) <i>pitfall</i> parte superior (pescoço) da garrafa pet para área de canga.....	27
Figura 5 -	Triagem de espécimes e identificação taxonômica em lupa (aumento 50x). (A) Hymenoptera; (B) Collembola.....	28
Figura 6 -	Número total de invertebrados terrestres, por família, coletadas nos diferentes estágios de revegetação no ambiente arenito e pilha de estéril.....	30
Figura 7 -	Número total de invertebrados terrestres, por família, coletadas na referência (floresta/canga).....	30
Figura 8 -	Riqueza de morfoespécies nos diferentes estágios de revegetação nos arenitos, e referência (floresta/canga). Estágio inicial (2-3 anos), estágio intermediário (3-6 anos) e estágio avançado (7 ou mais anos).....	32
Figura 9 -	Relação entre a diversidade de morfoespécies e densidade de borda no raio de 200m.....	33
Figura 10 -	Relação entre a diversidade de morfoespécies e floresta no raio de 100m...	33
Figura 11 -	Relação entre a composição de morfoespécies no eixo (MDS1) e densidade de borda no raio de 100m no ambiente arenito.....	34

Figura 12 -	MDS enredo da composição de família de invertebrados em diferentes estágios de revegetação no ambiente arenito.....	35
Figura 13 -	Composição de morfoespécies de invertebrados no eixo MDS1(a) e MDS2(b) no ambiente arenito).....	36
Figura 14 -	Riqueza de espécies nos diferentes estágios de revegetação no ambiente arenito, e referência (floresta/canga). INI é estágio inicial (0-2 anos), INT é estágio intermediário (3-6 anos) e ADV é estágio avançado (7 ou mais anos).....	38
Figura 15 -	Diversidade de espécies de formigas nos diferentes estágios de revegetação nos arenito e referência (floresta/canga). Estágio inicial (2-3 anos), estágio intermediário (3-6 anos) e estágio avançado (7 ou mais anos).....	38
Figura 16 -	Relação entre a composição de espécie de formigas no eixo MDS2 e diversidade de shannon de tipos de cobertura vegetal, no raio 200m no ambiente arenito.....	39
Figura 17 -	MDS enredo da composição de espécies de formigas em diferentes estágios de revegetação no ambiente arenito.....	40
Figura 18	Composição de espécies de formigas no eixo MDS1 (a) e MDS2 (b) no ambiente arenito.....	41
Figura 19 -	Riqueza de morfoespécies nos diferentes estágios de revegetação nas pilhas de estéril, e referência (floresta/canga). Estágio inicial (2-3 anos), estágio intermediário (3-6 anos) e estágio avançado (7 ou mais anos).....	43
Figura 20 -	Relação entre a riqueza de morfoespécies e densidade manchas floresta no raio de 100m no ambiente pilhas de estéril.....	43
Figura 21 -	Diversidade de morfoespécies nos diferentes estágios de revegetação nas pilhas de estéril, e referência (floresta/canga). Estágio inicial (2-3 anos), estágio intermediário (3-6 anos) e estágio avançado (7 ou mais anos).....	44
Figura 22 -	Relação entre a diversidade de morfoespécies e a densidade de mancha floresta no raio de 100m no ambiente pilhas de estéril.....	44
Figura 23 -	MDS enredo da composição de invertebrados em diferentes estágios de revegetação no ambiente pilhas de estéril.....	45
Figura 24 -	Composição de espécies de formigas no eixo MDS1 (a) e MDS2 (b) no ambiente pilha de estéril.....	46

Figura 25 -	Riqueza de espécies de formigas nos diferentes estágios de revegetação no ambiente pilhas de estéril, e referência (floresta e canga). INI é estágio inicial (0-2 anos), INT é estágio intermediário (3-6 anos) e ADV é estágio avançado (7 ou mais anos).....	48
Figura 26 -	Relação entre a riqueza de espécie de formigas e distância floresta no ambiente pilhas de estéril.....	48
Figura 27 -	Diversidade de espécies de formigas nos diferentes estágios de revegetação no ambiente pilhas de estéril e referência (floresta/canga). INI é estágio inicial (0-2 anos), INT é estágio intermediário (3-6 anos) e ADV é estágio avançado (7 ou mais anos).....	49
Figura 28 -	Relação entre a diversidade de espécies de formigas e densidade de mancha floresta no raio de 100m, no ambiente pilhas de estéril.....	49
Figura 29 -	Relação entre a composição de espécies de formigas no eixo MDS1 e distância floresta no ambiente pilhas de estéril.....	50
Figura 30 -	Relação entre a composição de espécies de formigas no eixo MDS1 e floresta no raio de 200 no ambiente pilhas de estéril.....	51
Figura 31 -	Relação entre a composição de espécies de formigas no eixo MDS2 e distância mineração no ambiente pilhas de estéril.....	52
Figura 32 -	Relação entre a composição de espécies de formigas no eixo MDS2 e densidade de mancha floresta no raio de 100, no ambiente pilhas de estéril.....	52
Figura 33 -	MDS enredo da composição de espécies de formigas em diferentes estágios de revegetação no ambiente pilhas de estéril.....	53
Figura 34 -	Composição de espécies de formigas no eixo MDS1 (a) e MDS2 (b) no ambiente pilha de estéril.....	54
Figura 35 -	MDS enredo da composição de espécies de formigas em diferentes estágios de revegetação no ambiente pilhas de estéril.....	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Lista das áreas de estudos e seus respectivos estágios de revegetação.....	25
Tabela 2 -	Descrição das variáveis avaliadas.....	26
Tabela 3 -	Número de indivíduos, família e espécies coletados em diferentes estágios de revegetação nos ambientes de arenitos, pilhas de estéril e áreas de referência (floresta/Canga).....	30
Tabela 4 -	Resultado dos testes de Likelihood Ration Tets (drop1), avaliado para cada variável resposta a relação entre as variáveis preditoras no ambiente arenito	31
Tabela 5	Modelo final com variável independente significativa, avaliadas para variável dependente (Composição no eixo 1) dos arenitos.....	34
Tabela 6 -	Resultado dos testes de Likelihood Ration Tets (drop1), avaliado para cada variável resposta a relação entre as variáveis preditoras no ambiente arenito	36
Tabela 7 -	Modelo final com variável independente significativa, avaliadas para variável dependente (composição de espécies de formiga no eixo 1) no arenito.....	39
Tabela 8 -	Modelo final com as variáveis independentes significativa, avaliadas para variável dependente (Composição de espécies de formiga eixo2) nos arenitos.....	39
Tabela 9 -	Resultado dos testes de Likelihood Ration Tets (drop1), avaliado para cada variável resposta a relação entre as variáveis preditoras no ambiente de pilhas de estéril.....	41
Tabela 10 -	Modelo final com as variáveis independentes significativa, avaliadas para variável dependente (composição de espécies no eixo 1) nas pilhas de estéril	45
Tabela 11 -	Resultado dos testes de Likelihood Ration Tets (drop1), avaliado para cada variável resposta a relação entre as variáveis preditoras no ambientes de pilhas de estéril.....	46
Tabela 12 -	Modelo final com variável independente significativa, avaliadas para variável dependente (Composição de espécie de formiga eixo 1) nas pilhas de estéril.....	50
Tabela 13 -	Modelo final com variável independente significativa, avaliadas para variável dependente (Composição de espécie de formiga eixo 2) nas pilhas de estéril.....	51
Tabela 14 -	Ocorrência de espécie/ morfoespécies indicadoras de cada estágio de revegetação no ambiente arenito.....	55

Tabela 15 - Ocorrência de espécie/ morfoespécies indicadoras de cada estágio de revegetação no ambiente pilha de estéril.....	56
Tabela 16 - Ocorrência de espécie/ morfoespécies indicadoras de referência (floresta/canga)	56

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVO.....	16
2.1	GERAL.....	16
2.2	ESPECIFICOS.....	16
3	REFERENCIAL TEORICO.....	17
3.1	RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS.....	17
3.2	BIOINDICADORES PARA MONITORAMENTO DE ÁREAS EM RECUPERAÇÃO.....	19
3.3	INVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES.....	20
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
4.1	LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.....	21
4.2	AMOSTRAGEM E PONTOS DA COLETA.....	22
4.3	COLETA DE DADOS.....	26
4.3.1	Métricas de paisagem.....	26
4.3.2	Variáveis avaliadas.....	26
4.4	PROCEDIMENTO DE COLETA DE INVERTEBRADOS TERRESTRES.....	27
4.5	ANÁLISE DE DADOS.....	28
4.5.1	Análise estatística.....	28
5	RESULTADOS.....	29
5.1	AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS VARIÁVEIS PREDITORAS SOBRE A FAUNA DE INVERTEBRADOS NO AMBIENTE ARENITO.....	31
5.1.1	Riqueza de morfoespécies.....	32
5.1.2	Diversidade de morfoespécies.....	32
5.1.3	Composição de morfoespécies.....	33
5.2	AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS VARIÁVEIS PREDITORAS SOBRE A COMUNIDADE DE FORMIGAS NO AMBIENTE ARENITO.....	36
5.2.1	Riqueza de espécies de formigas.....	37
5.2.2	Diversidade de espécies de formigas.....	38
5.2.3	Composição de espécies de formigas.....	39
5.3	AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS VARIÁVEIS PREDITORAS SOBRE A FAUNA DE INVERTEBRADOS NO AMBIENTE PILHA DE ESTERIL.....	41
5.3.1	Riqueza de morfoespécies.....	42

5.3.2	Diversidade de morfoespécies.....	43
5.3.3	Composição de morfoespécies.....	44
5.4	AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS VARIÁVEIS PREDITORAS SOBRE A COMUNIDADE DE FORMIGAS NO AMBIENTE PILHA DE ESTÉRIL.....	46
5.4.1	Riqueza de espécies de formigas.....	47
5.4.2	Diversidade de espécies de formigas.....	48
5.4.3	Composição de espécies de formigas.....	50
5.5	IDENTIFICAÇÃO DE ESPÉCIES BIOINDICADORAS.....	54
6	DISCUSSÃO.....	57
7	CONCLUSÃO.....	61
	REFERÊNCIA.....	62

1 INTRODUÇÃO

As últimas décadas têm sido marcadas por um grande crescimento urbano, que para ser mantido, necessita de atividade industrial de mesma magnitude, aumentando a pressão pelos recursos naturais (COSTA, 2013). Dentre as atividades antrópicas, a mineração apesar de não representar grande parcela em extensão, pode ser considerada uma das mais impactantes, em termos dos efeitos sobre o local afetado (BIZUTI, 2017). Sua ocorrência é pontual, limitando-se a pequenas áreas, se comparada à agricultura e pecuária que envolvem grandes extensões territoriais (MILLER; ZÉ-GRE, 2014). Entretanto, seus efeitos são drásticos, devido a destruição e/ou alteração da vegetação natural e das características físico-químicas dos solos e alteração do regime de escoamento da água (YADA *et al.*, 2015). No entanto, para minimizar os impactos impostos pela mineração, a legislação brasileira obriga as mineradoras a recuperar as áreas impactadas durante o processo de implantação. Portanto, é necessário utilizar estratégias para recuperação de áreas degradadas (MOREIRA; HUISING; BIGNELL, 2010, p. 368).

A recuperação traduz a restituição de uma área degradada a uma forma de utilização conforme um plano preestabelecido de uso do solo. Significa que uma área degradada será devolvida a condições mínimas para atingir o equilíbrio dinâmico, desenvolvendo assim novos solos e paisagem (BRASIL, 1990, p. 96). Já a restauração é uma atividade que visa revitalizar a integridade e funcionalidade do ecossistema após danos severos ou degradação, retornando essas condições o mais próximo possível do seu estado histórico de referência (BALAGUER *et al.*, 2014, p. 13). Ambas medidas necessitam ser monitoradas, a fim de permitir a avaliação de sua eficácia e evolução ao longo do tempo (RÉ, 2007), além disso, é um requisito legal em muitos países (IBAMA, 2011).

Entende-se por monitoramento ambiental o conhecimento e acompanhamento sistemático da situação dos recursos ambientais dos meios físico e biótico, visando a recuperação, melhoria ou manutenção da qualidade ambiental (MMA, 2009). Permite desta forma, verificar o efeito da cobertura vegetal na proteção dos solos e refúgio da vida silvestre, considerando a velocidade de crescimento da vegetação, a avaliação da estrutura e da biodiversidade (ALMEIDA, 2002, p. 160). Em Carajás, as minas de ferro são a céu aberto e todas as alterações feitas à paisagem estão diretamente relacionadas com a supressão vegetal seja em áreas de florestas ou campo rupestre (MARTINS, 2015). Para minimizar essas perdas,

é necessário monitorar a qualidade ambiental das áreas impactadas e acompanhar a recuperação de determinadas comunidades após a perturbação causada (VALENTIM, 2010, p. 23).

Uma forma de avaliar áreas em recuperação é o uso de bioindicadores, usado como ferramenta de monitoramento ambiental (GARDNER, 2010), tanto para conhecimento dos padrões e processos ecológicos quanto para avaliar a eficiência na recuperação de áreas degradadas (GOLLAN *et al.*, 2011). Para um organismo ser utilizado com eficiência como bioindicador de degradação ou de recuperação ambiental esse deve possuir atributos particulares, tais como: riqueza de espécies local e global, facilidade para serem amostradas, possibilidade de identificação das espécies ou de separação em morfoespécies, importância ecológica e respostas rápidas aos estresses ambientais (PEDRON, 2016, p. 14). Os invertebrados são organismos ideais para serem utilizados como bioindicadores (BASSET *et al.*, 1998; VASCONCELLOS *et al.*, 2015), pois além das características citadas acima, sua diversidade está relacionada com vários outros componentes bióticos, podendo responder mais rapidamente às alterações ambientais do que as propriedades químicas e físicas dos solos durante os estágios de recuperação (BARETTA *et al.*, 2011).

O presente projeto realizou um levantamento das espécies de invertebrados no Complexo Mineral de Carajás, em áreas de recuperação ambiental com diferentes estágios de revegetação e áreas de referências (Canga e Floresta). Foram avaliados quais organismos são influenciados por medidas de recuperação através de estudo comparativo entre as áreas revegetadas. Para isso, as seguintes hipóteses foram testadas: (i) A riqueza, composição e diversidade de invertebrados terrestres está relacionada com os diferentes estágios de revegetação. (ii) A estrutura da paisagem determina a diversidade de invertebrados, e tais características como o tamanho da mancha, densidade de manchas e efeito de borda tem influência sobre a diversidade de espécies. (iii) Cada grupo de organismos da fauna de invertebrados terrestres responderá diferentemente a revegetação, diferindo no grau de sensibilidade.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

- Avaliar a influência da revegetação sob as comunidades de invertebrados terrestres para identificar possíveis espécies com potencial de bioindicadores ambientais.

2.2 ESPECÍFICOS

- Caracterizar e comparar a fauna de invertebrados terrestres em termos de composição, abundância, riqueza e diversidade em áreas em diferentes estágios de revegetação e área nativa;
- Avaliar o efeito do estágio de revegetação sobre a fauna de invertebrados terrestres;
- Identificar as espécies que melhor descrevem o processo de revegetação e que podem ser utilizados como indicadores para o monitoramento das áreas em recuperação.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS

A degradação de uma área ocorre quando há perda de vegetação e fauna nativa, remoção da camada fértil do solo, e alteração da qualidade e regime de vazão do sistema hídrico (WILLIAMS *et al.*, 1990). A degradação ambiental ocorre quando há perda de adaptação às características físicas, químicas e biológicas do solo, com inviabilizado o desenvolvimento sócio-econômico” (BRASIL, 1990). A recuperação de áreas degradadas (RAD) pode ser entendido como a estabilização da paisagem (CORRÊA; MELO FILHO; BATISTA; 2007), sendo necessário para compensar as perdas ambientais, e indispensável para alcançar a sustentabilidade das operações de mineração (GASTAUER, MEIRA-NETO, 2013; PERRING *et al.*, 2015).

A degradação pode ser revertida por meio de vários meios de retorno da paisagem: a recuperação, restauração e reabilitação (BRASIL, 1990). De acordo com o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (BRASIL, 2000), a recuperação se refere à “restituição de um ecossistema ou de uma população silvestre degradada a uma condição não degradada, que pode ser diferente de sua condição original”. Na legislação federal brasileira o objetivo da recuperação é o “retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente” (Decreto Federal 97.632/89). Esse decreto se assemelha ao estabelecido pelo IBAMA, o qual define que a recuperação busca condições mínimas para estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem.

A restauração de áreas degradadas tem como objetivo recuperar as condições do habitat ou ecossistema modificado, retornando essas condições o mais próximo possível do seu estado histórico de referência (BALAGUER *et al.*, 2014, p. 10). Segundo *Society for Ecological Restoration* (SER) (2004, p. 3) a restauração é definida como processo assistido, que visa recuperar aspectos da estrutura e funções ecológicas característicos do ecossistema alterado, influenciando-o através da eliminação de fatores de impacto, introduzindo espécies que são capazes de restabelecer rapidamente condições de sombreamento e temperatura mais amenas e/ou facilitando a chegada de espécies aos locais onde se deseja que a cobertura natural retorne após uma perturbação.

A reabilitação é definida como retorno da área a um estado biológico apropriado (MAJER, 1989). Seja para o uso produtivo, como a implantação de uma atividade lucrativa, ou

para seu uso recreativo. Para McDonald, Jonson e Dixon (2016) a reabilitação são ações diretas ou indiretas com o objetivo de restabelecer certo nível de funcionalidade ecossistêmica sem buscar a restauração ecológica, mas sim a renovação e continuidade da provisão de serviços ecossistêmico. Para a SER (2004, p. 7) a reabilitação compartilha com a restauração um enfoque fundamental sobre os ecossistemas históricos ou preexistentes, como modelos ou referências, diferindo apenas nas suas metas e estratégias. A reabilitação enfatiza o reparo de processos ecológicos, a produtividade e os serviços de um ecossistema (SER, 2004).

É fundamental primeiramente, conhecer o nível de degradação e o seu potencial de regeneração, com o propósito de se obter sucesso na recuperação desses ambientes (ROCHA, 2012). Dentre as alternativas aplicadas para recuperação de áreas degradadas, destaca-se tornar os substratos minerados aptos ao recebimento de plantas e, identificar espécies nativas que são capazes de iniciar processos de modificação do ambiente pelas comunidades que habitam (ARAUJO, 2006, p. 8). Não basta apenas introduzir novamente a vegetação; envolvem-se ações como a modificação do solo e a reimplantação da fauna, seja para fins de preservação ou para uso em outras atividades econômicas (BRASIL, 1990).

Portanto, é necessidade de monitoramento e gerenciamento, desse processo de recuperação para comprovar com o objetivo proposto estão sendo atingido, já que estes sistemas apresentam caráter dinâmico e complexo, com as condições ambientais mudando no tempo (OLIVEIRA, 2011, p. 40). A utilização de organismos como indicadores da qualidade ambiental é vista como uma excelente estratégia para o monitoramento ambiental (WINK *et al.*, 2005), bem como uma ferramenta importante no acompanhamento da recuperação de áreas degradadas (OLIVEIRA, 2011, p. 26). Dentre estes organismos, os invertebrados têm se mostrado indicadores apropriados para essa função (WINK *et al.*, 2005; AMARAL, 2017, p. 18), tendo em vista sua diversidade e capacidade de produzir várias gerações, geralmente, em curto espaço de tempo, respondendo rápido às perturbações nos recursos de seu habitat e às mudanças na estrutura e função dos ecossistemas (PAIS; VARANDA, 2010). O monitoramento da fauna deve ser iniciado, segundo Brasil (1990), logo após o início da recuperação, o que permite um acompanhamento das etapas de sucessão.

3.2 BIOINDICADORES PARA MONITORAMENTO DE ÁREAS EM RECUPERAÇÃO

Após o estabelecimento da vegetação é necessário realizar o monitoramento das áreas revegetadas, visando avaliar o avanço no processo de recuperação ambiental (ALMEIDA, 2002, p. 163). São necessários estudos que mostrem como as características ambientais interagem e quais processos ecológicos mudam durante a recuperação da floresta (SEGAT *et al.*, 2017).

Uma das maneiras de avaliar os efeitos dos impactos ambientais e a eficiência da recuperação ambiental é através da utilização de indicadores ambientais (BRANCALION *et al.*, 2012, p. 7). Os bioindicadores são organismos vivos, comunidades, ou processos biológicos, cujas funções vitais se correlacionam estreitamente com um determinado fator antrópico ou a um fator natural com potencial impactante (ALMEIDA, 2002, p. 167). Representando importante ferramenta na avaliação da integridade ecológica (definida pela comparação da estrutura e função de uma comunidade biológica entre uma área impactada e áreas de referência) (ICB-UFMG, 2015).

Cabe ressaltar que o universo de indicadores é extenso, (BRANCALION *et al.*, 2012, p. 20) podendo-se medir, por exemplo, a riqueza, a diversidade e a densidade de espécies nativas (CADERNOS, 2011), banco de sementes a fenologia das espécies plantadas (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEM, 2009), os serviços ecossistêmicos, interação planta-animal (RÉ, 2007, p. 59; SEGAT *et al.*, 2017), qualidade nutricional da serapilheira, densidade e porosidade do solo, comunidade microbiológica do solo (PEREIRA *et al.*, 2013, VASCONCELLOS *et al.*, 2013) e outras tantas possibilidades existentes.

Os indicadores ambientais, para serem amplamente utilizáveis e aplicáveis, devem possuir algumas características, tais como: estarem relacionados a uma ou mais características a serem estudadas (critérios), possuírem taxonomia, ciclo de vida e biologia conhecidos (PRABHU *et al.*, (1996); Büchs (2003). Além disso, devem ser sensíveis às mudanças do ambiente para que possam ser utilizados no monitoramento das perturbações ambientais (THOMANZINI; THOMANZINI, 2000). Almeida (2002, p. 161) enfatiza como características importantes dos indicadores, a capacidade de demonstrarem simplicidade e clareza dos resultados a serem analisados, assim como o baixo custo de aplicação.

Muitos indicadores têm sido utilizados a fim de avaliar o sucesso de projetos de recuperação, dentre eles comunidade de invertebrados terrestres (JANSEN, 1997), a mesofauna edáfica (OLIVEIRA, SOLTO, 2011; GEORGE *et al.*, 2017), atributos microbiológicos e

bioquímicos do solo (SILVEIRA; MELLONI; MELLONI, 2006) e a regeneração natural (FERREIRA *et al.*, 2010).

A utilização de organismos vivos como indicadores de qualidade ambiental tem sido vista nos últimos anos, como uma excelente estratégia para o monitoramento ambiental, tanto para conhecimento dos padrões e processos ecológicos quanto para análise do impacto ou eficiência na recuperação de áreas degradadas, ao abordar as respostas da biota (MCGEOCH, 1998; KAPUSTA, 2008). Uma vez que mudanças como essas podem ocasionar alterações na diversidade, equitabilidade e composição desses organismos (LOUZADA; ZANETTI, 2013).

