

Macrofauna de áreas recuperadas após extração de seixo na região Amazônica

Soil macrofauna of recovered areas after gravel extraction in the Amazon region

DOI:10.34117/bjdv7n4-471

Recebimento dos originais: 07/03/2021

Aceitação para publicação: 19/04/2021

Michel Sauma Filho

Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia da Rede BIONORTE pela Universidade Federal do Pará

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Endereço: PA 124 km 0, Bairro Vila Nova, Capitão Poço, Pará, Brasil

E-mail: michel.sauma@ufra.edu.br

Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo

Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa

Instituição: Museu Paraense Emílio Goeldi

Endereço: Av. Perimetral, 1901, Bairro Terra Firme, Belém, Pará, Brasil

E-mail: dpaulamt@hotmail.com

José Darlon Nascimento Alves

Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa

Instituição: Universidade Federal de Viçosa

Endereço: Campus Universitário, Viçosa, Minas Gerais, Brasil

E-mail: jose.darllon@hotmail.com

Heráclito Eugênio Oliveira da Conceição

Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Lavras

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Endereço: PA 124 km 0, Bairro Vila Nova, Capitão Poço, Pará, Brasil

E-mail: heraclito.eugenio@ufra.edu.br

Maria Leliane Pires da Costa

Bacharel em Biologia pela Universidade Federal Rural da Amazônia

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Endereço: PA 124 km 0, Bairro Vila Nova, Capitão Poço, Pará, Brasil

E-mail: lelianepires.06@gmail.com

José Antônio Lima Rocha Junior

Graduando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal Rural da Amazônia

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia

Endereço: PA 124 km 0, Bairro Vila Nova, Capitão Poço, Pará, Brasil

E-mail: juniorlimarocha4@gmail.com

Karolina Alves Moraes

Graduanda em Agronomia pela Universidade Federal Rural da Amazônia

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia
Endereço: PA 124 Km 0, Bairro Vila Nova, Capitão Poço, Pará, Brasil
E-mail: moraeskarol2016@gmail.com

Thiago Caio Moura Oliveira

Graduando em Agronomia pela Universidade Federal Rural da Amazônia
Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia
Endereço: PA 124 Km 0, Bairro Vila Nova, Capitão Poço, Pará, Brasil
E-mail: thiagocaio1998@gmail.com

RESUMO

A exploração mineral gera expressivas consequências ambientais, porém ainda são poucos os estudos visando à recuperação de áreas degradadas por mineração. Assim, o objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito do uso da técnica de revegetação na macrofauna do solo em área degradada após extração de seixo na região amazônica. O experimento foi realizado em área de extração de seixo em Capitão Poço – PA. O delineamento experimental usado foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas de dois tratamentos – calagem + escarificação (CC) e sem calagem e sem escarificação (SC). As subparcelas foram compostas de cinco tratamentos: 1) plantio de mudas de sete espécies + 500 kg de serrapilheira; 2) plantio de mudas de sete espécies + 50 g planta⁻¹ de NPK + 200 g planta⁻¹ de cama aviária; 3) plantio de mudas de sete espécies + 50 g planta⁻¹ de NPK + 200 g planta⁻¹ de cama aviária + plantio de duas linhas de feijão-caupi entre as linhas das sete espécies; 4) plantio de mudas de sete espécies + 50 g planta⁻¹ de NPK + 200 g planta⁻¹ de cama aviária + 500 kg de topsoil e 5) regeneração natural. Em geral, a macrofauna do solo construído apresentou comportamento diferenciado, sendo mais abundantes os grupos taxonômicos Formicidae e Oligochaeta. A maior diversidade de grupos taxonômicos foi observada no solo sob floresta secundária. A técnica de revegetação do solo construído proporcionou o aumento da densidade da macrofauna invertebrada aos 16 meses de experimento.

Palavras-chave: agregados do solo, biota do solo, Capitão Poço, solos amazônicos.

ABSTRACT

Mineral exploration generates significant environmental consequences. However, there are still few studies aimed at recovering areas degraded by mining. Therefore, the objective of the research was to evaluate the effect of the use of revegetation on the soil macrofauna in an area under gravel extraction in the Amazon region. The experiment was carried out in a gravel mining area in Capitão Poço - PA. The experimental design used was in randomized blocks, in subdivided plots. The plots consisted of two treatments: liming + scarification and without liming and without scarification. The subplots were composed of five treatments: 1) planting seedlings of seven species + 500 kg of litter; 2) seedlings of seven species + 50 g plant⁻¹ of NPK + 200 g plant⁻¹ of poultry manure; 3) seedlings of seven species + 50 g plant⁻¹ of NPK + 200 g plant⁻¹ of poultry manure + cultivation of two cowpea lines between the seven species lines; 4) planting seedlings of seven species + 50 g plant⁻¹ of NPK + 200 g plant⁻¹ of poultry manure + 500 kg de topsoil and 5) natural regeneration. In general, the macrofauna of the built soil showed different behavior, with the taxonomic groups Formicidae and Oligochaeta being more abundant.

The greatest diversity of taxonomic groups was observed in the soil under secondary forest. The revegetation technique of the built soil provided an increase in the invertebrate macrofauna density at 16 months of the experimental evaluation.

Keywords: soil aggregates, soil biota, Capitão Poço, Amazonian soils.

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta grande destaque no setor mineral, sendo um dos principais exportadores de minérios do mundo. Esse setor contribui expressivamente para o PIB brasileiro (IBRAM, 2021). O Pará contribui com quase a metade da produção nacional de minérios, com faturamento superior a 90 bilhões de reais (IBRAM, 2021). Entretanto, vem sendo observado nos últimos anos o aumento de áreas degradadas, em que o processo de regeneração natural da vegetação se torna inviável a curto e médio prazo, devido o processo erosivo e retirada da camada fértil do solo (BORGA e CAMPOS, 2017; BARROS et al., 2018). Além disso, a falta de conhecimento técnico em relação à seleção de espécies vegetais adequadas para a recuperação dessas áreas na região Amazônica contribui para essa situação.

A melhoria dos atributos químicos do solo é essencial para a recuperação da composição florística original da área. Um dos indicadores essenciais para avaliar o processo de recuperação da fertilidade dos solos é a macrofauna do solo, devido ser um dos indicadores mais sensíveis na mudança da cobertura do solo (LIMA et al., 2017; MACHADO, COSTA, PEDRON, 2017; KITAMURA et al., 2020). A macrofauna do solo compreende por diversos grupos de invertebrados com diâmetros maiores de que 4 mm e que são responsáveis pelo processo de ciclagem de nutrientes no solo, formação de agregados do solo e porosidade (BIANCHI et al., 2017; MACHADO et al., 2018; KITAMURA et al., 2020).

Apesar da importância de estudos voltados para a recuperação de áreas degradadas por mineração, poucos são os experimentos a longo prazo realizados na região amazônica, com a finalidade de analisar a dinâmica da biota do solo. Com isso, a presente pesquisa busca contribuir com informações relacionadas à dinâmica da macrofauna do solo em áreas em processo de recuperação tendo como referência a macrofauna do solo da vegetação natural. Assim, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar o efeito do uso da técnica de revegetação na macrofauna do solo em área degradada após extração de seixo na região amazônica.