3.3 INVERTEBRADOS COMO BIOINDICADORES

Os invertebrados são amplamente considerados poderosos instrumentos de monitoramento na gestão ambiental por causa de sua grande abundância, diversidade e importância funcional e sua sensibilidade à perturbação (BROWN, 1997; WILSON, 1987; FREITAS *et al.*, 2005). Por se tratar de um grupo que ocupa diversos níveis de cadeia trófica, os invertebrados são eficazes para prever qualquer nível de alteração ambiental (BARETTA *et al.*, 2011), o que explica o crescente número de estudos das comunidades de invertebrados e da utilização destes dados na formulação de estratégias de conservação e diretrizes para o manejo de ecossistemas (BATISTA *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2016).

Vários grupos de invertebrados têm sido usados como bioindicadores do sucesso de reabilitação de minas, pois ocupam nichos especializados, fornecendo informações sobre a área de acordo com a sua presença ou ausência (VALENTIM, 2010, p. 29). Sendo que a presença de um determinado grupo e/ ou grupos em um sistema pode ser indicativa da qualidade do ambiente (LIMA; LIMA, 2007).

Dentre os invertebrados mais utilizados como bioindicadores, destaca-se, os da fauna edáfica. Denomina-se como fauna do solo ou fauna edáfica os invertebrados que vivem no solo durante toda a vida ou em algum estágio do ciclo biológico (AQUINO *et al.*, 2008; BARETTA *et al.*, 2011). Esses invertebrados têm um importante nos sistemas naturais e na atuação nos processos de decomposição, mineralização e humificação de resíduos orgânicos; imobilização e mobilização de macro e micronutrientes; estruturação e agregação do solo e consequente conservação e regulação de pragas e doenças (auto-regulação) (DEVIDE; CASTRO, 2009). Os grupos são classificados de acordo com sua mobilidade, hábito alimentar, função que desempenham no solo e, principalmente pelo seu tamanho corporal (diâmetro), em: microfauna (< 0,2 mm), mesofauna (0,2 – 2,0 mm) e macrofauna (> 2,0 mm) (SILVA; AMARAL, 2013).

Alguns invertebrados terrestres, especialmente os cupins, os besouros escarabeídeos, as formigas, as milipéias e as minhocas, recebem a denominação de “engenheiros do solo” por terem a capacidade de modificar as características físicas e químicas do solo por meio do desenvolvimento de estruturas biogênicas, como túneis, canais, galerias, ninhos, câmaras e bolotas fecais, modificando assim as propriedades físicas dos solos onde vivem e a disponibilidade e distribuição de nutrientes para outros organismos e plantas (BROWN *et al.*, 2015). Essas alterações contribuem para a formação de agregados estáveis, e isso faz com que a MOS seja mineralizada de forma mais lenta, o que promove aumento da disponibilidade de nutrientes para as plantas (LAVELLE; SPAIN, 2001).

Segundo Moreira, Huising e Bignell (2010, p. 309) alguns grupos de invertebrados podem responder mais rapidamente às modificações ambientais do que as propriedades químicas e físicas dos solos ou outros parâmetros durante os estágios de recuperação. O que corrobora os resultados de Segat *et al.*, (2017) que afirmam que a classificação de formigas por gênero é suficiente para separar as áreas em diferentes fases sucessionais da recuperação vegetativa e que essa característica é importante para futuras avaliações de processos de regeneração. Pereira *et al* (2007), afirma em seu trabalho que a riqueza e diversidade de espécies de formigas são maiores em ambientes de complexidade mais elevada.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

A área de estudo faz parte da Província Mineral de Carajás, localizada no interior da Floresta Nacional de Carajás (FLONA) situada no sudeste do estado do Pará entre as coordenadas geográficas de 05°52' e 06°33' S; 49°53 e 50°45' W, nos municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte e possui área de aproximadamente 400 mil hectares (BRASIL, 2016).

As formas de vegetação predominantes na região são Floresta Equatorial Ombrófila Aberta e Floresta Equatorial Ombrófila Densa, que compõe mais de 95% da Floresta Nacional de Carajás, havendo clareiras naturais de vegetação rupestre (vegetação metalófila) que se desenvolve diretamente sobre o afloramento rochoso de ferro, conhecido como “canga hematítica” (AB'SABER, 1986).

O clima da FLONA Carajás, segundo a classificação climática de Köppen, possui temperatura média anual de cerca de 26 °C (ALVARES *et al.*, 2014). A precipitação anual total

varia de 1.800 a 2.300 mm, variando ~ 350 mm durante a estação seca (junho a outubro) e ~ 1.550 mm durante a estação chuvosa (novembro a maio) (SAHOO *et al.*, 2016).

Os solos existentes na região são do tipo Cambissolo Háplico com Neossolo Litólico (40% da área total), e Latossolo Vermelho-Amarelo com Cambissolo Háplico (20% da área total) (Plano de Manejo da FLONA Carajás-PA 2003).

4.2 AMOSTRAGEM E PONTOS DA COLETA

Foram amostradas oito áreas de estudo, situadas na Floresta Nacional de Carajás (FLONA), distribuídos em vinte e seis pontos amostrais, onde vinte e um representam cronossequência de revegetação e cinco destes pontos são áreas de referências. Três áreas estão localizadas nos arenitos (minas fechadas de areia) e as outras três em pilhas de estéril – PDE (depósitos de resíduos de ferro) situados no Complexo Vale Ferrosos Carajás (Figura 1).

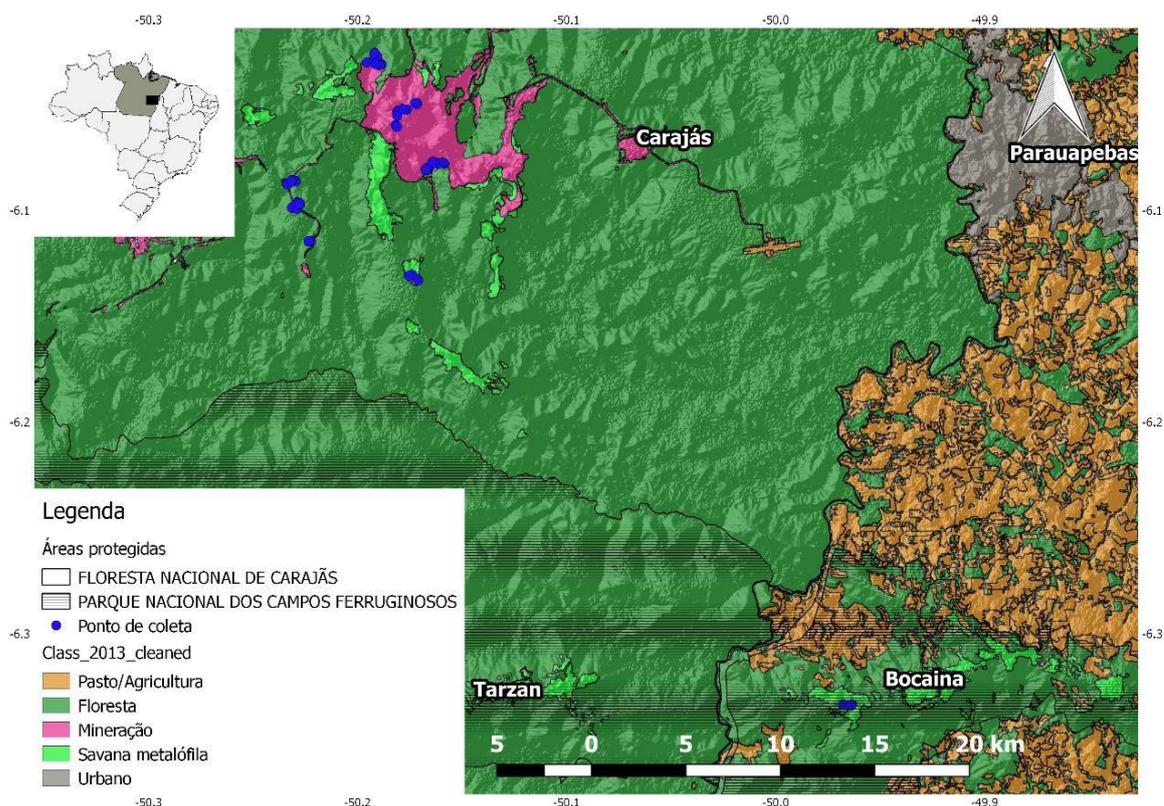


Figura 1 - Mapa da área de estudo mostrando a localização dos pontos de coleta (azul) dos invertebrados terrestres. Localização

Neste estudo foram considerados dois diferentes ambientes: Os arenitos (arenito I, II e III) e as pilhas de estéril (Noroeste 2, Oeste e Sul4) localizados no Complexo Vale Ferrosos Carajás.

Os arenitos eram cavas de extração de areia, que foram preenchidas com estéril da Mina de Granito, após o fim da exploração. Após preenchimento das cavas, as áreas foram aplainadas para revegetação (Figura 2). Ao contraste, as pilhas de estéril (Noroeste 2, Oeste e Sul4) são resíduos, advindos de materiais não-minerados, das diversas minas de ferro do Complexo de Carajás e depositados em pilhas de resíduos (Figura 3).

Em cada área de estudo foram definidos ao menos três estágios de revegetação. O estágio inicial que constitui de vegetação entre 2 ou 3 anos de idade, com diversidade arbórea baixa e serapilheira fina. O estágio intermediário caracteriza-se por uma vegetação arbórea densa e baixa, entre 4 e 6 anos de idade. O estágio avançado compreende a fisionomia arbórea dominante sobre as demais, com dossel fechado e relativamente uniforme no porte, áreas com mais de 7 anos. A área referência é constituída de duas fitofisionomias com cobertura vegetal original, sendo esta floresta ombrófila densa e savana metalófila com áreas de capão, que é uma mata com vegetação arbórea agrupadas cercada por campo rupestre.

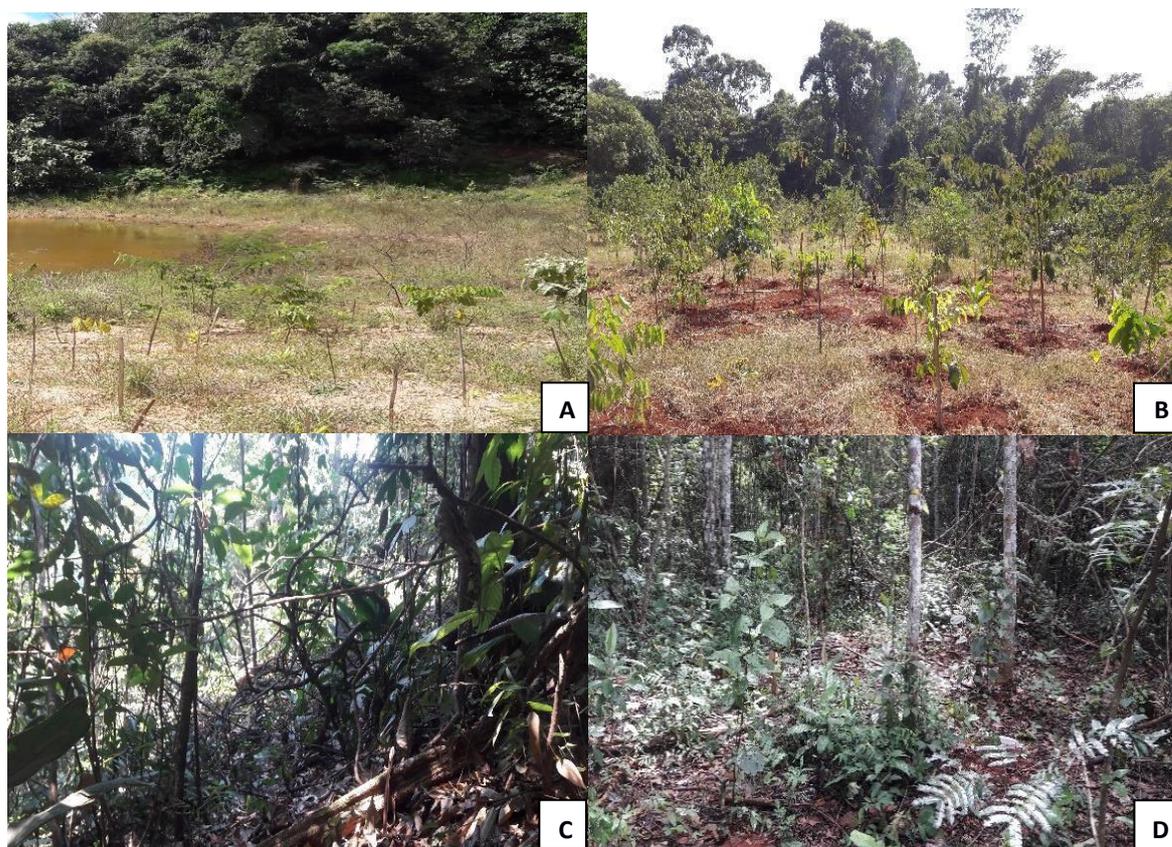


Figura 2 - Aspecto geral dos estágios de revegetação no Arenito. (A) A2_WHTH, representando estágio solo exposto, (B) A1_INI, representando estágio inicial de revegetação; (C) A2_INT, representando estágio Intermediário; (D) A3_ADV5, representando estágio avançado.

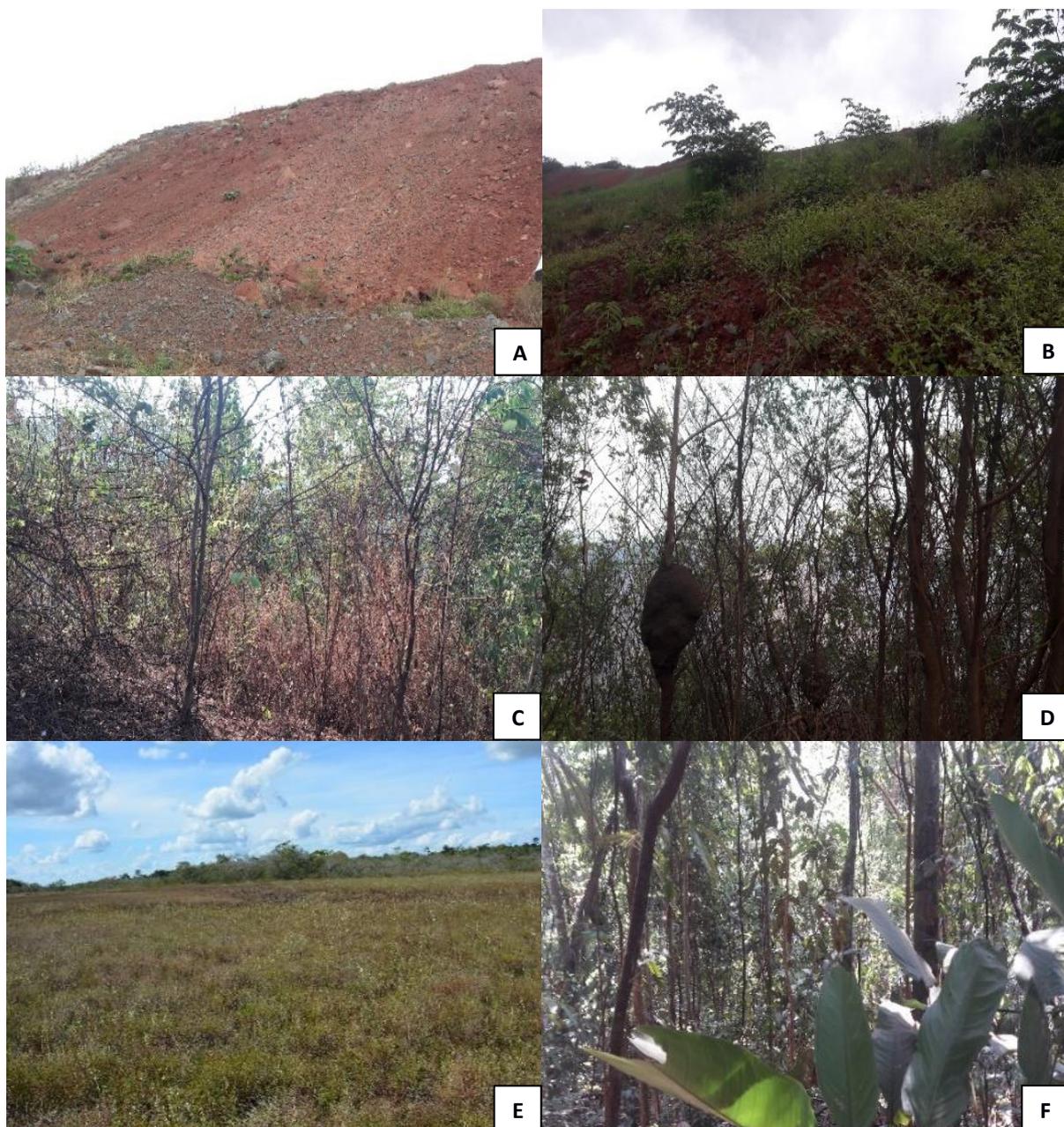


Figura 3 - Aspecto geral dos estágios de revegetação na Pilha de Estéril. (A) O_WHTH, representando estágio solo exposto da área Oeste, (B) S4_INI, representando estágio inicial da área sul IV; (C) NW_INT, representando estágio Intermediário da área Noroeste; (D) O_ADV, representando estágio avançado da área Oeste; (E) Referência canga; (F) Referência floresta.

As parcelas foram definidas de acordo com o monitoramento da flora. Em cada estágio de revegetação e área de referências (floresta/canga) foram instaladas três parcelas, tendo cada uma a dimensão de 10 x 10 metros (área de 100 m²) (Tabela 1).

Tabela 1 - Lista das áreas de estudos e seus respectivos estágios de revegetação.

Área	Estágios de revegetação	Idade (anos)	Número de parcelas
Arenito I	Inicial	2	3
	Intermediário	11	3
	Avançado	13	3
Arenito II	Solo exposto	1	3
	Inicial	2	3
	Intermediário	11	3
	Avançado	13	3
	Referência (Floresta)	-	3
Arenito III	Avançado	12	3
PDE Sul IV	Inicial	1	3
	Intermediário 1	6	3
	Intermediário 2	5	3
	Intermediário 3	4	1
	Avançado	7	3
	Referência (Floresta)	-	3
PDE Oeste	Solo exposto	-	3
	Intermediário1	5	3
	Intermediário2	6	3
	Avançado	7	3
PDE Noroeste	Solo exposto	-	3
	Inicial	2	3
	Intermediário	6	3
	Avançado	7	3
	Referência (Floresta)	-	3
Canga N6	Referência (Canga)	-	3
Serra da bocaina	Referência (Canga)	-	3
Total			76

4.3 COLETA DE DADOS

4.3.1 Métricas de paisagem

Para relacionar as variáveis das comunidades de invertebrados com as métricas da paisagem, foi realizado com o auxílio de mapas de uso do solo obtidos a partir da classificação visual de imagens do satélite Sentinel 2. 2017. Para mapeamento, foram adotadas quatro classes: 1) Floresta – Áreas de Floresta Equatorial Ombrófila Aberta e Densa; 2) Canga hematítica - vegetação rupestre; 3) Área de mineração; 4) Áreas de recuperação ambiental – com diferentes estágios de revegetadas. Foram selecionados seis métricas que refletem as diferentes características da paisagem (Tabela 2).

Foram selecionados seis métricas que refletem a composição e a estrutura das paisagens estudadas, conforme as hipóteses levantadas neste estudo. Para quantificar as métricas de paisagens foram considerados raios de tamanho variável (100m, 200m e 500m) para representar diferentes escalas na análise. Foram utilizados os centroides de cada parcela como referência para a construção dos buffers, onde métricas de sua composição e estrutura foram calculadas através do software Fragstats 4.2.1.

4.3.2 Variáveis avaliadas

Foram utilizadas três variáveis resposta e sete preditoras que representam a estrutura da paisagem (Tabela 2).

Tabela 2 - Descrição das variáveis avaliadas.

Tipo de variável	Nome da variável	Descrição
Resposta	Riqueza	Número de espécies/morfoespécies identificadas das unidades amostrais.
	Diversidade	Segundo o índice de shannon.
	Composição	Distribuição das espécies/morfoespécies encontradas.
Preditora	Estágio	Áreas em diferentes idades de revegetação.
	Distância floresta	Floresta mais próxima.
	Distância mineração	Mineração mais próxima.
	Densidade mancha floresta	Número de manchas de floresta na paisagem

Preditora	Densidade de borda	Total de bordas dividido pela área total em hectares.
	Quantidade de floresta	% de floresta em buffers no raio de 100m, 200m e 500m.
	Diversidade da área	Segundo o índice de shannon. Soma, entre todas as classes, da abundância proporcional de cada classe.

4.4 PROCEDIMENTO DE COLETA DE INVERTEBRADOS TERRESTRES

As coletas foram realizadas no período seco e chuvoso, nos meses de junho, agosto e setembro de 2017 (seca) e fevereiro, março e abril de 2018 (chuvoso). Foram utilizadas quatro armadilhas de queda tipo *pitfall* em cada parcela, totalizando 304 pontos amostrais. As armadilhas foram enterradas com suas bordas ao nível da superfície do solo, com distância de 10 metros entre si, nos vértices das parcelas. Foram usados dois modelos de armadilhas “*pitfall*”, o primeiro consiste em um copo plástico com altura de 12 cm e 9 cm de diâmetro e o segundo modelo é a parte superior (pescoço) da garrafa pet com altura de 7 cm e 9 cm de diâmetro. Esta segunda armadilha foi adaptada nas áreas de referência canga, por conta do solo rochoso, que impede a introdução de armadilhas maiores. Dentro de cada armadilha foi colocado 200ml de álcool, com diluição a 70% a fim de conservar e evitar a fuga dos invertebrados (Figura 4). Também foram utilizados pratos plásticos com 15 cm de diâmetro, para cobrir as armadilhas e proteger contra a ação da chuva, estes foram fixados no solo com auxílio de palitos de madeira. O estudo totalizou 24 horas de esforço amostral por *pitfall* a cada campanha.



Figura 4 - Armadilha utilizada para amostragem de invertebrados. (A) *pitfall* tipo copo plástico; (B) *pitfall* parte superior (pescoço) da garrafa pet para área de canga.

Os invertebrados capturados nas armadilhas tipo *pitfall*, foram transferidos para eppendorf com diluição a 70%, identificados previamente, levados ao laboratório de entomologia do Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA/Campus Parauapebas, e triados em lupa (aumento de 50x) (Figura 5). Posteriormente, os invertebrados foram separados em morfoespécies e identificados a nível de família. Apenas família Formicidae foi encaminhada para o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), para identificação a nível de espécie. A identificação foi feita utilizando as chaves de GALLO *et al.* (2002) e BORROR (1992).

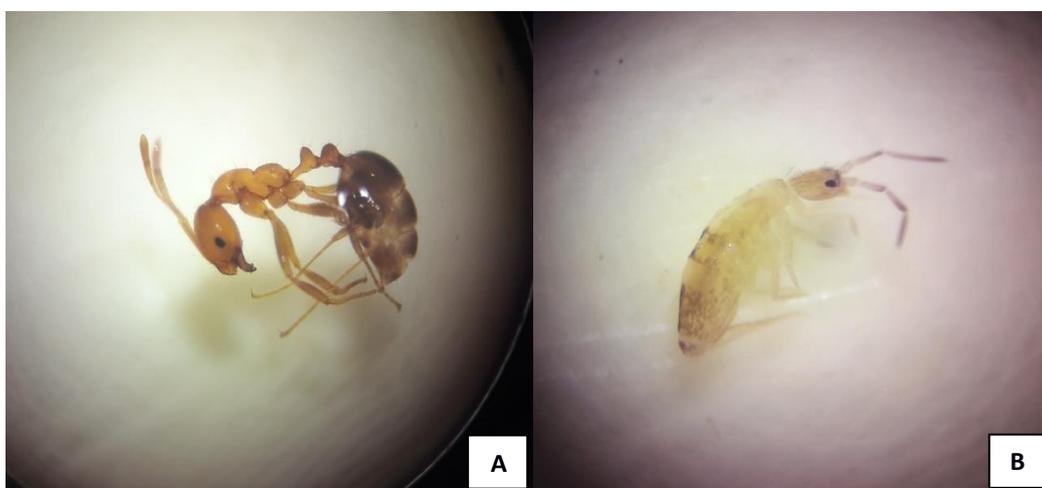


Figura 5 – Triagem de espécimes e identificação taxonômica em lupa (aumento 50x). (A) Hymenoptera; (B) Collembola.

4.5 ANÁLISE DE DADOS

4.5.1 Análise estatística

Foi produzida uma lista de espécies da composição dos invertebrados coletados em cada estágio de revegetação e suas respectivas abundancias relativas (número de indivíduos coletados). Foram realizadas duas análises para riqueza, a primeira de acordo com o número total de morfoespécies dos invertebrados e a segunda com espécie para formigas encontradas em cada estágio de revegetação. A riqueza foi obtida através da função “specnumber” do pacote “vegan”.

A diversidade foi estimada utilizando o índice de Shannon (1948), calculado para cada área de amostragem em diferentes estágios de revegetação. Para isso utiliza-se a função “diversidade” no pacote “vegan”.

Para visualizar os padrões de composição total de invertebrados foram realizadas duas análises de coordenadas principais (PCoA), uma com matriz em alta resolução taxonômica até

morfoespécies e a segunda análise a nível de família. No PCoA realizado até nível de família, os dois primeiros eixos explicaram 22% da variância total, enquanto na análise a nível de morfoespécies, os dois primeiros eixos explicam 18% da variabilidade. Por este motivo as análises de composição seguintes foram feitas utilizando a matriz ao nível de família.

Para avaliar o efeito dos estágios de revegetação sobre a fauna de invertebrados foram construídos modelos lineares mistos, com cada localidade de estudo como fator randômico. Foi avaliada a relação entre riqueza, diversidade de espécies e composição (variáveis de resposta) e variáveis preditoras como tempo de revegetação, distância floresta, distância mineração, densidade mancha floresta, densidade de borda, área floresta e diversidade shannon, todas em diferentes escalas buffers (100m, 200m e 500m). Para as escolhas das métricas foram realizados seleção de modelos com a função 'model.sel', utilizado o critério de informação de Akaike (AIC, Burnnham & Anderson, 1998), escolhendo as melhores escalas, para cada variável preditora.

Foram testados os modelos completos usando a função Likelihood Ration Tets 'Drop1' que compara o modelo com um que exclui uma variável preditora por vez, identificando a variável significativa. Para avaliar as interações entre as variáveis significativas foram comparados modelos com iteração e sem iteração. Esses modelos foram gerados para cada ambiente (Arenitos e Pilhas de estéril) considerando a comunidade de invertebrados total e a comunidade de formigas. Para ilustração, usamos o pacote 'ggplot2'.

Analisamos o potencial bioindicador das morfoespécies de invertebrados através do Método do Valor do Indicador (IndVal) (Dufrene e Legendre, 1997). Este método quantifica medindo o grau de análise especificidade (relação de uma espécie com uma variável específica) e o grau de fidelidade das espécies em relação aos estágios de revegetação. Todas as análises foram feitas no software R.

5 RESULTADOS

Foram coletados 17.101 espécimes de invertebrados pertencentes a 72 famílias que continham 287 morfoespécies. Dentre essas famílias, destaca-se Formicidae com 9.018 indivíduos, distribuídos em 39 gêneros e 97 espécies.

Considerando os dois ambientes amostrados, os arenitos apresentaram maior número de Famílias e espécies/morfoespécies (Tabela 3). Entre as famílias, a de maior abundância nos ambientes e nas áreas de referência (Floresta) foi a família Formicidae (Figura 6), enquanto que referência (Canga) foi a família Sminthuridae (Figura 7).

Tabela 3 - Número de indivíduos, família e espécies coletados em diferentes estágios de revegetação nos ambientes de Arenitos, Pilhas de Estéril e áreas de referência (florestas/Canga).

Ambiente	Nº de parcelas	Nº de indivíduos coletados	Nº de famílias	Nº de espécies
Arenitos	24	48,21%	62	195
Pilhas de estéreis	37	33,54%	54	167
Áreas de referência floresta	9	10,80%	35	109
Áreas de referência canga	8	7,45%	31	63
Total	72	17.101	72	287

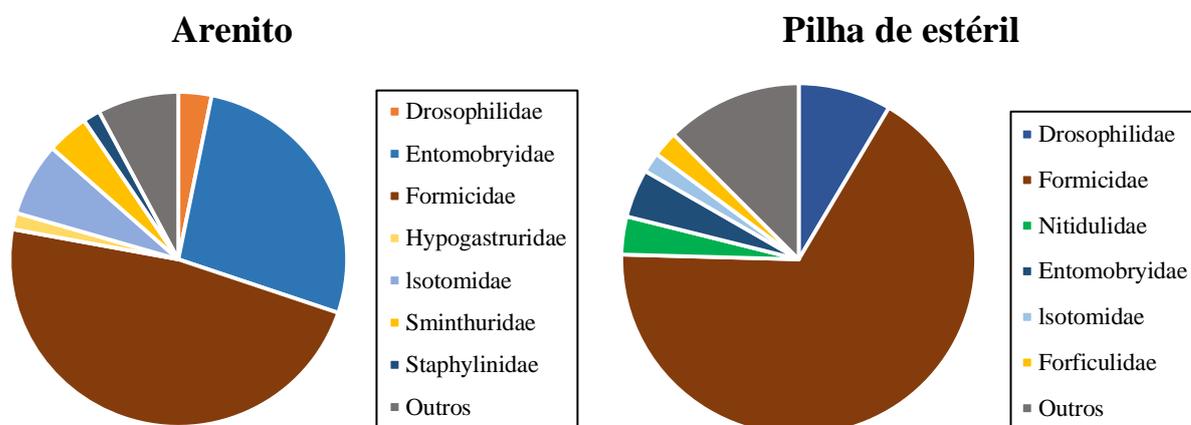


Figura 6 - Número total de invertebrados terrestres, por família, coletadas nos diferentes estágios de revegetação no ambiente arenito e pilha de estéril

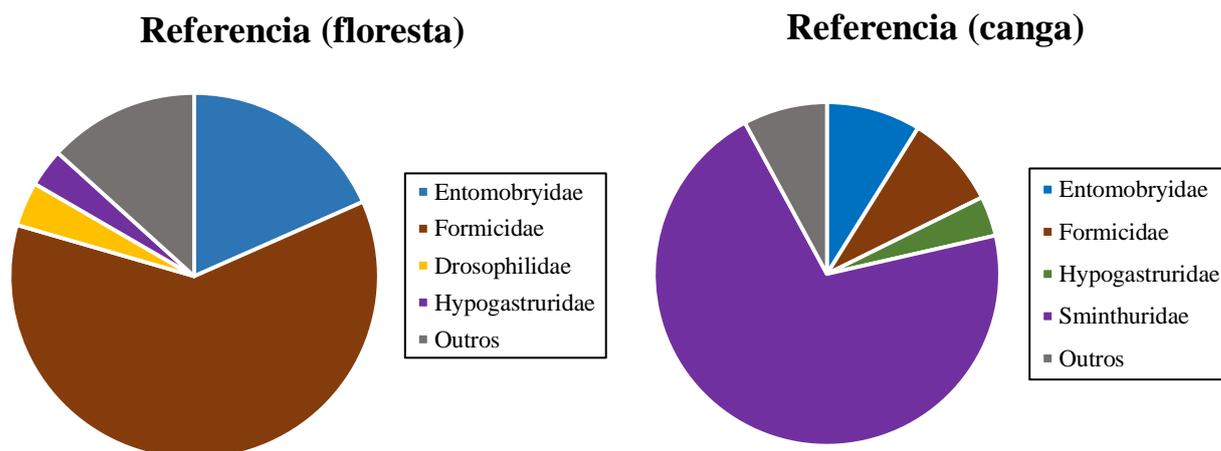


Figura 7 - Número total de invertebrados terrestres, por família, coletadas na referência (floresta e canga).

5.1. AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS VARIÁVEIS PREDITORAS SOBRE A FAUNA DE INVERTEBRADOS NO AMBIENTE ARENITO

Quando analisada a relação da riqueza de morfoespécies de invertebrados com as variáveis preditoras, apenas o estágio de revegetação tem influência positiva sobre a riqueza de morfoespécies. A densidade de borda (X200) e floresta (X100) influenciam sobre a diversidade de morfoespécies. Estágio e densidade de borda (X100) tem influência positiva sobre a composição de morfoespécies do primeiro eixo MDS1 e no segundo eixo MDS2 apenas estágio de revegetação influencia a composição (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultado dos testes de Likelihood Ratio Tests (drop1), avaliado para cada variável resposta a relação entre as variáveis preditoras no ambiente arenito.

	Variável	Q2	PR(>F)
Riqueza	Estágio	5.0520	0.001155**
	Distância floresta	0.0043	0.948201
	Distância mineração	1.0028	0.322805
	Densidade mancha floresta (X100)	0.0000	0.996467
	Densidade de borda (X100)	3.3317	0.075622.
	Quantidade de floresta (X100)	2.7760	0.103701
Diversidade	Estágio	1.5817	0.1879812
	Distância floresta	0.1202	0.7306920
	Distância mineração	0.0800	0.7788592
	Densidade mancha floresta (X100)	0.2852	0.5963710
	Densidade de borda (X200)	14.7097	0.0004466***
	Quantidade de floresta (X100)	24.6978	1.378e-05***
	Diversidade shannon (X500)	0.1972	0.6594318
MDS1	Estágio	3.9113	0.01994*
	Distância mineração	0.2701	0.60942
	Densidade mancha floresta (X200)	3.4961	0.07153
	Densidade de borda (X100)	22.4264	5.23e-05***
	Quantidade de floresta (X200)	1.2537	0.26990
MDS2	Estágio	116.0492	<2e-16***

Distância floresta	0.3260	0.57128
Distância mineração	0.0038	0.95091
Densidade mancha floresta (X100)	2.8516	0.09926
Densidade borda (X200)	1.3319	0.25550

5.1.1. Riqueza de morfoespécies

Houve aumento da riqueza de morfoespécies com o tempo de revegetação em relação aos estágios intermediário e avançado quando comparado a solo exposto. O estágio inicial e floresta não diferem, e a área de referência canga difere dos demais estágios de revegetação (Figura 8).

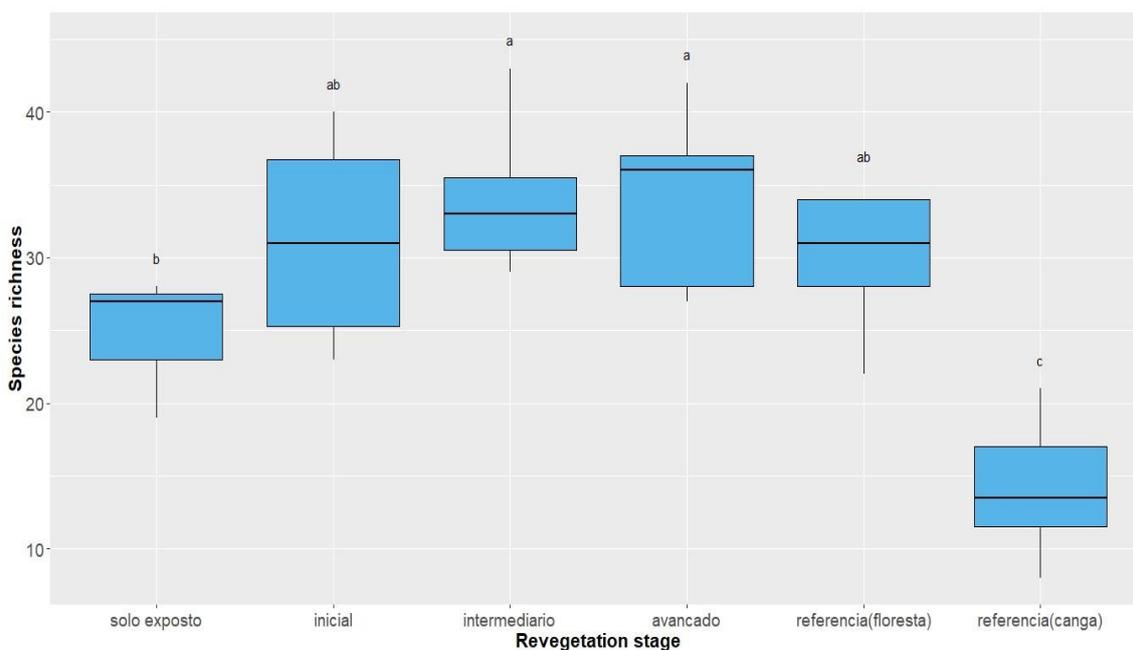


Figura 8 - Riqueza de morfoespécies nos diferentes estágios de revegetação nos arenitos, e referência (Floresta e Canga). Estágio inicial (2-3 anos), estágio intermediário (3-6 anos) e estágio avançado (7 ou mais anos).

5.1.2. Diversidade de morfoespécies

A variável densidade de borda (X200), influencia positivamente a diversidade de morfoespécies de invertebrados (Figura 9). O mesmo padrão pode ser observado entre a diversidade de morfoespécies e a floresta (X100). Quanto maior a floresta no raio de 100m, maior a diversidade (Figura 10).

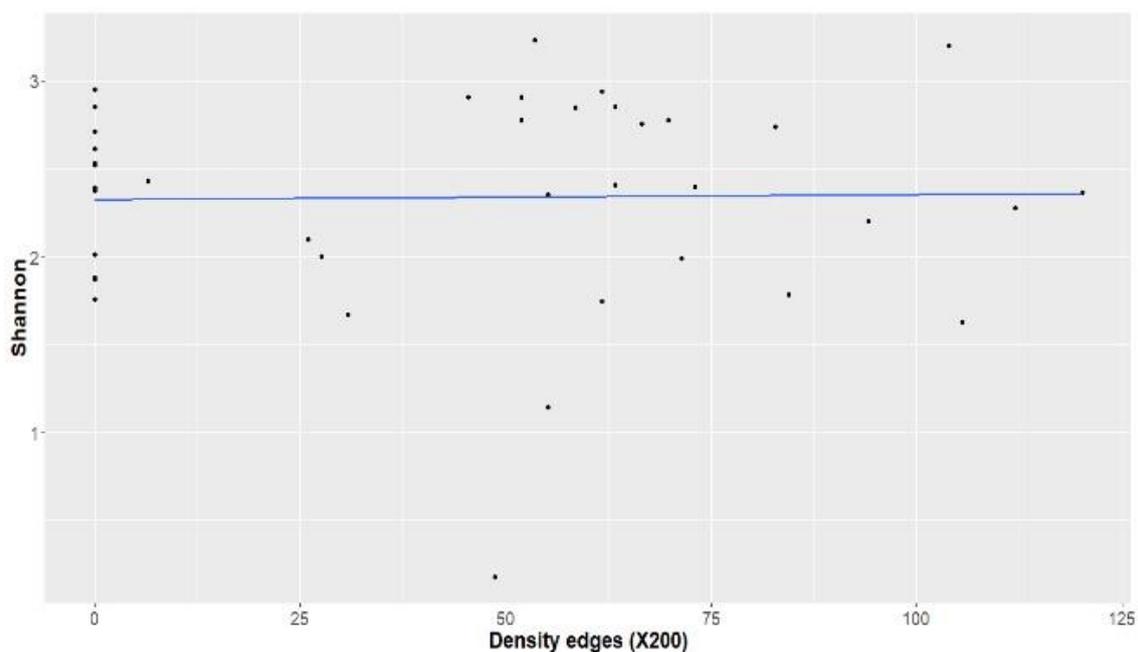


Figura 9 - Relação entre a diversidade de morfoespécies e densidade de borda no raio de 200m.

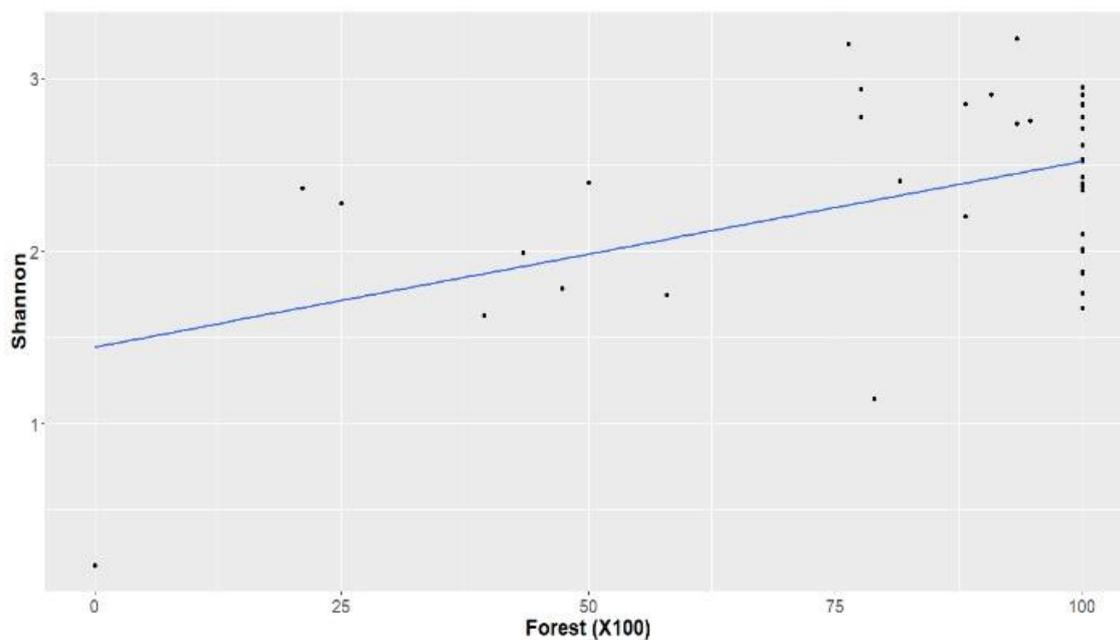


Figura 10 - Relação entre a diversidade de morfoespécies e floresta no raio de 100m.

5.1.3. Composição de morfoespécies

A composição de morfoespécies no eixo MDS1 nos arenitos mostrou relação positiva nos estágios intermediário, avançado, referência (floresta) e densidade de borda (X100) (Tabela 5).

Tabela 5 - Modelo final com as variáveis independentes significativas, avaliadas para variável dependente (Composição no eixo 1) dos arenitos.

	ESTIMATE	ERROR	T VALUE	PR(> T)
ESTÁGIO INICIAL	-0.65630	0.49079	-1.337	0.203445
ESTÁGIO INTERMEDIARIO	-1.66218	0.49549	-3.355	0.004808**
ESTÁGIO AVANÇADO	-1.59965	0.47890	-3.340	0.004507**
REFERÊNCIA FLORESTA	-1.025116	0.46862	-2.188	0.046252*
REFERÊNCIA CANGA	-0.76880	0.49356	-1.558	0.142237
DENSIDADE BORDAS(X100)	-0.31056	0.08058	-3.854	0.000467***

A densidade de borda (X100) tem influência negativa sobre a composição da comunidade de invertebrados, quanto maior a composição menor será a densidade de borda (Figura 11).

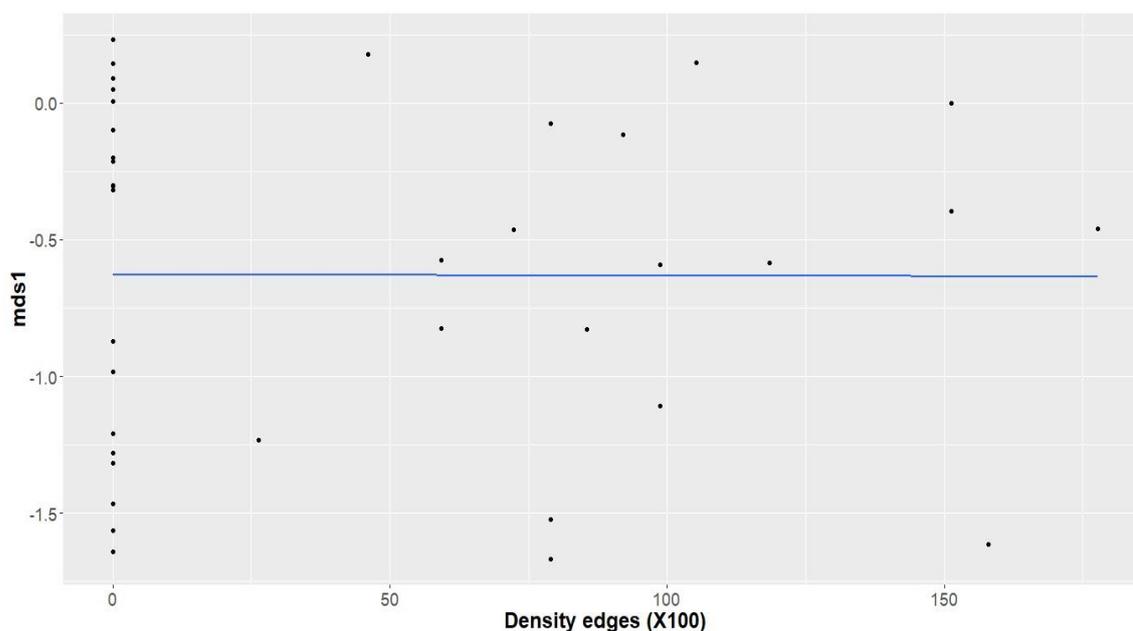


Figura 11 - Relação entre a composição de morfoespécies no eixo (MDS1) e densidade de borda no raio de 100m no ambiente arenito.