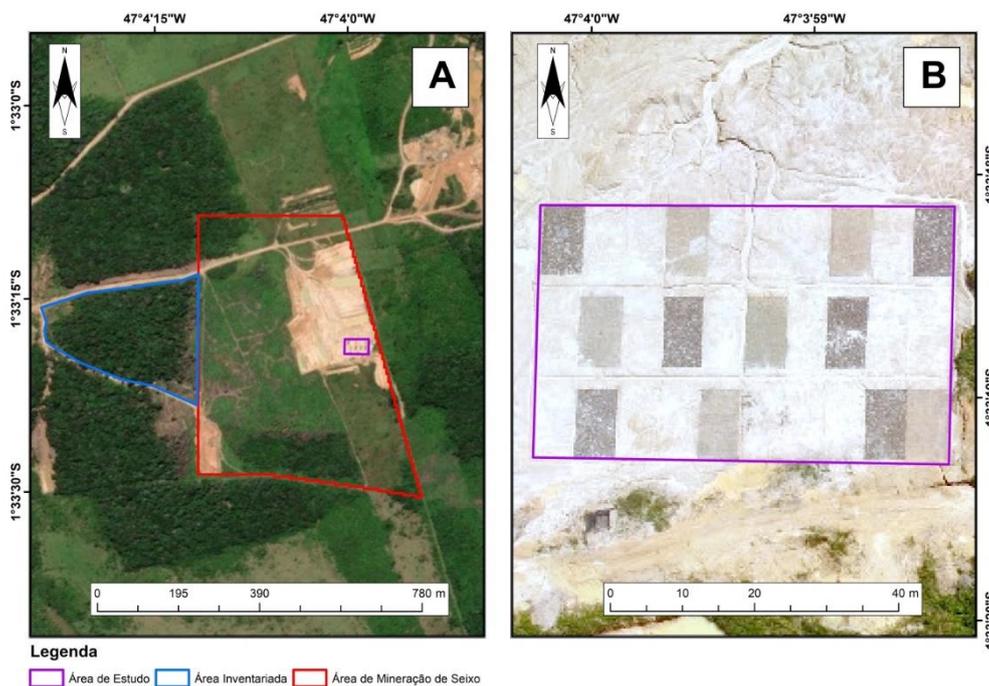
2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em uma área de mineração de seixo no município de Capitão Poço – PA, entre as coordenadas geográficas 01° 30' e 02° 35' S e 46° 49" e 47° 27' O. A vegetação do município é caracterizada pela cobertura de floresta densa de platôs, terraços e vegetação aluvial (SILVA et al, 1999). O clima do município segundo a Classificação Climática de Köppen é o Ami, em que o clima é chuvoso, porém apresentando pequena estação seca (PACHECO; BASTOS, 2001). O solo predominante na região é classificado como Latossolo Amarelo (EMBRAPA, 2013).

No sítio experimental foram selecionadas duas áreas: uma área de 7,82 ha, constituída por um fragmento de floresta secundária (FS) e outra de 0,28 ha, resultante de uma área recém-explorada pela extração de seixo (Figura 1). Os depósitos de seixo em forma de lentes estão inseridos em Latossolo Vermelho-Amarelo com profundidades que variam entre 3 e 5 metros. (Figura 2).

Para a execução dos tratamentos, inicialmente foi feita uma terraplenagem do terreno manualmente, com ferramentas (enxada e pá) com transporte do material em carro de mão. Foram transportados cerca de 40 metros cúbicos de substrato (rejeito da mineração de seixo) que foram utilizados para cobrir irregularidades no terreno (depressões) para evitar o acúmulo de água e escoamento dos materiais que seriam utilizados para cobrir o substrato, nas parcelas.

Figura 1 - Vista geral da localização das áreas do experimento. Floresta secundária, delimitada por linha em azul (A) e da distribuição das subparcelas do experimento de recuperação de área degradada, na área de mineração de seixo (B), no município de Capitão Poço, Pará.



Fonte: José Antônio Lima Rocha Junior.

Figura 2 - Vista geral do depósito de seixo em forma de lente na área de mineração de seixo à céu aberto, no município de Capitão Poço, Pará.



Do horizonte A (material orgânico - *topsoil*) da superfície do solo, do local adjacente a área minerada, foram retirados cerca de 10,5 m³ e distribuídos na superfície de algumas subparcelas. Foram utilizados 135 kg de calcário dolomítico, para correção do pH, e colocados sobre o substrato das parcelas. Da floresta secundária foram retirados 66 sacos de serapilheira (cada um com cerca de 40 Kg) e colocada sobre as parcelas.

Foi utilizada a técnica de revegetação, por meio do uso das seguintes espécies florestais: Embaúba (*Cecropia distachya* Huber), Ingazeiro (*Inga heterophylla* Willd),

Acácia (*Cassia sp.*), Tamanqueira (*Zanthoxylum rhoifolium* Lam), Envira-preta (*Guatteria poeppigiana* Mart.), Acacia-australiana (*Acacia mangium* Willd) e Envirão (*Guatteria vilosíssima* A. St.-Flil). A implantação do experimento ocorreu em maio de 2018 (SAUMA FILHO et al, 2020).