A ordenação dos grupos amostrais foi plotada em duas dimensões, onde os dois primeiros eixos explicam 21% da variância total dos arenitos (Figura 12). Em termos de composição de famílias, os invertebrados capturados em cada parcela dos diferentes estágios de revegetação nos arenitos, foi observado a existência de dispersão entre parcelas e pequenos agrupamentos, o que mostra similaridade entre estágios. O solo exposto e canga tendem a ser mais próximos entre si, no entanto, mais distantes dos demais estágios, sendo estes diferentes em termos de composição de família. O gráfico de ordenação de PCoA, mostrou um agrupamento na composição de famílias de invertebrados em relação aos diferentes estágios revegetação, evidenciando a similaridade na composição de famílias nessas áreas, o que indica

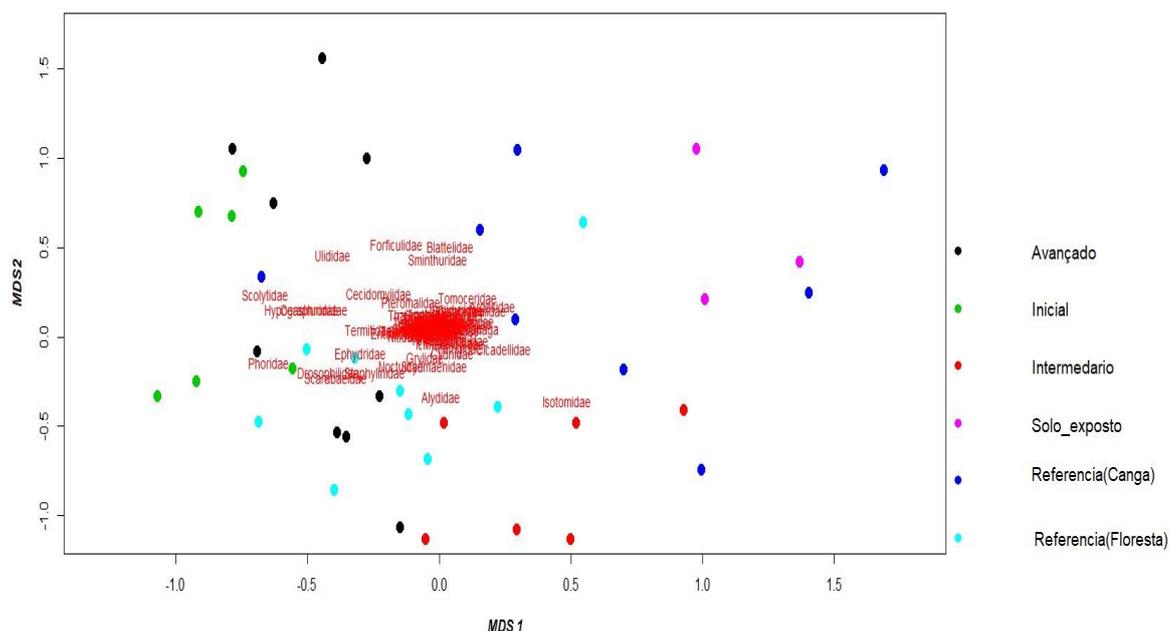


Figura 13 - MDS enredo da composição de família de invertebrados em diferentes estágios de revegetação no ambiente arenito.

5.2. AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS VARIÁVEIS PREDITORAS SOBRE A COMUNIDADE DE FORMIGAS NO AMBIENTE ARENITO

Ao analisar as relações das variáveis predictoras com a riqueza de espécies de formigas nos arenitos, apenas o estágio de revegetação apresentou influência positiva sobre a riqueza, o mesmo resultado foi obtido entre a diversidade de formigas e as variáveis independentes. A composição de espécies de formigas no eixo MDS1, teve influência positiva da variável estágio de revegetação e composição de espécies no eixo MDS2 com estágio e diversidade de shannon (X200) (Tabela 6).

Tabela 6 - Resultado dos testes de Likelihood Ratio Tests (drop1), avaliado para cada variável resposta a relação entre as variáveis predictoras no ambiente arenito.

	Variável	Q2	PR(>F)
Riqueza	Estágio	3.5716	0.009375**
	Distância floresta	0.0077	0.930576
	Distância mineração	0.0521	0.820644
	Densidade mancha floresta (X200)	2.1183	0.153547
	Densidade de borda (X200)	1.3872	0.246011
	Quantidade floresta (X500)	0.8401	0.364990
	Diversidade shannon (X200)	0.0142	0.905890
Diversidade	Estágio	2.5135	0.04579*
	Distância floresta	0.0414	0.83986

MDS1	Distância mineração	0.0188	0.89167
	Densidade mancha floresta (X200)	1.0950	0.30180
	Densidade de borda (X200)	0.2854	0.59621
	Quantidade de floresta (X500)	0.3895	0.53622
	Diversidade shannon (X500)	1.9099	0.17484
MDS2	Estágio	17.9987	1.915e-06***
	Distância floresta	0.1031	0.7505
	Distância mineração	1.7720	0.1991
	Densidade mancha floresta (X500)	2.2469	0.1420
	Densidade de borda (X200)	0.8851	0.3530
	Quantidade de floresta (X100)	0.117	0.9145
	Diversidade shannon (X500)	0.0292	0.8653
	Estágio	7.3140	0.00131**
	Distância floresta	0.0148	0.90397
	Distância mineração	0.3324	0.57572
Densidade mancha floresta (X200)	0.0206	0.88679	
Densidade de borda (X200)	0.8589	0.35977	
Quantidade de floresta (X500)	4.0633	0.05424.	
Diversidade shannon (X200)	4.5992	0.03840*	

5.2.1. Riqueza de espécies de formiga

Os estágios solos exposto, inicial, intermediário, avançado e referência floresta mostra maior riqueza de espécies de formigas do que a referência (canga), enquanto que a área de referência (floresta) não difere do estágio avançado (Figura 14).

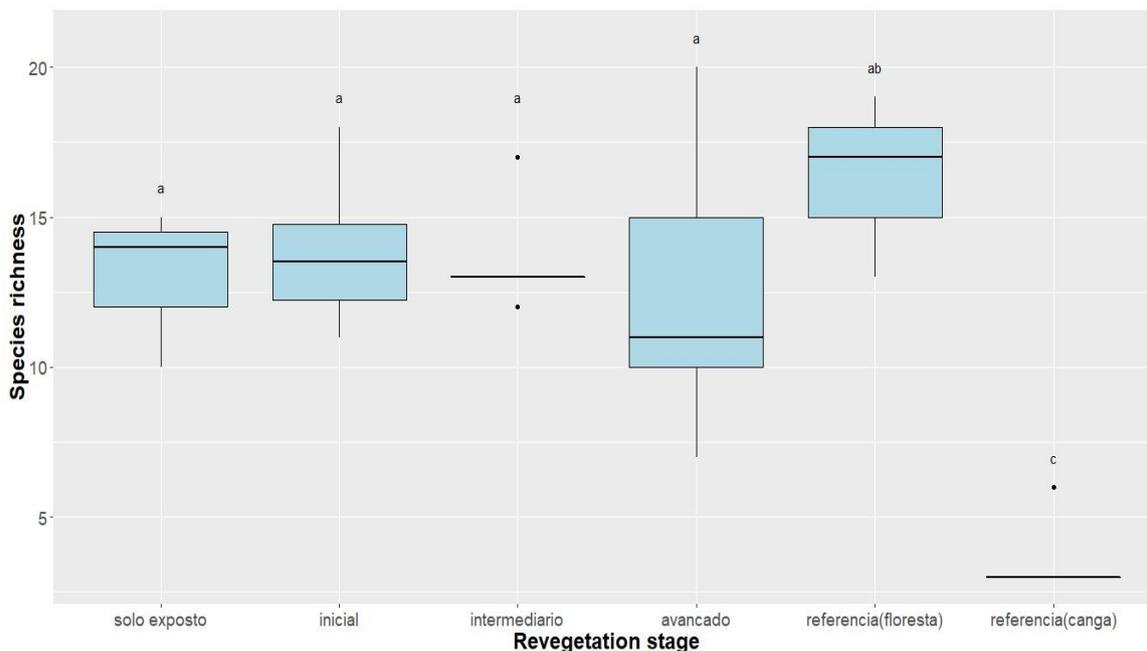


Figura 14 - Riqueza de espécies nos diferentes estágios de revegetação no ambiente arenito, e referência (Floresta e Canga). INI é estágio inicial (0-2 anos), INT é estágio intermediário (3-6 anos) e ADV é estágio avançado (7 ou mais anos).

5.2.2. Diversidade de espécies de formigas

Solo exposto e intermediário mostra maior diversidade de espécies de formigas do que referência (canga). A referência canga, se se difere dos estágios de revegetação por possuir valores muito baixos de diversidade (Figura 15).

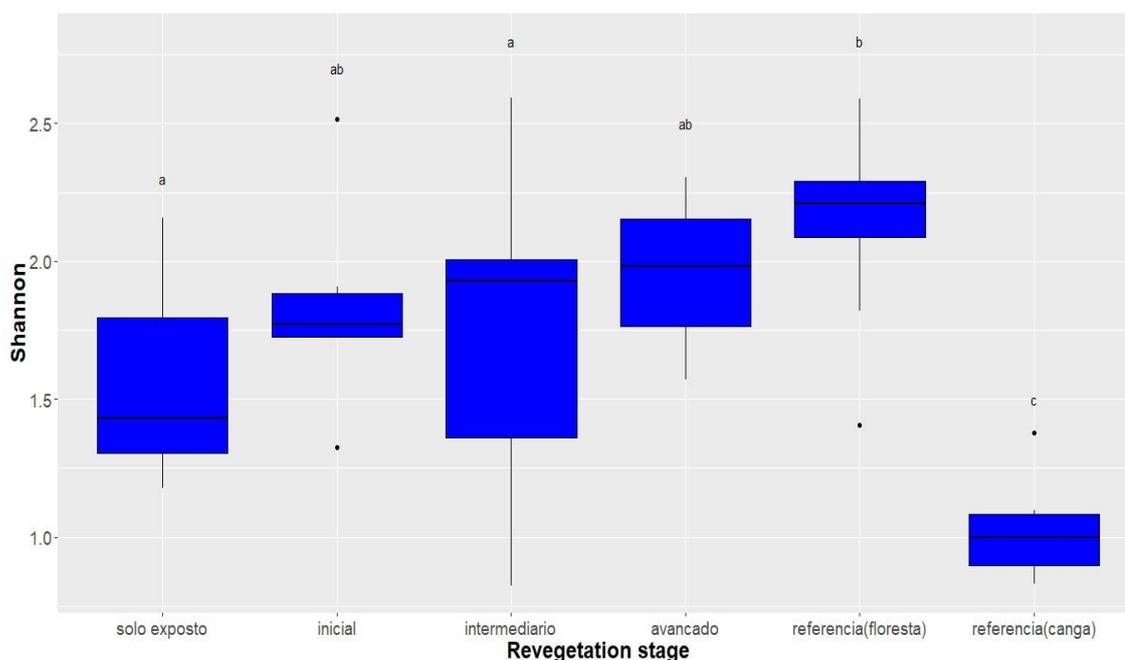


Figura 15 - Diversidade de espécies de formigas nos diferentes estágios de revegetação nos arenito e referência (Floresta e Canga). Estágio inicial (2-3 anos), estágio intermediário (3-6 anos) e estágio avançado (7 ou mais anos).

5.2.3. Composição de espécies de formigas

A composição de espécies de formiga no eixo MDS1 nos arenitos, mostrou se significativa nos estágios intermediário, avançado e referência (floresta/ canga) (Tabela 7).

Tabela 7 - Modelo final com variável independente significativa, avaliadas para variável dependente (composição de espécies eixo1) nos arenitos.

	ESTIMATE	ERROR	T VALUE	PR(> T)
ESTÁGIO INICIAL	0.2661	0.2533	1.051	0.312549
ESTÁGIO INTERMEDIARIO	-1.5367	0.2533	-6.066	3.99e-05***
ESTÁGIO AVANCADO	-1.1811	0.2388	-4.946	0.000268***
REFERÊNCIA FLORESTA	-.09109	0.2388	-3.814	0.00248**
REFERÊNCIA CANGA	-0.8965	0.2533	-3.539	0.003630**

A composição de espécies de formiga no eixo MDS2 nos arenitos, foi significativa nos estágios avançado, referência (floresta/canga) e diversidade (X200), (Tabela 8). Foram verificados maiores valores de diversidade de shannon que correspondem a maior composição de invertebrados (Figura 16).

Tabela 8 - Modelo final com as variáveis independentes significativa, avaliadas para variável dependente (composição de espécies eixo2) nos arenitos.

	ESTIMATE	ERROR	T VALUE	PR(> T)
ESTÁGIO INICIAL	0.2914	0.4535	0.643	0.53133
ESTÁGIO INTERMEDIARIO	0.4252	0.4592	0.926	0.37054
ESTÁGIO AVANCADO	1.4123	0.4490	3.146	0.00699**
REFERÊNCIA FLORESTA	1.2886	0.4229	3.047	0.00925**
REFERÊNCIA CANGA	1.3010	0.4469	2.911	0.01210*
DIVERSIDADE (X200)	0.2516	0.1012	2.486	0.01899*

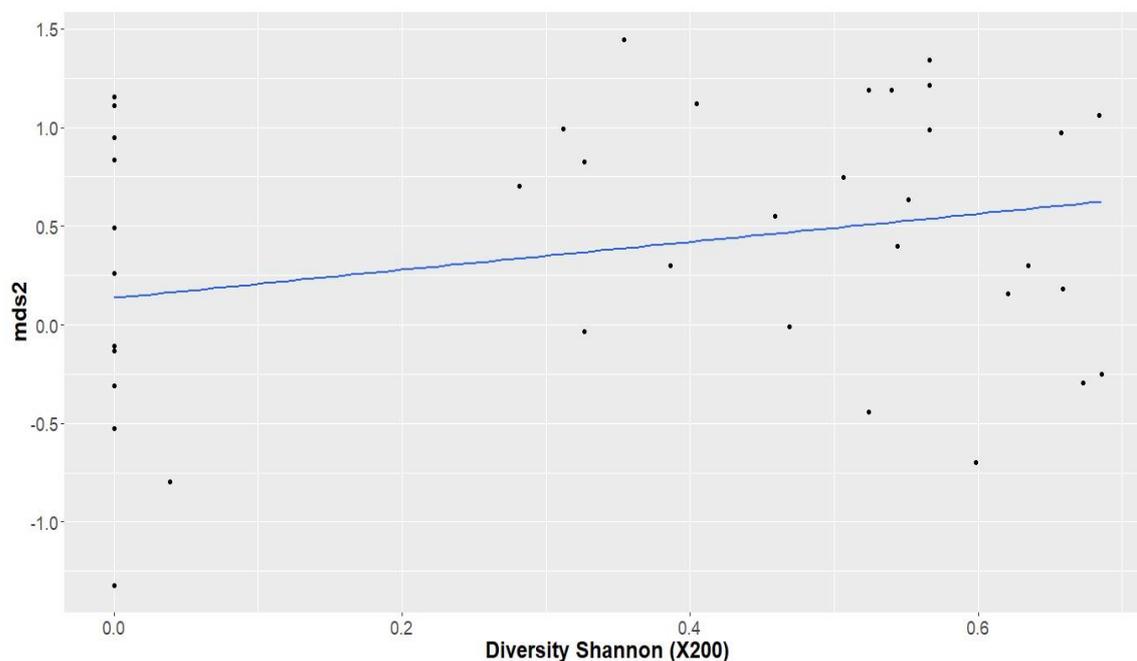


Figura 16 - Relação entre a composição de espécie de formigas no eixo MDS2 e diversidade de shannon de tipos de cobertura vegetal, no raio 200m no ambiente arenito.

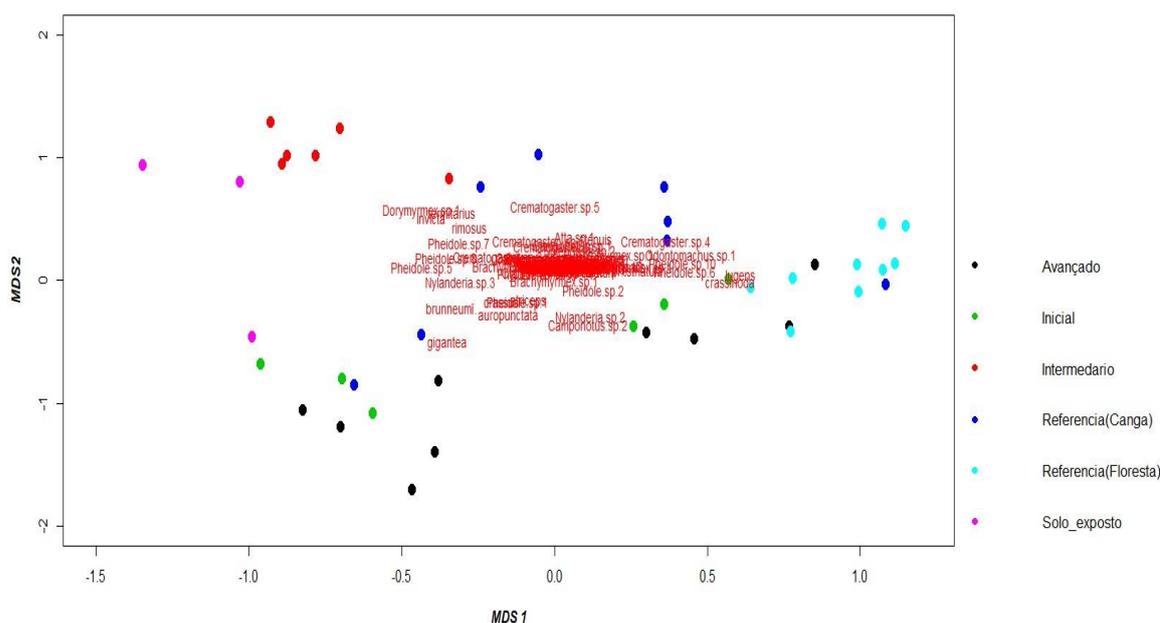


Figura 18 - MDS enredo da composição de espécies de formigas em diferentes estágios de revegetação no ambiente arenito.

5.3. AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS VARIÁVEIS PREDITORAS SOBRE A FAUNA DE INVERTEBRADOS NO AMBIENTE PILHA DE ESTERIL

Dentre as variáveis independentes no ambiente pilhas de estéril, apenas estágio e densidade de manchas de floresta (X100), tem influência positiva sobre a riqueza de morfoespécies de invertebrados. O mesmo resultado foi obtido para diversidade de morfoespécies, relacionada as variáveis independentes. O estágio de revegetação tem influência na composição de morfoespécies no eixo MDS1, e floresta (X200) sobre a composição de espécies no eixo MDS2 (Tabela 9).

Tabela 9 - Resultado dos testes de Likelihood Ratio Tests (drop1), avaliado para cada variável resposta a relação entre as variáveis preditoras nos ambiente de pilhas de estéril.

	VARIÁVEL	Q2	PR(>F)
RIQUEZA	Estágio	8.1923	0.0005232***
	Distância floresta	0.8984	0.3506446
	Distância mineração	0.0322	0.8597206
	Densidade mancha floresta (X100)	6.4835	0.0152378*
	Densidade de borda (X100)	0.1324	0.7176637
	Diversidade shannon (X100)	0.4918	0.4874774
	Quantidade de floresta (X500)	0.1500	0.7010020
DIVERSIDADE	Estágio	5.1648	0.0006389***
	Distância floresta	0.5152	0.4761273

MDS1	Distância mineração	1.8126	0.1849417
	Densidade mancha floresta (X100)	9.4353	0.0033825**
	Densidade de borda (X100)	0.0012	0.9724004
	Quantidade de floresta (X500)	0.3509	0.5561521
	Diversidade shannon (X500)	3.4843	0.0675978.
MDS2	Estágio	7.4097	2.614e-05***
	Distância floresta	0.1658	0.6855
	Distância mineração	2.0859	0.1547
	Densidade mancha floresta (X100)	0.4853	0.4891
	Densidade de borda (X200)	0.2458	0.6222
	Quantidade de floresta (X200)	0.3500	0.5567
	Diversidade shannon (X100)	0.9613	0.3314
	Estágio	2.3146	0.09285.
Distância floresta	0.5306	0.47176	
Distância mineração	0.4442	0.51442	
Densidade mancha floresta (X100)	2,2528	0.14292	
Densidade de borda (X200)	0.7453	0.39228	
Quantidade de floresta (X200)	4.2493	0.04492*	
Diversidade shannon (X100)	1.5069	0.22697	

5.3.1. Riqueza de morfoespécies

A riqueza de morfoespécies nas pilhas de estéril mostrou-se menor no solo exposto do que nos estágios inicial, intermediário, avançado e área de referência (floresta); canga não difere de solo exposto (Figura 19). Além disso, a riqueza aumenta com o aumento da densidade de manchas floresta (X100). Pode-se observar a existência da riqueza continua entre valores de 20 e 40 de manchas floresta (Figura 20).

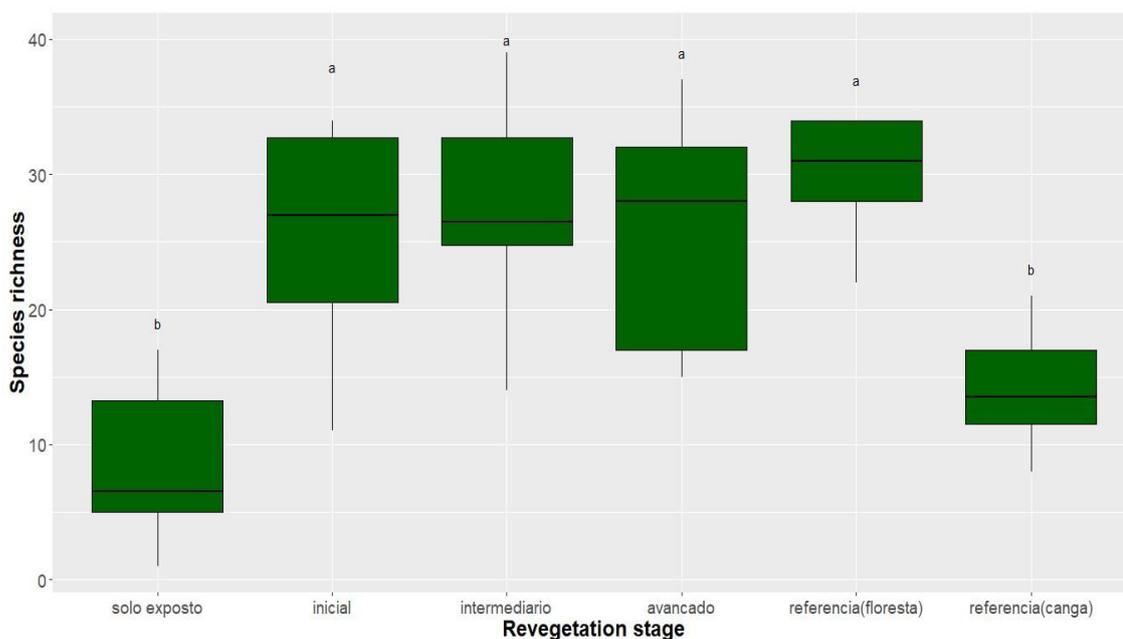


Figura 19 - Riqueza de morfoespécies nos diferentes estágios de revegetação nas pilhas de estéril, e referência (Floresta e Canga). Estágio inicial (2-3 anos), estágio intermediário (3-6 anos) e estágio avançado (7 ou mais anos).

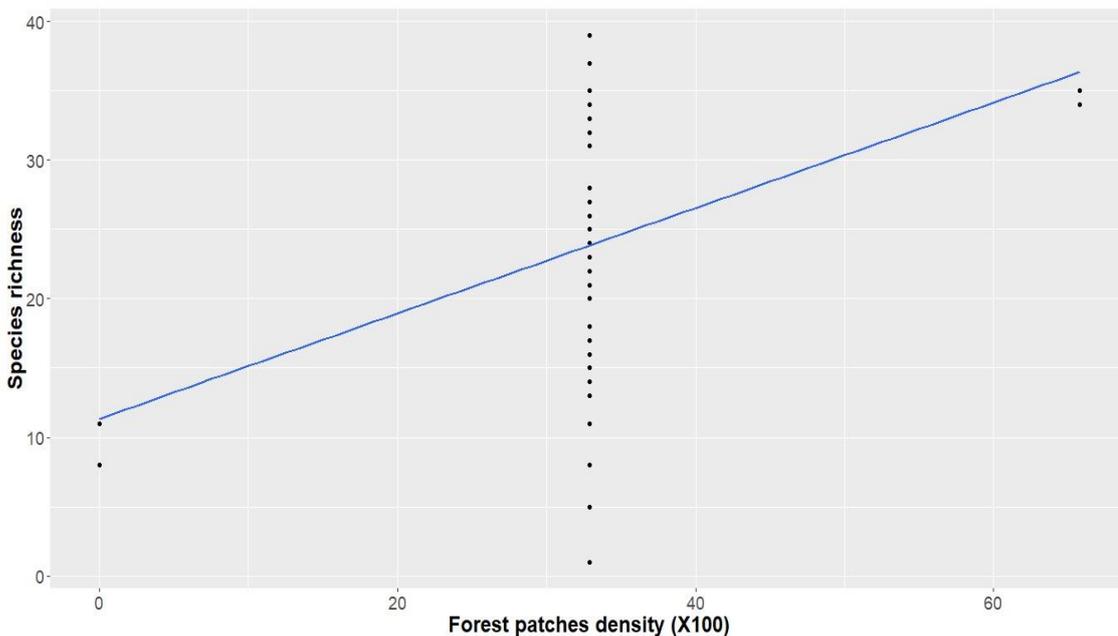


Figura 20 - Relação entre a riqueza de morfoespécies e densidade manchas floresta no raio de 100m no ambiente pilhas de estéril.

5.3.2. Diversidade de morfoespécies

Os valores de diversidade de morfoespécies nas pilhas de estéril, foram maiores nos estágios inicial, intermediário, avançado e áreas de referência (floresta) do que no solo exposto

(Figura 21). A diversidade de morfoespécies aumenta, quanto maior a densidade manchas floresta (X100) (Figura 22).

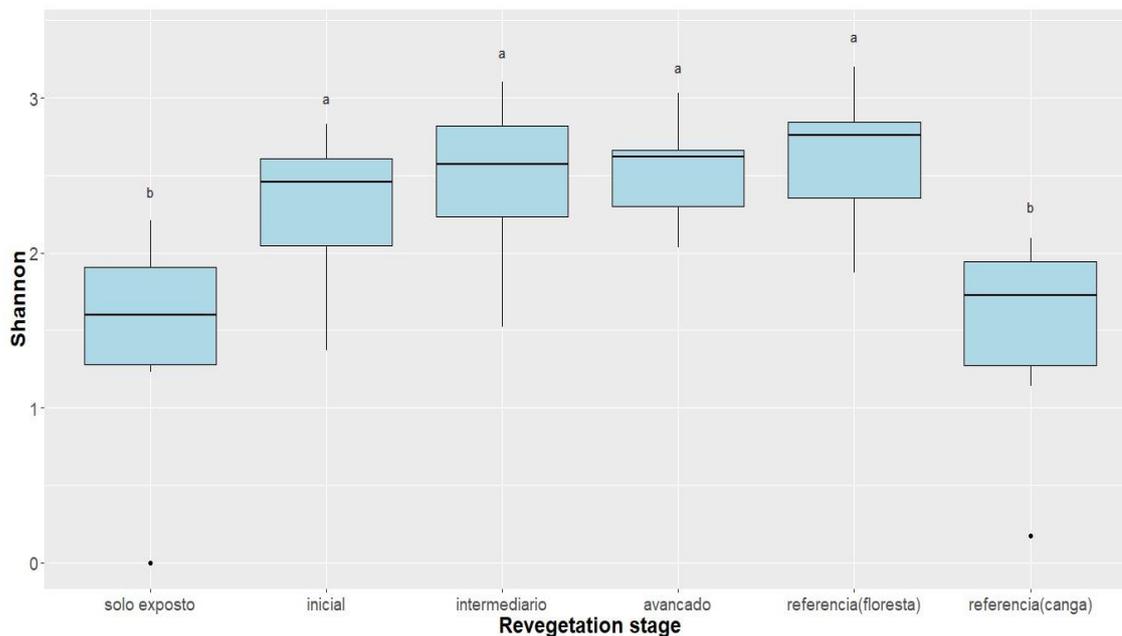


Figura 21 - Diversidade de morfoespécies nos diferentes estágios de revegetação nas pilhas de estéril, e referência (Floresta e Canga). Estágio inicial (2-3 anos), estágio intermediário (3-6 anos) e estágio avançado (7 ou mais anos).

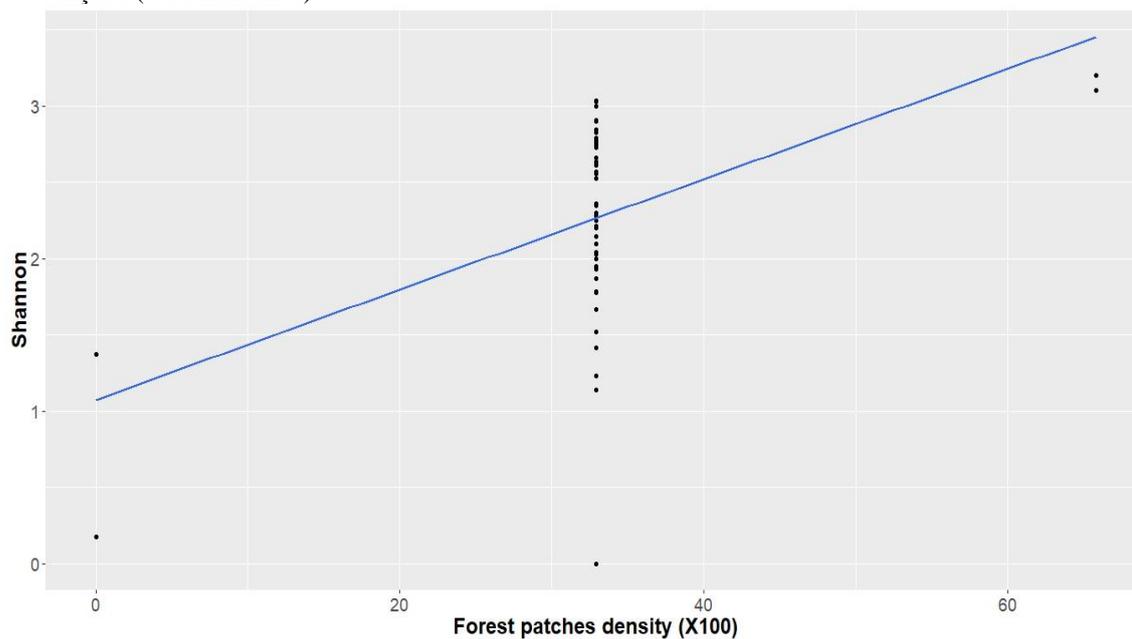


Figura 22 - Relação entre a diversidade de morfoespécies e a densidade de mancha floresta no raio de 100m no ambiente pilhas de estéril.

5.3.3. Composição de morfoespécies

A composição de morfoespécies no eixo MDS1, nas Pilhas de estéril, foi significativa na referência (floresta) e referência (canga) (Tabela 10). A composição no eixo MDS 2, Floresta (X200) não obteve significância.

Tabela 10 - modelo final com as variáveis independentes significativa, avaliadas para variável dependente (composição de espécies no eixo 1) nas pilhas de estéril.

	ESTIMATE	ERROR	T VALUE	PR(> T)
ESTÁGIO INICIAL	0.02704	0.20815	0.130	0.897
ESTÁGIO INTERMEDIARIO	0.14644	0.17259	0.848	0.400
ESTÁGIO AVANÇADO	-0.18018	0.19001	-0.948	0.347
REFERÊNCIA FLORESTA	-1.19887	0.19001	-6.309	6.23e-08***
REFERÊNCIA CANGA	-0.95062	0.20815	-4.567	3.07e05***

A ordenação dos grupos amostrais, nos dois primeiros eixos explicam 22% da variância total do ambiente pilha de estéril (Figura 23). Em relação a composição entre parcelas nos estágios de revegetação nas pilhas de estéril, existem agrupamentos discretos, exceto para os locais de canga e solo exposto, que se encontram distantes dos demais. Existe um agrupamento na composição de famílias de invertebrados em relação aos diferentes estágios revegetação, sugerindo a homogeneização da composição de espécies nessas áreas, ou seja, grande parte das famílias tendem a ocorrer nas mesmas áreas. Exceto as famílias Carabidae, Drosophilidae, Entomobryidae, Forficulidae, Hypogastruridae, Isotomidae, Nitidulidae, Phoridae, Scolyidae, Sminthuridae, Stratiomyidae, Tephritidae, Termitidae, Tetrigidae e Thaumaleidae que se destacaram por estar mais distantes do agrupamento (Figura 24).

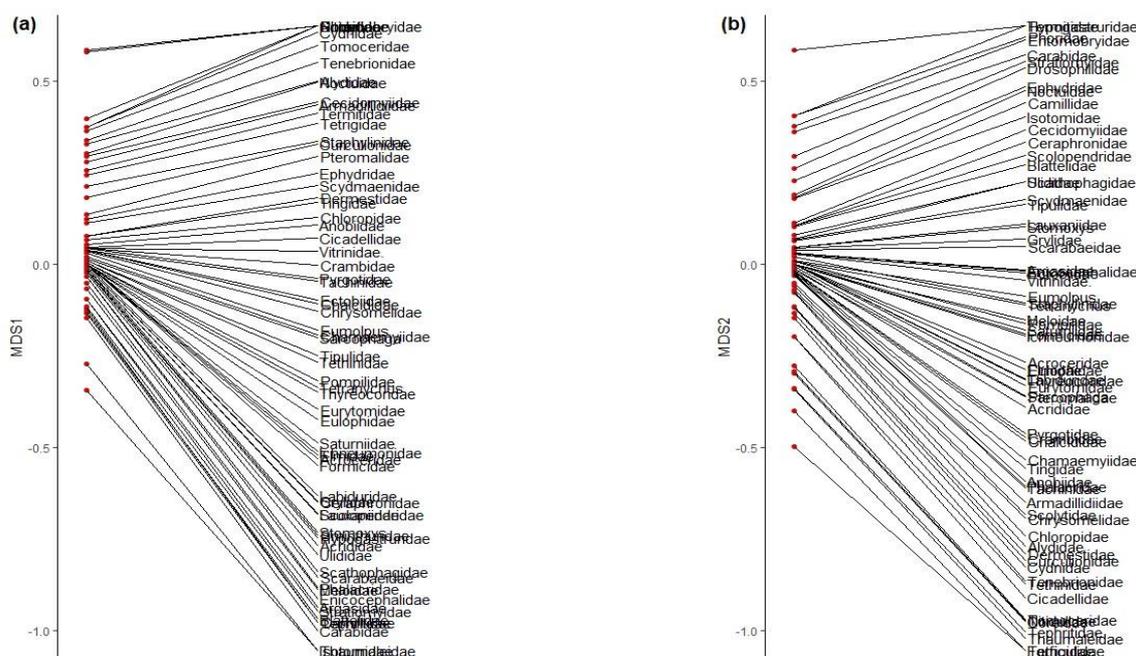


Figura 23 - Composição de composição de invertebrados no eixo MDS1 (a) e MDS2 (b) no ambiente pilha de estéril.

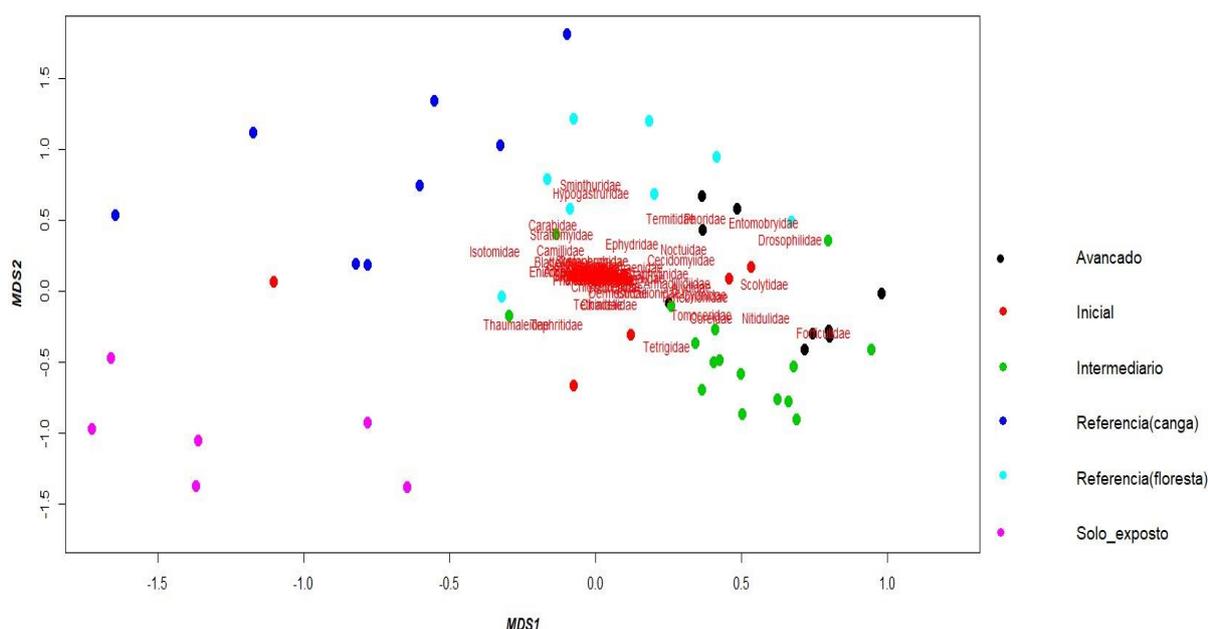


Figura 24 - MDS enredo da composição de invertebrados em diferentes estágios de revegetação no ambiente pilhas de estéril.

5.4. AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS VARIÁVEIS PREDITORAS SOBRE A COMUNIDADE DE FORMIGA NO AMBIENTE PILHA DE ESTERIL

O estágio de revegetação e a distância floresta têm influência positiva sobre a riqueza de espécies de formigas nas pilhas de estéril. Em relação a diversidade de espécies, apenas o estágio de revegetação e a densidade de mancha floresta influenciam na diversidade. As variáveis distância floresta e floresta (x100) influenciam na composição de espécies no eixo MDS1, enquanto que a distância mineração, densidade manchas floresta (x100) e floresta (x200), influenciam na composição do eixo MDS2 (Tabela 11).

Tabela 11- Resultado dos testes de Likelihood Ration Tets (drop1), avaliado para cada variável resposta a relação entre as variáveis preditoras nos ambiente de pilhas de estéril.

	VARIAVEL	Q2	PR(>F)
RIQUEZA	Estágio	11.9529	1.006e-07***
	Distância floresta	4.8899	0.03143*
	Distância mineração	0.0254	0.87400
	Densidade mancha floresta (X100)	3.6754	0.06072.
	Densidade de borda (X200)	1.3275	0.25451
	Quantidade de floresta (X500)	2.5613	0.11557
	Diversidade shannon (X100)	0.0074	0.93181
	DIVERSIDADE	Estágio	11.4098
Distância floresta		1.5205	0.22309
Distância mineração		0.4504	0.50513
Densidade mancha floresta (X100)		4.5407	0.03785*
Densidade de borda (X200)		1.7536	0.19122

MDS1	Quantidade de floresta (X200)	0.1752	0.67727
	Diversidade shannon (X100)	0.1359	0.71388
	Estágio	2.9321	0.03701*
	Distância floresta	5.6390	0.02185*
	Distância mineração	0.0003	0.98678
	Densidade mancha floresta (X200)	1.1245	0.29437
	Densidade de borda (X500)	0.3486	0.55748
MDS2	Quantidade de floresta (X200)	4.8359	0.03399*
	Diversidade shannon (X500)	1.4943	0.22710
	Estágio	6.5103	9.044e-05***
	Distância floresta	3.9978	0.050799.
	Distância mineração	4.3457	0.042031*
	Densidade mancha floresta (X100)	6.9012	0.011292*
	Densidade de borda (X200)	0.0306	0.861823
Quantidade de floresta (X200)	7.6543	0.007824**	

5.4.1. Riqueza de espécies de formigas

A riqueza de espécies de formigas na pilha de estéril é significativamente maior nos estágios inicial, intermediário, avançado e referência (floresta), do que no estágio solo exposto. Os estágios inicial, intermediário, avançado e referência (floresta) mostra maior riqueza de espécies de formigas do que solo exposto, e o estágio inicial e intermediário difere de avançado. Existe aumento em relação aos estágios inicial e intermediário quando comparado ao solo exposto. A referência canga, não se difere significativamente de solo exposto (Figura 25). A variável distância floresta apresentou relação significativa negativa com a riqueza de espécies de formigas (Figura 26).

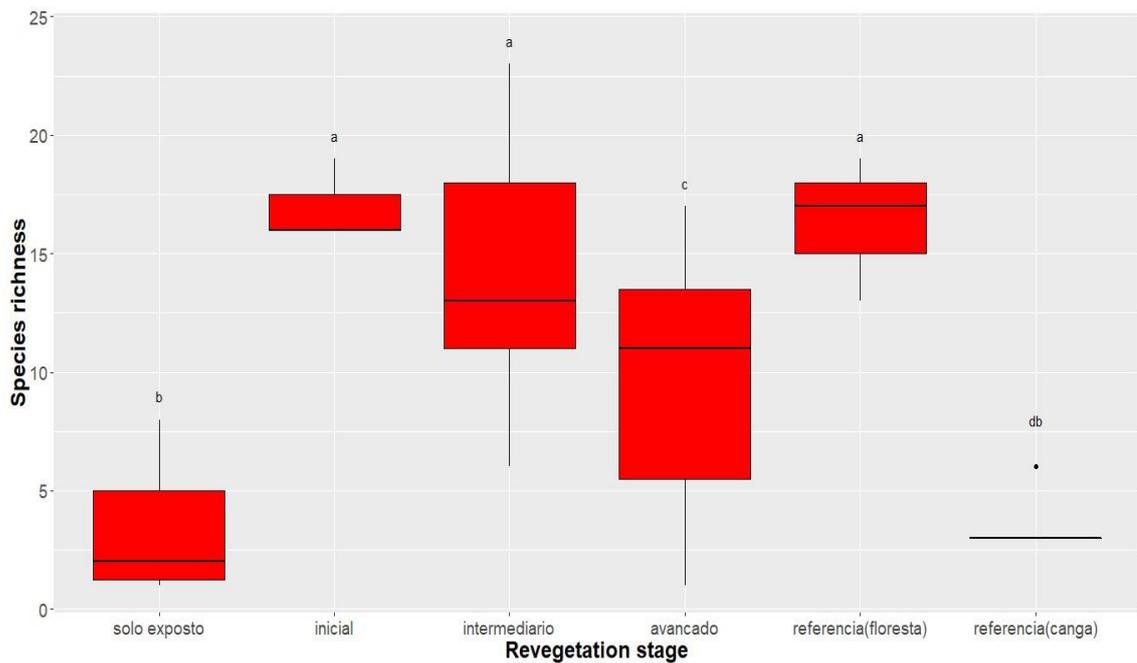


Figura 25 - Riqueza de espécies de formigas nos diferentes estágios de revegetação nas pilhas de estéril, e referência (Floresta e Canga). Estágio inicial (2-3anos), estágio intermediário (3-6 anos) e estágio avançado (7 ou mais anos).

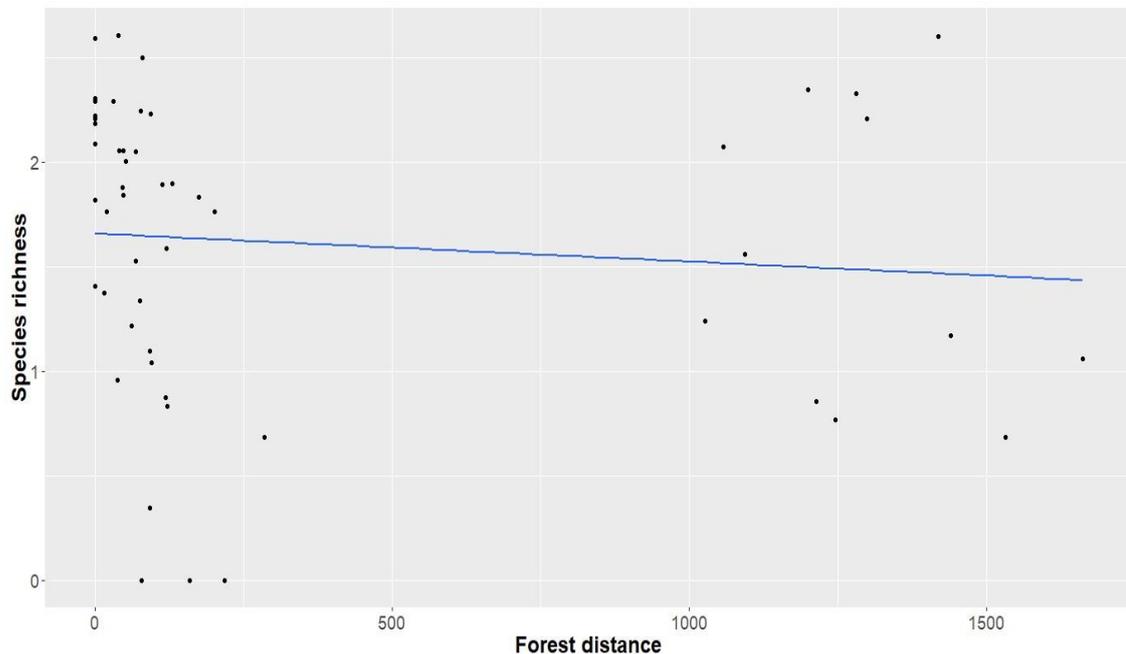


Figura 26 - Relação entre a riqueza de espécie de formigas e distância floresta no ambiente pilhas de estéril.