O delineamento experimental usado foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três blocos. As parcelas foram constituídas de dois tratamentos – calagem + escarificação (CC) e sem calagem e sem escarificação (SC). As subparcelas foram compostas de cinco tratamentos: 1) plantio de mudas de sete espécies + 500 kg de serrapilheira (camada com 5 cm de espessura); 2) plantio de mudas de sete espécies + 50 g planta⁻¹ de NPK da formulação 20-10-20 + 200 g planta⁻¹ de cama aviária; 3) plantio de mudas de sete espécies + 50 g planta⁻¹ de NPK da formulação 20-10-20 + 200 g planta⁻¹ de cama aviária + plantio de duas linhas de feijão-caupi entre as linhas das sete espécies; 4) plantio de mudas de sete espécies + 50 g planta⁻¹ de NPK da formulação 20-10-20 + 200 g planta⁻¹ de cama aviária + 500 kg de *topsoil* e 5) testemunha (regeneração natural). Em cada subparcela foram semeadas quatro plantas de cada espécie, totalizando 28 plantas por subparcela, distribuídas em arranjo espacial quadrangular de 1,5 m x 1,5 m. Cada parcela e subparcela medem 300 m² (30m x 10m) e 60 m² (6m x 10m), respectivamente e, o bloco 600 m² (60m x 10m).

Logo após o plantio das mudas foi realizada uma proteção parcial, visando reduzir a intensidade de radiação solar incidente e a velocidade do vento na área do experimento, utilizando ramos de plantas nativas que vegetam próximo da área do experimento, durante 15 dias. O controle de plantas daninhas foi realizado quando necessário, inicialmente por meio de mondas e, depois, com roçagens, sempre na área de projeção da copa das plantas, deixando-se o material retirado nessa área. Também foi realizado o tutoramento de algumas plantas sempre que necessário. Durante o período seco foram realizados molhamentos para proporcionar o pleno crescimento das mudas.

A coleta da macrofauna do solo foi realizada utilizando-se o método do TSBF (Tropical Soil Biology and Fertility) descrito por Anderson e Ingram (1993). As amostras foram coletadas e analisadas obedecendo às seguintes etapas: 1) retirada de blocos de solo; 2) extração manual dos animais; 3) conservação dos animais; 4) contagem e identificação dos animais.

Inicialmente foi retirada a serrapilheira de uma área de 30 cm de lado, de um local onde foi feita a amostragem de solo para determinação da macrofauna; em um dos lados dessa área, com auxílio de uma cavadeira articulada retirou-se o solo adjacente a 30 cm

de profundidade e 30 cm de comprimento, para facilitar a retirada das amostragens das camadas de solo para as análises, em cada profundidade (0 a 10 cm e 10 a 20 cm), por parcela, utilizando-se uma forma ou molde metálico de 25 cm de lado e 10 cm de altura. A forma foi introduzida no solo até atingir a profundidade desejada e, em seguida, com auxílio da lâmina de um enxadão cortou-se o solo na área amostrada. Esse material foi acondicionado em um saco de polietileno e armazenado em uma caixa de isopor. Foram retiradas duas amostras em cada profundidade por parcela. Após a coleta das amostras, esse material foi conduzido para o Laboratório de Produção Vegetal do campus Capitão Poço - PA.

No laboratório, as amostras foram colocadas em bandejas de polietileno e, em seguida, com auxílio de pinça, retiraram-se todos os animais visíveis e, procedeu-se a contagem e a identificação pelo nome comum, e aqueles que não eram prontamente conhecidos foram colocados em frasco de vidro contendo 20 ml de álcool etílico a 70%, para identificação posterior. Essa identificação foi realizada com uso de lupa binocular e consulta a literatura específica.