5.4.2. Diversidade de espécies de formigas

Os estágios inicial, intermediário e referência (floresta) mostram maior diversidade de espécies de formigas do que o solo exposto, e os estágios inicial e intermediário diferem do avançado. Existe aumento em relação aos estágios inicial e intermediário quando comparados

ao solo exposto. A referência canga, não difere significativamente de solo exposto (Figura 27). A variável densidade de manchas floresta (X100), tem influência positiva sobre a diversidade de espécies de formigas nas pilhas de estéril, ou seja, o aumento do número de manchas de floresta na paisagem permite maior diversidade de espécies (Figura 28).

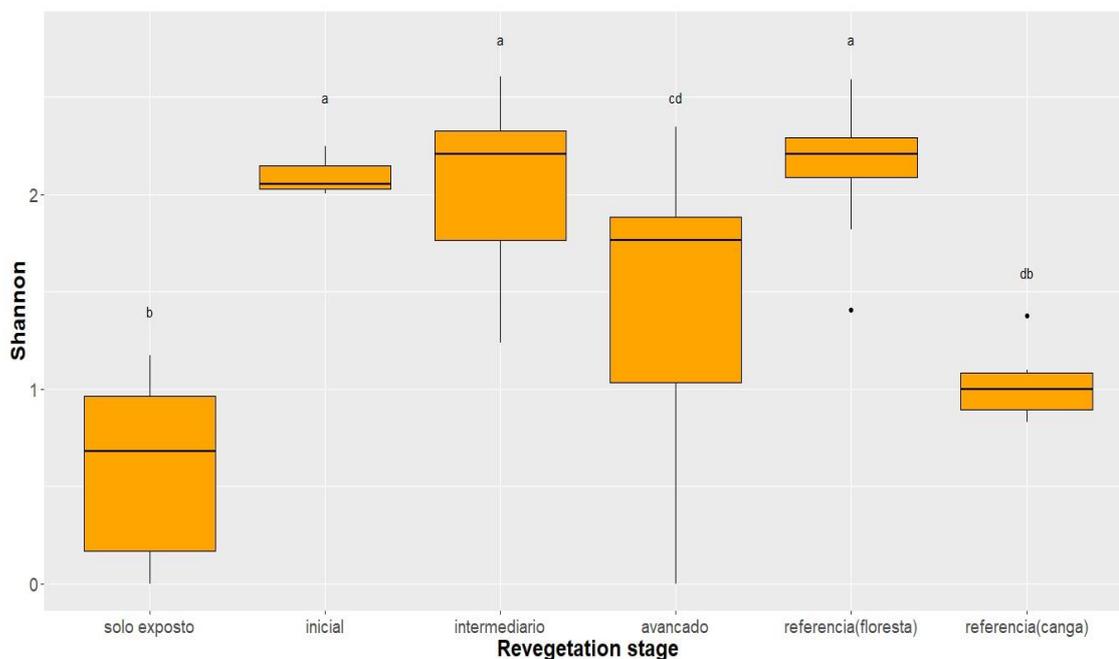


Figura 27 - Diversidade de espécies de formigas nos diferentes estágios de revegetação nas pilhas de estéril e referência (Floresta e Canga). Estágio inicial (2-3 anos), estágio intermediário (3-6 anos) e estágio avançado (7 ou mais anos).

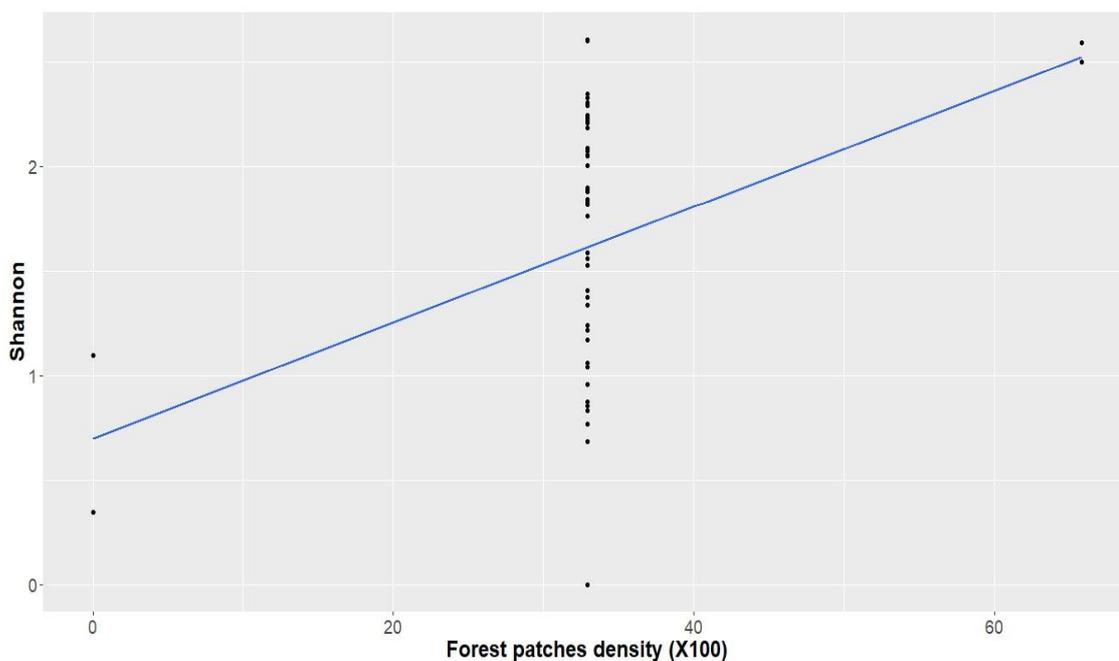


Figura 28 - Relação entre a diversidade de espécies de formigas e densidade de mancha floresta no raio de 100m, no ambiente pilhas de estéril.

5.4.3. Composição de espécies de formigas

A composição de espécies de formigas no eixo (MDS1) nas pilhas de estéril, foi significativa apenas na floresta (X200) (Tabela 12).

Tabela 12 - Modelo final com variável independente significativa, avaliadas para variável dependente (Composição eixo 1) nas Pilhas de estéril.

	ESTIMATE	ERROR	T VALUE	PR(> T)
ESTÁGIO INICIAL	1.2254	0.6412	1.911	0.0738.
ESTÁGIO INTERMEDIARIO	0.1149	0.4310	0.267	0.7930
ESTÁGIO AVANÇADO	-0.4743	0.4378	-1.083	0.2945
REFERÊNCIA FLORESTA	-0.9076	0.5416	-1.676	0.1097
REFERÊNCIA CANGA	-0.4293	0.5378	-0.798	0.4360
DISTÂNCIA FLORESTA	-0.2350	0.1669	-1.408	0.1705
FLORESTA (X200)	0.4177	0.1269	3.291	0.0018**

A variável distância floresta apresentou relação positiva com a composição de espécies de formigas nas pilhas de estéril. Quanto maior a distância floresta, maior a composição de formigas (Figura 29). O mesmo pode ser observado entre MDS1 e Floresta (X200), quanto maior a floresta em um raio de 200m, maior a composição de espécies de formigas (Figura 30).

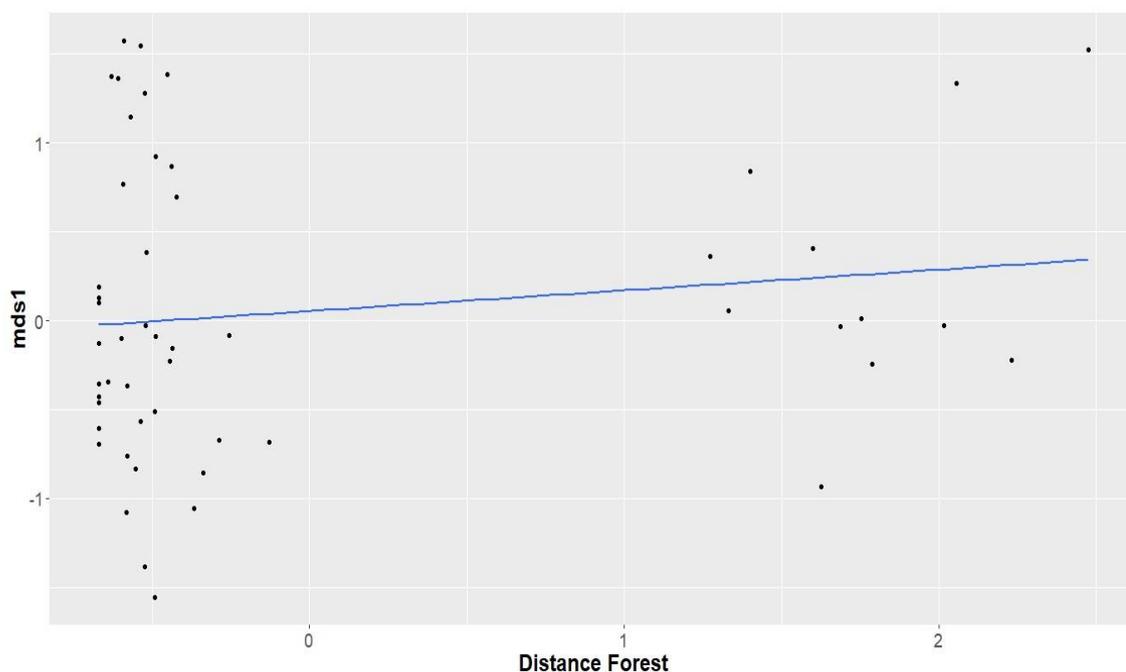


Figura 29 - Relação entre a composição de espécies de formigas no eixo MDS1 e distância floresta no ambiente pilhas de estéril.

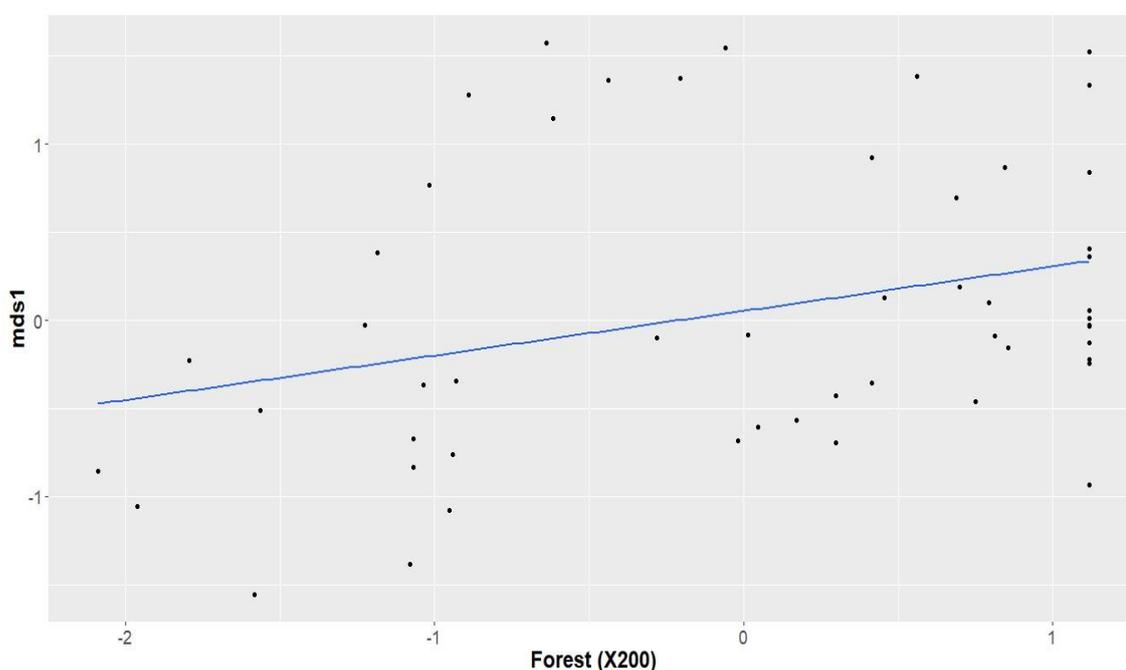


Figura 30 - Relação entre a composição de espécies de formigas no eixo MDS1 e floresta no raio de 200 no ambiente pilhas de estéril.

A composição de espécies de formigas no eixo (MDS2) nas pilhas de estéril, foi significativa no estágio intermediário, avançado e densidade de manchas floresta (X200) (Tabela 13).

Tabela 13 - Modelo final com as variáveis independentes significativa, avaliadas para variável dependente (Composição eixo 2) nas pilhas de estéril.

	ESTIMATE	ERROR	T VALUE	PR(> T)
ESTÁGIO INICIAL	-0.3023	0.3417	-0.885	0.380398
ESTÁGIO INTERMEDIARIO	-0.8187	0.2340	-3.499	0.000966***
ESTÁGIO AVANÇADO	-0.6751	0.2335	-2.891	0.005591**
REFERÊNCIA FLORESTA	0.4664	0.2602	1.793	0.078869.
REFERÊNCIA CANGA	0.4652	0.3937	1.182	0.242715
DISTÂNCIA MINERAÇÃO	0.1687	0.1204	1.401	0.167044
DENSIDADE MANCHA FLORESTA (X100)	0.1871	0.0718	2.606	0.011915*
FLORESTA (X200)	0.1256	0.0774	1.623	0.110558

A variável distância mineração, tem influência positiva sobre a composição de espécies de formigas nas pilhas de estéril. Quanto maior a distância mineração, maior a composição de formigas (Figura 31). Em contrapartida há uma baixa dispersão da composição com o decorrer do aumento da densidade, e uma alta concentração próximos a mineração, haja vista que os estágios no ambiente de pilhas de estéril estão localizados próximos da mineração.

A densidade de machas floresta (X100), apresentou relação significativa positiva com a composição de espécies de formigas nas pilhas de estéril, ou seja, quanto mais mancha de floresta na paisagem, maior a composição de formigas (Figura 32). A Floresta (X200),

apresentou relação significativa com a composição de espécies de formigas nas pilhas de estéril (Figura 33).

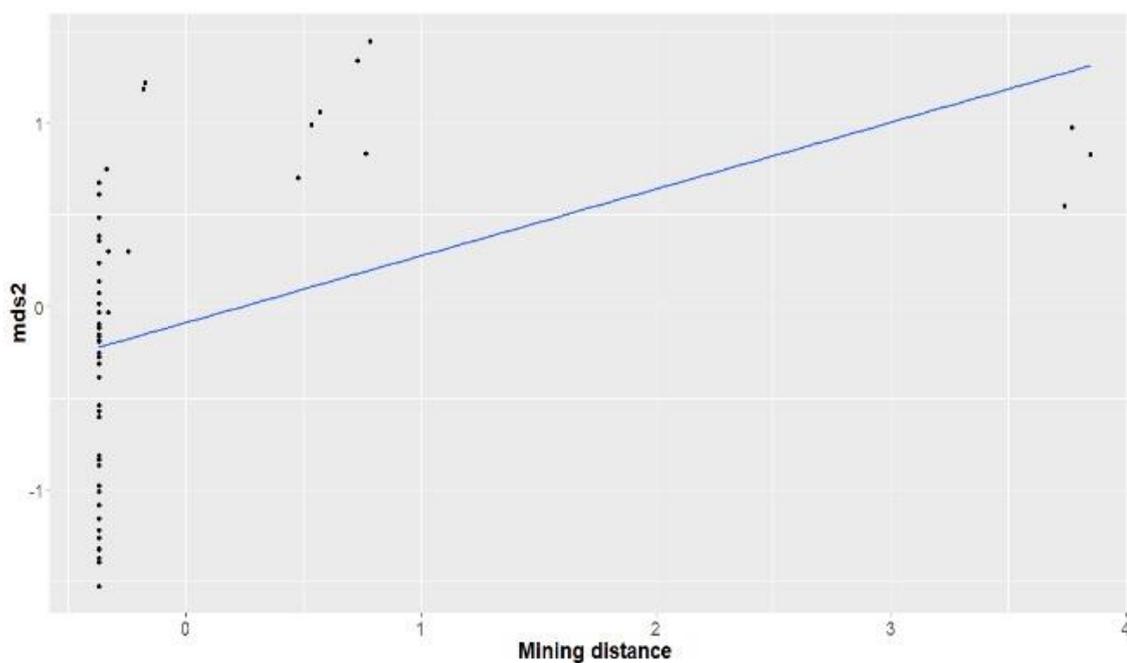


Figura 31 - Relação entre a composição de espécies de formigas no eixo MDS2 e distância mineração no ambiente pilhas de estéril.

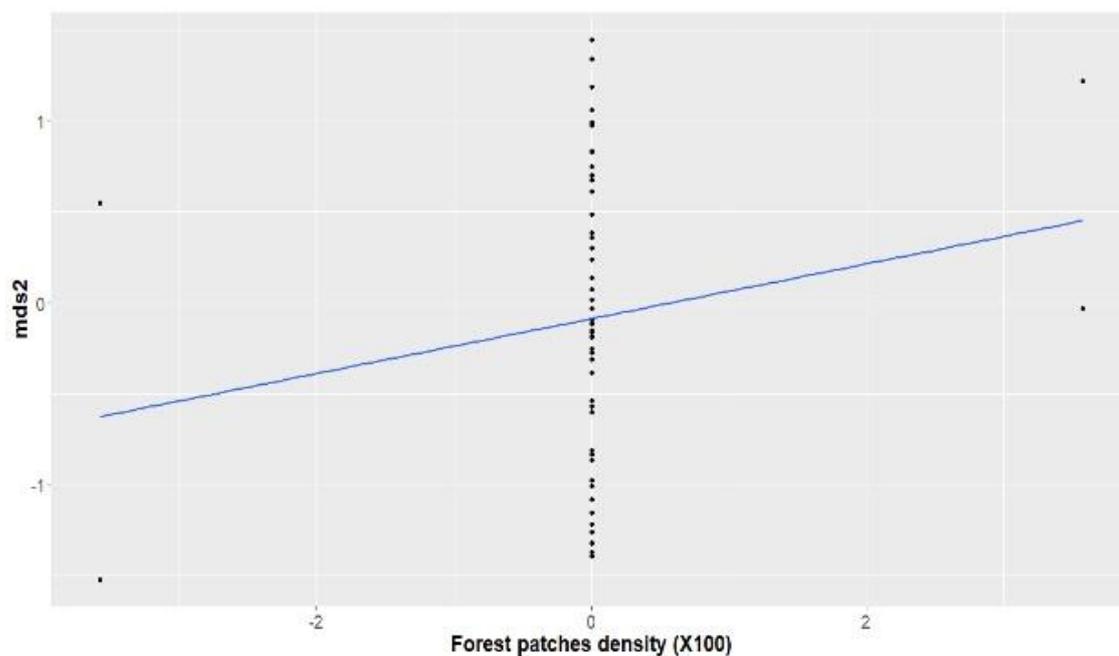


Figura 32 - Relação entre a composição de espécies de formigas no eixo MDS2 e densidade de mancha floresta no raio de 100, no ambiente pilhas de estéril

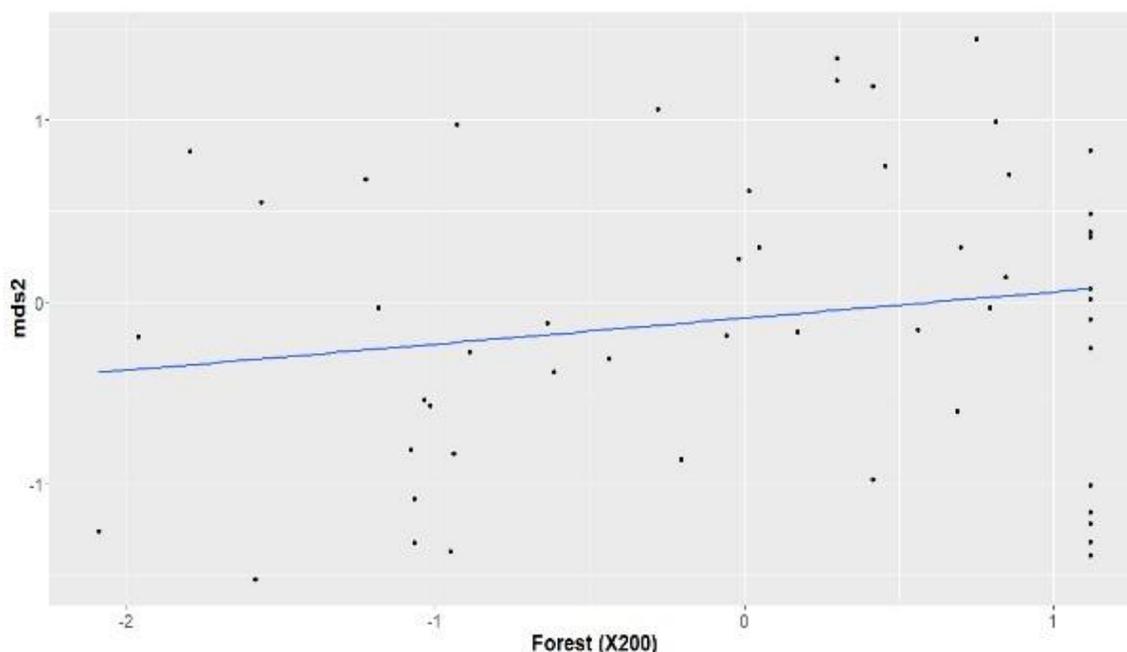


Figura 33 - Relação entre a composição de espécies de formigas no eixo MDS2 e floresta (X200) no ambiente pilhas de estéril.

A ordenação de formigas nas áreas de pilha de estéril, em seus dois primeiros eixos explicam 23% da variância (Figura 34). Na composição de espécie de formigas capturadas em cada parcela dos diferentes estágios de revegetação nas pilhas de estéril, existe dispersão entre parcelas, e pequenos agrupamentos, que mostram similaridade entre estágios. A área de referência canga e estágio inicial tendem a estar mais próximos entre si e distantes dos demais estágios, sendo estes diferentes em termos de composição de família. Em relação a composição de espécies aos diferentes estágios revegetação, existe similaridade de espécies, ou seja, parte das famílias tendem a ocorrer nas mesmas áreas, exceto algumas espécies *Atta* sp.1, *Wasmannia auropunctata*, *Brachymyrmex* sp.2, *Camponotus* sp. 2, *Pachycondyla crassinoda*, *Crematogaster* sp. 4, *Ectatomma lugens*, *Pheidole* sp.1, *Pheidole* sp.10, *Pheidole* sp.5, *Pheidole* sp.6, *Pheidole* sp.7, *Pheidole* sp.8, *Sericomyrmex* sp. 1 (Figura 35).

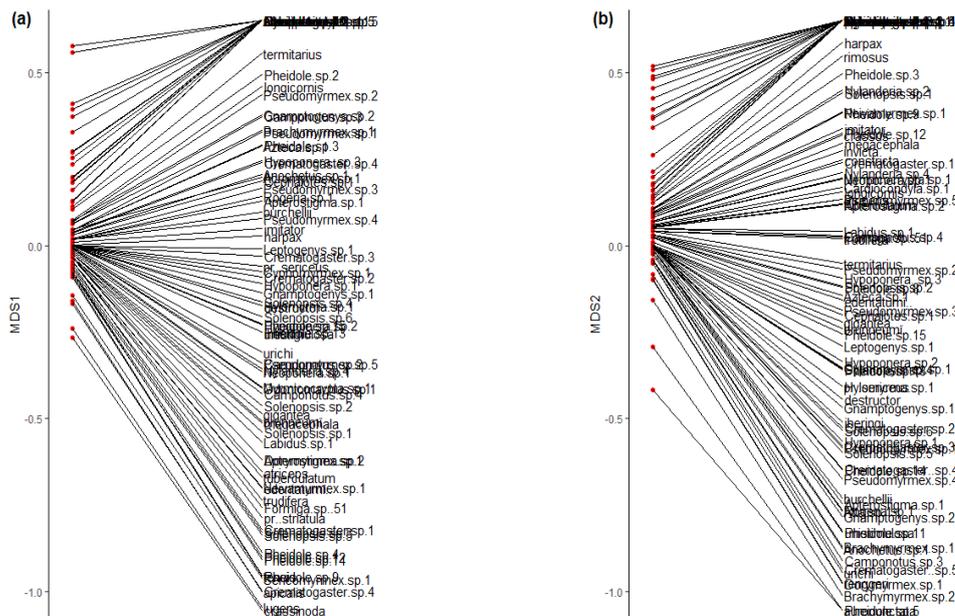


Figura 34 - Composição de espécies de formigas no eixo MDS1 (a) e MDS2 (b) no ambiente pilha de estéril.

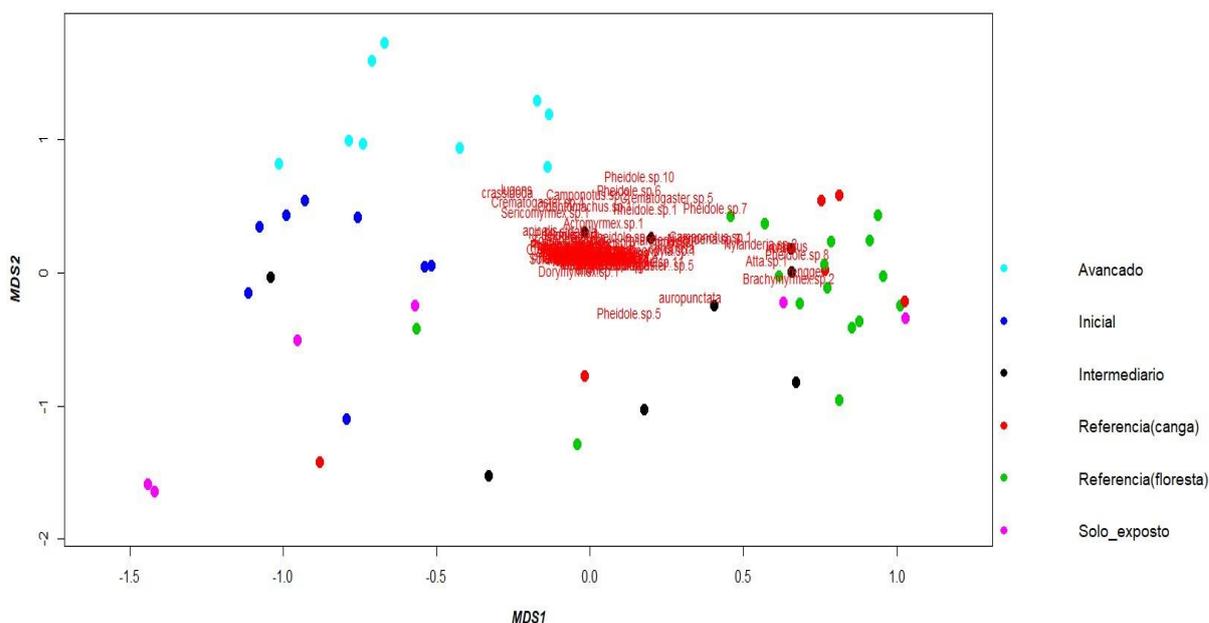


Figura 35 - MDS enredo da composição de espécies de formigas em diferentes estágios de revegetação no ambiente pilhas de estéril.

5.5. IDENTIFICAÇÃO DE ESPÉCIES BIOINDICADORAS

Quanto a análise para bioindicadores no ambiente arenito e seus respectivos estágios de revegetação destacam-se, algumas espécies das ordens Coleoptera, Díptera e Hymenoptera as quais também são encontrados nas áreas de referência (floresta). Em solo exposto nos arenitos as ordens as Colembola e Hymenoptera tiveram destaque (Tabela 14). No ambiente pilha de estéril, destacam-se como indicadores as ordens Coleoptera, Colembola, Dermaptera, Isoptera

e Hymenoptera e nas áreas de solo exposto Coleoptera e Díptera (Tabela 15). Nas pilhas de estéril, destacam-se como indicadores as ordens Coleoptera, Colembola, Dermaptera, Isoptera e Hymenoptera e nas áreas de solo exposto Coleoptera e Díptera (Tabela 14). Em áreas de floresta destacam-se as ordens Hymenoptera e Díptera e em canga Colembola e Diptera (Tabela 16).

Tabela 14 - Ocorrência de espécie/ morfoespecie indicadoras de cada estágio de revegetação no ambiente arenito.

Estágio de revegetação	espécies/morfoespécies	Stat	P Value
Solo exposto	<i>Colembola sp.2</i>	0.77	0.009
	<i>Colembola sp.3</i>	0.66	0.026
	<i>Crematogaster sp.3</i>	0.65	0.010
	<i>Dorymyrmex sp.1</i>	0.61	0.012
	<i>Cyphomyrmex rimosus</i>	0.48	0.04
Estágio inicial	<i>Pseudomyrmex termitarius</i>	0.78	0.004
	<i>Crematogaster sp.5</i>	0.74	0.009
	<i>Solenopsis invicta</i>	0.64	0.013
	<i>Pleidole sp.7</i>	0.51	0.043
	<i>Atta sp.1</i>	0.50	0.048
Estágio intermediário	Besouro sp.2	0.70	0.004
	Besouro sp.1	0.66	0.007
Estágio avançado	<i>Pachycondyla crassinoda</i>	0.55	0.012
	Díptera sp.1	0.49	0.024

Tabela 15 - Ocorrência de espécie/ morfoespécies indicadoras de cada estágio de revegetação no ambiente pilha de estéril.

Estágio de revegetação	espécies/morfoespécies	Stat	P Value
Solo exposto	Díptera sp. 23	0.46	0.012
	Díptera sp. 14	0.46	0.017
	Besouro sp.34	0.33	0.045
Estágio inicial	<i>Cardiocondyla</i> sp.1	0.63	0.001
	<i>Nylanderia</i> sp. 1	0.47	0.026
	Besouro sp.10	0.40	0.025
	Besouro sp.23	0.33	0.037
	<i>Paratrechina longicornis</i>	0.33	0.043
Estágio intermediário	Dermaptera sp.1	0.57	0.001
	<i>Nylanderia</i> sp.3	0.50	0.027
	<i>Mayaponera constricta</i>	0.34	0.046
Estágio Avançado	Cupim sp.1	0.59	0.001
	Colembola sp.6	0.48	0.026
	Colembola sp.5	0.32	0.023

Tabela 16 - Ocorrência de espécie/ morfoespécies indicadoras nas áreas de referência (floresta/canga).

Estágio de revegetação	espécies/morfoespécies	Stat	P Value
Referência floresta	<i>Pheidole</i> sp.10	0.89	0.003
	Díptera sp.3	0.87	0.002
	<i>Pachycondyla crassinoda</i>	0.85	0.010
	<i>Camponotus</i> sp.2	0.77	0.019
	<i>Crematogaster</i> sp.4	0.77	0.015
	<i>Pheidole</i> sp.6	0.77	0.018
	<i>Ectatomma lugens</i>	0.77	0.013
	<i> </i>	<i> </i>	<i> </i>
Referência canga	Colembola sp.3	0.98	0.017
	Díptera sp.4	0.50	0.045

6 DISCUSSÃO

Neste estudo, avaliamos padrões de riqueza, diversidade e composição em ambientes de arenito, pilhas de estéril em diferentes estágios de revegetação e em áreas de referência floresta e canga. Nossos resultados mostram que os estágios de revegetação explicam os padrões de riqueza, diversidade e composição, e que existem espécies/morfoespécies bioindicadoras para cada estágio de revegetação.

A dominância de formigas foi evidente em áreas de floresta. FERNANDES *et al.* (2013) ao avaliar a fauna do solo em área degradada revegetada, através do uso de armadilhas do tipo “*pitfall*”, observaram que o grupo taxonômico predominante na área revegetadas e na floresta (área de referência) foram as formigas. Ré (2012) afirma que a ordem Hymenoptera e família Formicidae, são consideradas como excelentes candidatas a bioindicadores na avaliação de recuperação de áreas. Segat *et al.* (2017) afirmam que a classificação de formigas a nível de gêneros é suficiente para separar as áreas nos diferentes estágios sucessionais de recuperação. Esse resultado se enquadra na hipótese de heterogeneidade de habitats, no qual existe maior diversidade de formigas em habitats com maior heterogeneidade estrutural da vegetação (TEWS *et al.*, 2004).

O grupo taxonômico predominante em áreas de canga foi collembola. Apesar do solo da canga ser basicamente formado de minério de ferro os collembolas mostram ser capazes de ocupar e reproduzir-se. Moreira, (2018) ressalta em seu trabalho a abundância de collembola nos pequenos canais da canga, ou seja, transitando através da porosidade da rocha. TREVELIN *et al.*, 2019, cita os collembolas como bons bioindicadores da diversidade geral da fauna cavernícola nas cangas da região de Carajás, Pará.

Dentre as variáveis preditoras, estágio de revegetação foi a variável que melhor explicou os padrões de riqueza, diversidade e composição. Em áreas de solo exposto a riqueza e diversidade de invertebrados foi menor quando comparado aos demais estágios. Essa baixa riqueza e diversidade seria devido as áreas de solo exposto apresentarem oferta limitada de resíduos vegetais e materiais orgânicos, que são a base da alimentação de invertebrados terrestres (FERNANDES *et al.*, 2013). Foi observado que após esse solo exposto passar pelo processo de revegetação, a partir de dois anos, já se pode alcançar a riqueza e diversidade de morfoespécies de invertebrados equivalente à observada na referência (floresta) (DEWALT; MALIAKAL; DENSLOW; 2003) que salienta que, muitos animais dependem dos recursos florestais como locais para forrageamento, nidificação e proteção, e que estes recursos podem

variar em florestas de diferentes idades. Oliveira, Rodrigues e Oliveira (2008), em estudo dos níveis de recuperação de áreas com o uso de grupos de invertebrados, concluíram que, após três anos, a colonização por invertebrados terrestres já estava acontecendo, indicando que a riqueza de espécies aumenta juntamente com o processo sucessional da vegetação. GOMES (2013) sugeriu em seu trabalho que cinco anos são suficientes para haver a recuperação da riqueza de espécies de formigas. Embora a riqueza de espécies seja considerada o componente mais facilmente restaurado da biodiversidade. Segundo Dunn, (2004) a recuperação da riqueza de espécies geralmente leva mais tempo, cerca de 20-40 anos para vários táxons animais ou até 5-15 anos para terrestres besouros ativos na restauração da floresta tropical (GRIMBACHER; STORK, 2009). Estes resultados revelam dados importante, visto que em poucos anos as áreas já podem ser ditas como recuperada/restaurada, em termos de riqueza e diversidade de invertebrados, contudo não pode se dizer o mesmo sobre a composição das comunidades.

A composição de invertebrados apresentou similaridade entre os estágios de revegetação, porém os estágios solo exposto e canga mostraram distanciamento entre os demais estágios. Isto pode estar relacionado ao fato da baixa cobertura vegetal nas duas áreas, pois solo exposto está em processo inicial de recuperação sendo então uma área aberta onde predomina pouca vegetação, o que limita o recurso alimentar e abrigo para os invertebrados, enquanto que a área de referência canga apresenta vegetação herbácea ou arbustiva pouco desenvolvida. De acordo com Mello, Massoni Jr. e Alves (2018), a cobertura vegetal é um dos fatores que pode influenciar na composição, riqueza e abundância dos artrópodes.

Nossos resultados mostraram que formigas explicam melhor a variação da composição, sendo mais similar nas parcelas de cada estágio de revegetação, isto pode estar relacionado a disponibilidade de recurso para cada espécie. A disponibilidade de recursos, alimentares e/ou de nidificação são fatores importantes na determinação da distribuição da riqueza e composição das assembleias de formigas (CAMPOS; VASCONCELOS; ANDERSEN; 2007). Segundo Pais e Varanda (2010) como os atributos do habitat mudam rapidamente devido principalmente ao crescimento da vegetação, as espécies de formigas são substituídas por outras mais adaptadas às novas condições. Compreende-se que locais degradados, geralmente, são colonizados por espécies oportunistas ou espécies generalistas, que podem obter vantagens com as mudanças dos recursos, alterando as condições de sobrevivência no ambiente em questão (HOFFMANN; ANDERSEN, 2003). Segundo Maeto e Sato (2004) existe diferença na estrutura das comunidades de formigas entre as áreas, com predomínio de espécies especialistas em áreas mais conservadas e espécies generalistas em áreas alteradas. Afinal, a estrutura da vegetação

influencia fortemente a composição de formigas terrestres (PACHECO; VASCONCELOS, 2011).

A análise de resultados referentes ao efeito da estrutura da paisagem sobre o padrão de riqueza, diversidade e composição de invertebrados confirmou nossa hipótese inicial, demonstrando que existe influência da estrutura da paisagem na recuperação das comunidades de invertebrados. Os resultados também mostraram que no ambiente pilha de estéril a quantidade de floresta tem influência sobre a composição de invertebrados e densidade de mancha floresta influencia a riqueza e diversidade. De fato, estudos mostram que o tamanho do remanescente florestal parece ser o principal fator limitante para as populações em habitats fragmentados (ARROYO-RODRÍGUEZ; DIAS, 2009), provavelmente porque o tamanho da mancha está positivamente relacionado com a disponibilidade de alimentos, nidificação e proteção (PREVEDELLO; VIEIRA, 2010). Segundo MacArthur e Wilson (1967), a riqueza das comunidades consiste num balanço entre o nível de sobrevivência das populações das várias espécies (associado à área) e a chance de imigrantes das populações ou novas espécies chegarem. Em estudo realizado (RUIZ-JAÉN; AIDE, 2005) o aumento da estrutura da vegetação alterou as condições locais no local reflorestado facilitando a colonização de formigas, répteis e anfíbios. Ambientes muito isolados, ou cercados por vegetações heterogênea, implicam em ampliação do isolamento de invertebrados (METZGER, 2001). Segundo Fahrig (2001), afirma que somente a quantidade de habitat, independente do grau de isolamento e do tamanho dos fragmentos, tem influência sobre a riqueza de espécies. Silva e Lopes (2016) afirma que as alterações de paisagem, e majoritariamente florestal para uma matriz mais aberta, podem afetar a diversidade e estrutura da comunidade de Scarabaeidae em fragmentos florestais de Mata Atlântica.

As morfoespécies em dominância no estágio solo exposto no ambiente arenito foram *Collembola* sp. 2, *Colembola* sp. 3, *Crematogaster* sp.3, *Dorymyrmex* sp. e *Cyphomyrmex rimosus* e no ambiente pilha de estéril foram Díptera sp. 23, Díptera sp. 14 e Besouro sp. 34. Apesar de estágios iniciais apresentarem oferta praticamente nula de resíduos vegetais (FERNANDES *et al.*, 2013), collembola e Formicidae foram dominantes e capazes de ocupar e reproduzir (ANDRADE, 2000, p. 34). O grupo collembola, tem potencial para ser utilizada como indicador de distúrbios, o que possibilita utilização como bioindicador de áreas revegetadas e qualidade do solo (LORANGER *et al.*, 2001; CUTZ-POOL *et al.* 2007). A elevada abundância desse grupo é esperada, pois os collembolas são considerados o segundo grupo mais abundante da mesofauna edáfica (MORAIS *et al.*, 2013). A dominância da família

Formicidae era esperada uma vez que este grupo apresenta hábitos sociais (RAFAEL *et al.*, 2012) e constitui um grupo dominante na maioria dos ecossistemas, estando presente nos mais diferentes habitats, desde áreas bem conservadas, até áreas com algum tipo de degradação e com diferentes tipos de uso do solo (WINK *et al.*, 2005). Delabie *et al.* (2006) destaca em seu trabalho que as morfoespécies *Cyphomyrmex sp.2* e *Crematogaster sp.1*, tiveram ocorrência apenas em áreas de estágio inicial de sucessão e áreas degradadas. Segundo Ribas *et al.*, (2012) o gênero *Dorymyrmex*, são encontradas em áreas de mineração (perturbadas), destacando que são generalistas e provavelmente provenientes das áreas de entorno (áreas em reabilitação).

Nos demais estágios de revegetação do ambiente arenito as morfoespécies dominantes foram *Pseudomyrmex termitarius*, *Crematogaster sp.5*, *Solenopsis invicta*, *Pleidole sp.7*, *Atta sp.1*, Besouro sp. 2, Besouro sp.1, *Pachycondyla crassinoda* e Díptera sp.1. Destaca-se nas pilhas de estéril, as morfoespécies *Cardiocondyla sp. 1*, *Nylanderia sp. 1*, Besouro sp. 10, Besouro sp. 23, Besouro sp. 23, *Paratrechina longicornis*, *Dermaptera sp.1*, *Nylanderia sp. 3*, *Mayaponera constricta*, *Colembola sp. 6*, *Colembola sp. 5*. Estes resultados são semelhantes ao de Amaral (2017) onde houve a predominância de Hymenoptera e Coleoptera, nas áreas em recuperação, a abundância destes grupos provavelmente está associada a introdução de serapilheira (por meio das espécies arbóreas existentes no local). Souza-Gonçalves, Carneiro e Viana (2014), afirma que a ordem Collembola juntamente com o grupo Formicidae indicam que as áreas revegetadas estão caminhando para uma maior estabilidade ecológica. Phillip Suter *et al.*, (2006), destaca em seu trabalho que em áreas revegetadas de diferentes idades, os grupos dominantes foram os Collembola, Hymenoptera, Acarina e Coleoptera, resultado que são semelhantes a este estudo. Em estudo de Nunes, Araújo Filho e Menezes (2008), no bioma de Caatinga, verificaram que Formicidae e Coleoptera também representaram os grupos mais abundantes. A dominância de indivíduos nesses respectivos grupos (Hymenoptera e Coleoptera) está possivelmente associada ao aumento da cobertura do solo com o decorrer da idade de revegetação contribuindo para o aumento da disponibilidade de alimentos (LIMA; LIMA, 2010).

Segundo Segat *et al.* (2017) é possível notar que alguns gêneros de formigas são conhecidos por habitar apenas ambientes abertos encontrados no início da sucessão, enquanto outros predominam em ambientes menos perturbados, com melhores condições edafoclimáticas, especialmente características físico-químicas e biológicas do solo. O gênero *Crematogaster* precisa de ambientes mais estáveis para sobreviver, enquanto *Attas* estão

geralmente presentes em ambientes degradados e podem estar associadas à qualidade ambiental das florestas em recuperação.

7 CONCLUSÃO

A riqueza e diversidade de invertebrados nos locais estudados apresentam diferenças entre as áreas de estágio de revegetação, podendo ser influenciadas por características da paisagem como a cobertura vegetal (área de floresta, quantidade de manchas e bordas de floresta, etc.). O processo de revegetação local modifica riqueza e diversidade de invertebrados, aparentemente, devido à diferentes respostas dos grupos de organismos à mudanças na paisagem durante progressão desse procedimento. Com esse estudo foi possível identificar espécies com potencial de bioindicadores ambientais, que seriam aquelas que se diferiram da composição geral de morfoespécies entre as diferentes áreas de estágio de revegetação e referência (floresta/canga).

Os resultados do presente trabalho evidenciam a importância de formigas como bioindicadoras de áreas preservadas e áreas em revegetação após atividades de mineração. A riqueza de espécies de formigas e a abundância das espécies, podem ser utilizadas como medidas para inferir esses impactos apresentam relações distintas nos locais estudados. Em relação à identidade das formigas que habitam as áreas preservadas, parece haver um conjunto particular de espécies. As espécies *Pheidole* sp. 10, *Pachycondyla crassionoda*, *Camponotus* sp. 2, *Crematogaster* sp. 4, *Pheidole* sp. 6, *Ectatomma lugens*, foram às mais frequentes nas áreas preservadas e de acordo com os resultados encontrados nesse estudo são espécies a serem utilizadas como indicadoras de floresta nativa, o que pode ser útil para a escolha do segmento das comunidades de formigas a ser utilizado em programas de monitoramento ambiental.

REFERÊNCIA

AB'SABER, A. N. Geomorfologia da região. **In:** CARAJÁS: desafio político, ecologia e desenvolvimento. São Paulo: Brasiliense; Brasília, DF: CNPq, 1986. p. 88-124

ALMEIDA, R. O. P. O. **Revegetação de areias mineradas:** estudo dos procedimentos aplicados em mineração de areia. Orientador: Luis Enrique Sánchez, Dr. 2002. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, jan. 2014.

AMARAL, T. C. **Invertebrados epígeos como indicadores de recuperação de área degradada tratada com lodo de esgoto e resíduos de poda de árvores.** Orientador: Alessandra Monteiro de Paula. 2017. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de agronomia e medicina, Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2017.

ANDRADE, L. B. **O uso da fauna edáfica como bio-indicadora de modificação ambiental em areias degradadas.** Orientador: Ricardo Valcarcel. 2000. 44 f. (TCC em Ciências Biológicas) – Departamento de Ciências Ambientais, Instituto de Florestas, Universidade Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

AQUINO, A. M. de; CORREIA, M. E. F.; ALVES, M. V. Diversidade da macrofauna edáfica no Brasil. **In:** MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O.; BRUSSAARD, L. (Eds.). Biodiversidade do solo em ecossistemas tropicais. Lavras: EDUFLA, 2008. p. 143-170.

ARAÚJO, G. H. M. F. de. **Efeito do manejo sobre a qualidade do substrato e o desenvolvimento de espécies arbóreas do cerrado em cascalheira no Distrito Federal.** Orientador: Wenceslau J. Goedert. 2006. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2006.

ARROYO-RODRÍGUEZ, V.; DIAS, P. A. Effects of habitat fragmentation and disturbance on howler monkeys: a review. **American Journal of Primatology**, v. 72, n. 1, p.1-16, jan. 2010. DOI 10.1002/ajp.20753.

BALAGUER, L.; ESCUDERO, A.; MARTÍN-DUQUE, J. F.; MOLA, I.; ARONSON, J. The historical reference in restoration ecology: Re-defining a cornerstone Concept. **Biological Conservation**. v. 176, p. 12-20, 2014.