Com os dados coletados da macrofauna do solo foram determinados: a densidade da macrofauna (DM) = número de indivíduos por metro quadrado e o número de indivíduos por espécie e por grupo taxonômico. Para quantificação da diversidade da macrofauna invertebrada do solo sob floresta secundária e do experimento de recuperação de área degradada foram utilizados os Índices de Simpson (D) e de Shannon-Wiener (H') (MAGURRAN, 1988), de acordo com as equações 1 e 2, respectivamente.

$$D = \{[\sum n(n-1)] / [N(N-1)]\} \quad (1)$$

$$H' = \frac{\left[N \cdot \ln(N) - \sum_{i=1}^S n_i \ln(n_i) \right]}{N} \quad (2)$$

Sendo: N = número total de indivíduos amostrados; n_i = número de indivíduos amostrados da i -ésima espécie; S = número de espécies amostradas; \ln = logaritmo de base neperiana.

Os dados gerais obtidos nas diferentes etapas deste estudo foram submetidos à análise de variância, e as médias, quando apresentaram efeitos significativos, ao teste de

Tukey ($p < 0,05$), utilizando software BioEstat (BARBOSA; MALDONADO JÚNIOR, 2015). Gráficos foram realizados por meio do Microsoft Office Excel versão 2010.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados relacionados à macrofauna invertebrada do solo, sob o fragmento de floresta secundária encontram-se descritos na Tabela 1 e ilustrados na Figura 3. Foram identificados oito grupos taxonômicos, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade. Constataram-se, em ordem decrescente de densidades da macrofauna invertebrada, em indivíduos m^{-2} , os seguintes grupos taxonômicos: Isoptera (cupins = 674), Formicidae (formigas = 395), Oligoqueta (minhocas = 149), Diplopoda (piolho de cobra = 68), Chilopoda (centopeias = 53), Coleóptera (besouro = 49), Blattaria (baratas = 38) e Gastropoda (caracol = 27), perfazendo um total de 1.453 indivíduos m^{-2} .

Tabela 1- Densidades da macrofauna invertebrada do solo (indivíduos m^{-2}) por grupo taxonômico e nome vulgar e, índices de diversidade (D e H'), obtidos nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm de profundidades do solo sob “floresta secundária” da área de mineração de seixo, no município de Capitão Poço, Pará, Brasil, em dois períodos de avaliação.

Grupo taxonômico	Nome vulgar	Período de avaliação (meses)			
		8		16	
		0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
Chilopoda	Centopeias	21	11	5	16
Formicidae	Formigas	192	27	112	64
Isoptera	Cupins	189	277	133	75
Oligoqueta	Minhocas	27	37	48	37
Blattaria	Baratas	11	16	6	5
Diplopoda	Piolho de cobra	21	5	21	21
Coleoptera	Besouro	11	16	6	16
Gasteropoda	Caracol	5	11	5	6
Densidade por profundidade e período	-	477	400	336	240
Densidade por período	-	877		576	
Densidade total	-	1.453			
Índice de diversidade de Simpson (D)	-	0,33	0,50	0,29	0,21
Índice de diversidade de Shannon- Wiener (H')	-	0,61	0,79	0,54	0,89

Fonte: Dados da pesquisa

Esses resultados corroboram parcialmente com os obtidos por Costa (2019), em pesquisa desenvolvida em fragmento de floresta secundária (25 anos) sem intervenção antropogênica, localizada a 10 km de distância da floresta secundária da mineração de seixo, que indicou a ocorrência de seis grupos taxonômicos, contidos nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm, com a seguinte composição de organismos, em indivíduos m^{-2} :

Formicidae (formigas = 775), Oligochaeta (minhocas = 875), Isopoda (tatuzinhos = 75), Diplopoda (piolho de cobra = 250), Coleóptera (besouro = 150) e Dermaptera (tesourinhas = 125), totalizando 2.250 indivíduos m⁻², embora, apenas quatro grupos taxonômicos sejam comuns às duas áreas existe um maior numero de indivíduos nesse ecossistema (2.250 indivíduos m⁻²).

Figura 3- Principais indivíduos da macrofauna invertebrada identificada no solo sob floresta secundária e do solo construído, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade, na área de mineração de seixo, no município de Capitão Poço, Pará. (A) Formicidea (formiga); (B) Diplopoda (piolho de cobra); (C) Gastropoda (caracol); (D) Isoptera (cupins); (E) Blattaria (barata) e (F) Oligoqueta (minhoca).



Fonte: Dados da pesquisa.