BARETTA, D. S.; SEGAT, J. C.; GEREMIA, E. V.; OLIVEIRA, F. L. C. I.; ALVES, M. V. Fauna edáfica e qualidade do solo. **In:** TÓPICOS em Ciência do Solo. Viçosa: SBCS, 2011. p. 119-170. (Volume 7)

BASSET, Y.; NOVOTNY, V.; MILLER, S.; SPRINGATE, N. Assessing the impact of forest disturbance on tropical invertebrates: some comments. **Journal of Applied Ecology**, London, v. 35, n. 3, p. 461-466, jun. 1998.

BATISTA, I.; CORREIA, M. E. F.; PEREIRA, M. G.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROUWS, J. R. C. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 38, p. 797-809, 2014.

BIZUTE, Denise Terezinha Gonçalves. **É possível reverter a degradação do solo provocada pela mineração de bauxita por meio da restauração florestal?**. Orientador: Pedro Henrique Santin Brancalion, Dr. 2017. 48 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

BORROR, D. J.; TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. **An introduction to the study of insects**. 6. ed. Philadelphia: Saunders College, 1992. 875 p.

BRANCALION, P. H. S.; VIANI, R. A. G.; RODRIGUES, RICARDO RIBEIRO; GANDOLFI, SERGIUS. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. **In: MARTINS, S. V. (Ed.). Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados**. Viçosa: UFV, 2012. ISBN 978-857-269-421-6

BRASIL. Ministério do Interior. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília, DF: IBAMA, 1990. p. 96

BROWN JR, K. S. Diversity, disturbance, and sustainable use of Neotropical forests: insects as indicators for conservation monitoring. **J. Ins. Conserv.**, v. 1, p. 25-42, 1997.

BROWN, G. G.; NIVA, C. C.; ZAGATTO, M. R. G.; FERREIRA, S. de A.; NADOLNY, H. S.; CARDOSO, G. B. X.; SANTOS, A.; MARTINEZ, G. de A.; PASINI, A.; BARTZ, M. L. C.; SAUTTER, K. D.; THOMAZINI, M. J.; BARETTA, D.; SILVA, E. da; ANTONIOLLI, Z. I.; DECAËNS, T.; LAVELLE, P. M.; SOUSA, J. P.; CARVALHO, F. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. **In: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (EdS.). Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília: Embrapa, p. 121-154, 2015. (Capítulo 10)

BÜCHS, W. Biodiversity and agri-environmental indicators-general scopes and skills with special reference to the habitat level. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 98, p. 35-78, 2003.

CAMPOS, R. I. de; VASCONCELOS, H. L.; ANDERSEN, A. N. Fatores determinantes da co-ocorrência de espécies de formiga em savanas tropicais: um teste de generalidade de padrões ecológicos contrastando Brasil e Austrália. **Biológico**, São Paulo, v.69, suplemento 2, p. 145-148, 2007.

CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B. de; BATISTA, G. M. de M. Avaliação fitossociológica da sucessão autogênica em áreas mineradas no Distrito Federal. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 406-415, out./dez. 2007.

COSTA, G. A. R. da. **Bioindicadores da poluição do ar**. Orientador: Jadir Silva. 2013. Monografia (Disciplina de ENG426 - Poluição do ar) - Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

CUTZ-POOL, L. Q.; PALACIOS-VARGAS, J. G.; CASTAÑO-MENESES, G.; GARCÍA-CALDERÓN, N. E. Edaphic Collembola from two agroecosystems with contrasting irrigation type in Hidalgo State, México. **Appl. Soil Ecol.**, v. 36, n. 1, p. 46-52, maio 2007. DOI [10.1016/j.apsoil.2006.11.009](https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.11.009)

DELABIE, J. H.; PAIM, V. R. L. D. M.; NASCIEMNTO, I. C. D.; CAMPIOLO, S.; MARIANO, C. D. S. F. Ants as biological indicators of human impact in mangroves of the southeastern coast of Bahia, Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 35, n. 5, p. 602-615, 2006.

DEVIDE, A. C. P.; CASTRO, C. M. **Manejo do solo e a dinâmica da fauna edáfica**. 2009. [Artigo em Hiperetxto]. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/ManejoSolo/index.htm. Acesso em: 9 maio 2019.

DEWALT, S. J.; MALIAKAL, S. K.; DENSLOW, J. S. Changes in vegetation structure and composition along a tropical forest chronosequence: implications for wildlife. **Forest Ecology and Management**, v. 182, p. 139-151, 2003.

DUNN, R. T. Recovery of faunal communities during tropical forest regeneration. **Conserv Biol**. v. 18, n. 2, p. 302-309, abr. 2004.

FAHRIG, L. How much habitat is enough? **Biological Conservation**, v. 100, n. 1, p. 65-74, jul. 2001. DOI [10.1016/S0006-3207\(00\)00208-1](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00208-1)

FERNANDES, M. M.; FERNANDES, M. R. de M.; LIMA, R. P.; CRUZ, N. N. de L. Fauna do solo em área degradada revegetada com *Enterolobium contortisiliquum* no sul do Piauí. **Geoambiente On-line**, Jataí, v. 19, p. 01-11, 2013. DOI <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i19.26054>

FERREIRA, W. C.; BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R.; FERREIRA, D. F. Regeneração Natural como indicador de recuperação de área degradada a jusante da usina hidrelétrica de Camargos, MG. **Revista Árvore** [online], Viçosa, v. 34, n. 4, p. 651-660, 2010. ISSN 0100-6762. DOI 10.1590/S0100-67622010000400009

FREITAS, A. V. L.; LEAL, I. R.; UEHARA-PRADO, M.; IANNUZZI, L. Insetos como indicadores de conservação da paisagem. **In: ROCHA, C. F. D; BERGALLO, H. G.; VAN SLUYS, M.; ALVES, M. A. S. (Eds.). Biologia da conservação**. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2005. (Capítulo 15).

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.; BATISTA, G. C; BERTII FILHO, E.; PARRA, J. R. P.; ZUCCHI, R. A.; ALVES, S. B.; VENDRAMIM, J. D.;

MARCHINI, L. C.; LOPES, J. R. S.; OMOTO, C, Entomologia Agrícola. Piracicaba: FEALQ, 2002, 920 p. (Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz).

GARDNER, T. A. **Monitoring forest biodiversity: improving Conservation through ecologically-responsible management.** London: Earthscan, 2010. 388 p.

GASTAUER, M.; MEIRA-NETO, J. A. A. Avoiding inaccuracies in tree calibration and phylogenetic community analysis using Phylocom 4.2. **Ecological Informatics**, v. 15, n. 2, p. 85-90, abr. 2013. DOI: [10.1016/j.ecoinf.2013.03.005](https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2013.03.005)

GEORGE, P. B. L.; KEITH, A. M.; CREER, S.; BARRETT, G. L.; LEBRON, L; EMMETT, B. A.; ROBINSON, D. A; JONES, D. L. Evaluation of mesofauna communities as soil quality indicators in a national-level monitoring programme. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 115, p. 537-546, dez. 2017. DOI 10.1016/j.soilbio.2017.09.022.

GOLLAN, J. R.; LOBRY DE BRUYN, L.; REID, N.; SMITH, D.; WILKIE, L. Can ants be used as ecological indicators of restoration progress in dynamic environments? A case study in a revegetated riparian zone. **Ecological Indicators**, v. 11, p. 1517-1525, 2011. DOI 10.1016/j.ecolind.2009.09.007.

GOMES, E. C. F. **Comunidades de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em dois estágios sucessionais e em um fragmento de Mata Atlântica do Estado de Sergipe.**

Orientador: Genésio Tâmara Ribeiro. 2013. 42 f. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.

SOUZA-GONÇALVES, I.; CARNEIRO, T. R.; VIANA, P. A. Levantamento de coleópteros em mata nativa e na cultura do milho. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, v. 9, n. 2, p. 73-79, dez. 2014. ISSN 1981-092X.

GRIMBACHER, P. S.; STORK, N. E. Seasonality of a Diverse Beetle Assemblage Inhabiting Lowland Tropical Rain Forest in Australia. **Biotropica**, v. 41, n. 3, p. 328-337, maio 2009.

HOFFMANN, B. D.; ANDERSEN, A. N. Responses of ants to disturbance in Australia, with particular reference to functional groups. **Austral Ecology**, Carlton, v. 28, n. 4, p. 444-464, 25 jul. 2003. DOI [10.1046/j.1442-9993.2003.01301.x](https://doi.org/10.1046/j.1442-9993.2003.01301.x)

BRASIL. MINISTÉRIO DO INTERIOR. **Manual de Recuperação de áreas degradadas pela mineração.** Brasília, DF: IBAMA, 1990. 96p

IBAMA. **Instrução normativa N° 03/2011, de 1° de abril de 2011.** Disponível e: http://www.ibama.gov.br/phocadownload/fauna/fauna_exotica/2011_ibama_in_03_2011_e_al_teracoes_criacao_de_fauna_exotica_amadora.pdf. Acesso em: 23 ago. 2017.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de Manejo da Floresta Nacional de Carajás: diagnóstico.** Brasília, DF: ICMBIO. 2016. (volume 1)

JANSEN, A. Terrestrial invertebrate community structure as an indicator of success of a tropical rainforest restoration project. **Restoration Ecology**, v. 5, n. 2, p. 115-124, jun. 1997. DOI [10.1046/j.1526-100X.1997.09714.x](https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.1997.09714.x)

KAPUSTA, S. C. **Bioindicação ambiental**. Porto Alegre: Escola Técnica da UFRS, 2008. 88 p. ISBN 8575191896 (Curso Técnico em Meio Ambiente, desenvolvido pelo Programa Escola Técnica Aberta do Brasil).

LAVELLE, P.; SPAIN, A.V. **Soil ecology**. Dordrecht: Kluwer Academic Pub., 2001. 654 p.

LIMA, V. C.; LIMA, M. R. de. Formação do solo. **In:** LIMA, V. C.; LIMA, M. R. de.; MELO, V. de F. (Eds.). O solo no meio ambiente: abordagem para professores de ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio. Curitiba: UFPR, 2007. p. 1-10 (Capítulo 1).

LORANGER, G.; BANDYOPADHYAYA, L.; RAZAKA, B.; PONGE, J. F. Does soil acidity explain altitudinal sequences in Collembolan communities? **Soil Biol. Biochem.**, v. 33, p. 381- 393, 2001.

LOUZADA, J.; ZANETTI, R. Bioindicadores de Impactos Ambientais. **In:** Moreira, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. O Ecossistema Solo. Lavras: UFLA. 2013. 352 p. ISBN 9788581270234.

MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. **The Theory of Island Biogeography**. Princeton: Princeton University Press. 1967.

MAETO, K.; SATO, S. Impactos of forestry on ant species richness and composition in warm-temperate forest of Japan. **Forest Ecology and Management**, v. 187, p. 13-223, 2004.

MAJER, J. D. Fauna studies and land reclamation technology: review of the history and need for such studies. **In:** _____. (Eds.). Animals in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands. London: Cambridge University Press, 1989. p. 3-33.

MARTINS, F. D. **O Conflito de Carajás: cenários para a conservação da savana metalófila**. Orientador: Marinez Ferreira de Siqueira. 2015. 74 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Biodiversidade em Unidades de Conservação) – Escola Nacional de Botânica Tropical, Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

MCDONALD, T.; JONSON, J.; DIXON, K. W. National standards for the practice of ecological restoration in Australia. **Restor. Ecol.** v. 24, n. S1, p. S4–S32, jun. 2016. DOI [10.1111/rec.12359](https://doi.org/10.1111/rec.12359)

MCGEOCH, M. A. The selection, testing and application of terrestrial insects as bioindicators. **Biological Reviews, Cambridge**, v. 73, n. 2, p. 181-201, maio 1998. DOI [10.1017/S000632319700515X](https://doi.org/10.1017/S000632319700515X)

MELLO, M. R.; MASSONI JÚNIOR, E. V.; ALVES, M. S. Artropodofauna de solo associada à serapilheira ao longo de um gradiente topográfico na chapada dos Guimarães, Mato Grosso, Brasil. **Holos**, ano 34, v. 2, p. 438-448, 2018. ISSN 1807-1600.

METZGER, J. P. O que é Ecologia de Paisagens? **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 1, n. 1/2, p. 1-9, 2001. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12/pt/fullpaper?bn00701122001+pt>

ORGANIZAÇÃO DE CONSERVAÇÃO DA TERRA. Apresentação da APA do Pratigi. [online]. 2015. Disponível em: <http://www.oct.org.br/apa-do-pratigi/Apresentacao/19>. Acesso em: 09 ago. 2017.

MILLER, A. J.; ZÉGRE, N. P. Mountaintop removal mining and catchment hydrology. **Water**. v. 6, p. 472-99, 2014. ISSN 2073-4441. DOI 10.3390/w6030472.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Programa Nacional do Meio Ambiente II PNMA II - Fase 2 2009 – 2014. **COMPONENTE DESENVOLVIMENTO INSTITUCIONAL. SUBCOMPONENTE MONITORAMENTO AMBIENTAL**. Disponível em: Acesso em: 15 de junho de 2017.

CADERNOS da Mata Ciliar. São Paulo: SMA, 2011. ISSN 1981-6235. v. 4. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/mataciliar/>.

MORAIS, J. W. de; OLIVEIRA, F. G. L.; BRAGA, R. F.; KORASAKI, V. Mesofauna. **In: MOREIRA, F. M. S.; CARES, J. E.; ZANETTI, R.; STÜRMER, S. L. (Eds.). O ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: Editora da UFLA, 2013. p. 185-200.

MOREIRA, L. M. S. Conectividade do meio subterrâneo para a definição da área de influência de cavidade em rochas ferríferas. **In: Vallourec – Terra Brasilis: ciclo de palestras: área de influência de cavernas**. Belo Horizonte: [s.n.], 2018. p. 41-43

MOREIRA, F. M. S.; HUISING, E. J.; BIGNELL, D. E. (Eds.). **Manual de biologia dos solos tropicais: amostragem e caracterização da biodiversidade**. Lavras: UFLA, 2010. 367 p.

NUNES, L. A. P. L.; ARAÚJO FILHO, J. A.; MENEZES, R. I. Q. Recolonização da fauna edáfica em áreas de caatinga submetidas a queimadas. **Caatinga**, v. 21, n. 3, p. 214-220, jul./set., 2008.

OLIVEIRA, E. M.; SOLTO, J. S. Mesofauna edáfica como indicadora de áreas degradadas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Pombal, v. 6, n. 1, p. 01-09, 2011.

OLIVEIRA, E. P.; RODRIGUES, M. R. L.; OLIVEIRA, V. S. **Diagnostico dos níveis de recuperação de áreas com o uso de grupos de invertebrados**. Resumos expandidos FERTBIO 2008. Londrina: [s.n.], 2008. p. 3.

OLIVEIRA, R. E. de. O estado da arte da ecologia da restauração e sua relação com a restauração de ecossistemas florestais no bioma Mata Atlântica. **In: Avaliação e monitoramento da restauração: indicadores aplicáveis ao monitoramento da restauração florestal na Mata Atlântica Brasileira**. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu – SP. f. 40, 2011a.

PACHECO, R. B. A.; VASCONCELOS, H. L. Habitats diversity enhances ant diversity in a naturally heterogeneous Brazilian landscape. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, p. 797-809, 2011.

PAIS, M. P.; VARANDA, E. M. Arthropod Recolonization in the Restoration of a Semideciduous Forest in Southeastern Brazil. **Neotrop. Entomol.**, Londrina, v. 39, n. 2, p. 198-206, mar./abr. 2010. DOI 10.1590/S1519-566X2010000200009

PEDRON, L. **Mimercofauna em área de mineração de carvão no Rio Grande do Sul.** Orientador: Ervandil Corrêa Costa. 2016. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2016.

PEREIRA, J. de M.; BARETTA, D.; BINI, D.; VASCONCELLOS, R. L. de F.; CARDOSO, E. J. B. N. Relationships between microbial activity and soil physical and chemical properties in native and reforested *Araucaria angustifolia* forests in the state of São Paulo, Brazil. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 37, n. 3, p. 572-586, 2013. ISSN 1806-9657. DOI 10.1590/S0100-06832013000300003.

PEREIRA, M. P. dos S.; QUEIROZ, J. M.; VALCARCEL, R.; MAYHÉ-NUNES, A. J. Fauna de formigas como ferramenta para monitoramento de área de mineração reabilitada na ilha da madeira, Itaguaí, RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 197-204, jul./set., 2007. ISSN 1980-5098 [versão online].

PREVEDELLO, J. A.; VIEIRA, M. V. Does the type of matrix matter? A quantitative review of the evidence. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, n. 5, p. 1205-1223, maio. 2009. DOI 10.1007/s10531-009-9750-z

RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B.; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. (Eds.). **Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia.** Ribeirão Preto: Holos. 2012. 759 p. ISBN 9788586699726.

RÉ, T. M. **O uso de formigas como bioindicadores no monitoramento ambiental de revegetação de áreas mineradas.** Orientador: Giorgio Francesco Cesare De Tomi. 2007. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEM, I. (Orgs.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal.** São Paulo: LERF/ESALQ; Instituto BioAtlântica, 2009. 256 p. ISBN 9788560840021.

RIBAS, C. R.; CAMPOS, R. B. F.; SCHMIDT, F. A.; SOLAR, R. R. C. Ants as indicators in Brazil: a review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. **Psyche: a journal of entomology**, Cambridge, v. 2012, art. ID 636749, p. 1-23, 2012. Disponível em: <http://www.hindawi.com/journals/psyche/2012/636749/>. Acesso em: 10 dez. 2018.

RIBAS, C. R.; SCHMIDT, F. A.; SOLAR, R. R. C.; SCHOEREDER, J. H.; VALENTIM, C. L.; SANCHES, A. L. P.; ENDRINGER, F. B. Formigas podem ser utilizadas como bioindicadoras de recuperação após impactos ambientais? **Biológico**, São Paulo, v. 69, suplemento 2, p. 57-60, 2007. (Mesa Redonda). Disponível em: http://www.biologico.sp.gov.br/uploads/docs/bio/suplementos/v69_supl_2/p57-60.pdf.

ROCHA, W. O. **O garimpo de diamantes como fator da degradação ambiental no Município de Poxoréu – MT**. Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas. Dissertação (mestrado) -- Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Cuiabá, p 3, 2012.

RUIZ-JAÉN, M. C.; AIDE, T. M. Vegetation structure, species diversity, and ecosystem processes as measures of restoration success. **Forest Ecology and Management**, v. 218, n. 1, p. 159–173, out. 2005. DOI [10.1016/j.foreco.2005.07.008](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.07.008).

SAHOO, P. K. *et al.* Influence of seasonal variation on the hydro-biogeochemical characteristics of two upland lakes in the Southeastern Amazon, Brazil. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, v. 88, n. 4, p. 2211-2227, ago. 2016. ISSN 0001-3765

SANTOS, D. P.; SANTOS, G. G.; SANTOS, I. L.; SCHOSSLER, T. R.; NIVA, C. C.; MARCHÃO, R. L. Caracterização da macrofauna edáfica em sistemas de produção de grãos no Sudoeste do Piauí. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 51, n. 9, p. 1466-1475, set. 2016.

SEGAT, J. C.; VASCONCELLOS, R. L. F.; SILVA, D. P.; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Ants as indicators of soil quality in an on-going recovery of riparian forests. **Forest Ecology and Management**. v. 404, p. 338-343. 2017. ISSN 0378-1127. DOI [10.1016/j.foreco.2017.07.038](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.07.038)

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL. **The SER International Primer on Ecological Restoration**. Tucson: SER, 2004. *E-book*. Disponível em: https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/ser_publications/ser_primer.pdf.

SILVA, G. R. G.; LOPES, P. P. Componentes de paisagem: O que tem maior efeito sobre a comunidade de scabaeinae (Coleoptera) em Fragmentos de Mata Atlântica? **Anais Seminário de Iniciação Científica**, n. 20, 2016. Disponível em: <http://periodicos.uefs.br/index.php/semic/article/view/3055>.

SILVA, L. N., AMARAL, A. A. do. Amostragem da mesofauna e macrofauna de solo com armadilha de queda. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 5, p. 108-115, (Edição Especial), dez. 2013. ISSN 1981-8203. Disponível em: <file:///C:/Users/81002688/Desktop/E-books/1988-7931-1-PB.pdf>

SILVEIRA, R. B.; MELLONI, R.; MELLONI, E. P. G. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, v. 12, p. 48-55, 2006.

TEWS, J.; BROSE, U.; GRIMM, V.; TIELBÖRGER, K.; WICHMANN, M. C.; SCHWAGER, M.; JELTSCH, F. Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. **Journal of Biogeography**, v. 31, n. 1, p. 79-92, jan. 2004. DOI [10.1046/j.0305-0270.2003.00994.x](https://doi.org/10.1046/j.0305-0270.2003.00994.x).

THOMANZINI, M. J.; THOMANZINI, A.P. B. W. **A fragmentação florestal e a diversidade de insetos nas florestas tropicais úmidas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000. 21 p. ISSN 0104-9046. (Embrapa Acre. Documentos, 57).

TREVELIN, L. C.; GASTAUER, M.; PROUS, X.; NICÁCIO, G.; ZAMPAULO, R.; BRANDI, I.; OLIVEIRA, G.; SIQUEIRA, J. O.; JAFFÉ, R. Biodiversity surrogates in Amazonian iron cave ecosystems. **Ecological Indicators**, v. 101, p. 813-820, fev. 2019. DOI [10.1016 / j.ecolind.2019.01.086](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.086).

VALENTIM, C. L. **Formigas como bioindicadoras de impactos ambientais e de reabilitação de áreas após atividades de mineração**. 2010. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Entomológica) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010. Disponível em: <http://locus.ufv.br/handle/123456789/3897>

VASCONCELLOS, R. L. F.; BONFIM, J. A.; ANDREOTE, F. D.; MENDES, L.W; BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Microbiological indicators of soil quality in a riparian forest recovery gradient. **Ecological Engineering**, v. 53, p. 313-320, abr. 2013. DOI [10.1016/j.ecoleng.2012.12.067](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.067)

VASCONCELLOS, N. J. S. de.; SILVA, R. F. da; BINS, F. H.; SILVA, B. L. da. Reservas legais: um importante refúgio para os isópodos terrestres em áreas agrícolas. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 3, p. 676-684, jul./set. 2015. ISSN 1980-998X. DOI 10.4136/ambi-agua.1476

WILSON, E. O. The Little Things that Run the World (The Importance and Conservation of invertebrates). **Conservation Biology**, v. 1, n. 4, p. 344-346, dez. 1987. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2386020?origin=JSTOR-pdf>

WINK, C.; GUEDES, J. V. C.; FAGUNDES, C. K.; ROVEDDER, A. P. Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 4, n. 1, p. 60-71, 2005. ISSN 2238-1171. Disponível: <http://revistas.udesc.br/index.php/agroveterinaria/article/view/5405>.

YADA, M. M. *et al.* Atributos Químicos e Bioquímicos em Solos Degradados por Mineração de Estanho e em Fase de Recuperação em Ecossistema Amazônico. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online], v. 39, n. 3, p. 714-724. 2015. ISSN 0100-0683. ISSN [online] 1806-9657. DOI 10.1590/01000683rbc20140499.