Baretta et al., (2006), informaram que, a maior concentração dos organismos pertencentes à macrofauna encontra-se na camada superficial do solo, pois é frequentemente modificada pelas práticas de preparo e manejo do solo e, segundo Kitamura et al. (2020), estes organismos são extremamente sensíveis às modificações ambientais, respondendo rapidamente à operação de manejo e retirada da vegetação.

Com relação aos índices de diversidade de Simpson (D) e de Shannon-Wiener (H') representados na Tabela 1, observa-se para D, um valor maior aos oito meses, na camada de 10 a 20 cm e uma redução, na camada de 0 a 10 cm, após dezesseis meses, entretanto, os valores de D oscilaram entre 0,21 e 0,50, indicando baixa diversidade, uma vez que o valor estimado de D varia de 0 a 1, sendo que para valores próximos de um, a diversidade é considerada maior. Na mesma Tabela, observa-se o mesmo comportamento para H' , onde o índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') aumentou na camada de 10 a 20 cm de profundidade nos dois períodos de avaliação considerados neste trabalho; contudo, os maiores valores foram inferiores a 1.

Nas Tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7 estão representadas as características da macrofauna invertebrada do solo construído, a céu aberto, após extração de seixo e da floresta secundária, em função da densidade (d) e dos índices de diversidade de Simpson (D) e de Shannon-Wiener (H').

As maiores densidades de indivíduos da macrofauna invertebrada no solo construído foram observadas nos tratamentos CC-M3 (85,3 indivíduos m^{-2}), SC-M2 e SC-M4 (26,7 indivíduos m^{-2}), após oito meses e, no CC-M4 (250,0 indivíduos m^{-2}) e SC-M2 (384,0 indivíduos m^{-2}), após dezesseis meses (Tabela 2). Lima et al. (2017) ao estudarem o efeito da adição de *topsoil* em área degradada após extração de piçarra na Caatinga, concluíram que a adição de *topsoil* influenciou positivamente na fauna do solo.

Tabela 2- Densidades da macrofauna invertebrada (indivíduos m⁻²) obtida no solo construído após extração de seixo e, do solo sob floresta secundária, no município de Capitão Poço, Pará.

Tratamentos	Período de avaliação e profundidade (meses)				Total	
	8 meses		16 meses		8 meses	16 meses
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm		
CC-M1	16	10,7	80	42,6	26,7	122,6
CC-M2	0	26,7	64	26,7	26,7	90,7
CC-M3	80	5,3	48	80	85,3	128
CC-M4	10,6	16	240	10,6	26,6	250,6
CC-M5	5,3	0	5,3	0	5,3	5,3
SC-M1	5,3	5,3	106,6	32	10,6	138,6
SC-M2	26,7	0	363,7	21,3	26,7	384
SC-M3	5,3	5,3	21,3	117,3	10,6	138,6
SC-M4	5,3	21,3	181,3	26,7	26,6	208
SC-M5	5,3	5,3	0	32	10,6	32
FS	477	400	336	240	813	640

Fonte: Dados da pesquisa.

Nas Tabelas 3 e 4 e 5 e 6 estão representadas as densidades de indivíduos da macrofauna, por classe taxonômica, para tratamentos CE x M, ou seja, CC-M e SC-M, nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm de profundidade, após oito e dezesseis meses, respectivamente. Após oito meses constatou-se nos tratamentos CC-M que, a maior densidade foi obtida para o grupo taxonômico Formicidae, no tratamento CC-M3 (85,3 indivíduos m⁻²); além disso, esse grupo taxonômico foi predominante nos tratamentos CC-M. A quantidade de grupos taxonômicos observados foram 2, 2, 1, 2 e 1, respectivamente nos tratamentos CC-M1, CC-M2, CC-M3, CC-M4 e CC-M5 (Tabela 3) e, ainda, nos tratamentos SC-M, obteve-se nos tratamentos SC-M2 (26,7 indivíduos m⁻²) e SC-M4 (26,7 indivíduos m⁻²), também com destaque do grupo taxonômico Formicidae (Tabela 4).

Tabela 3- Densidades da macrofauna invertebrada (indivíduos m⁻²) por classe taxonômica após oito meses e, do solo sob floresta secundária, em relação à CC e M, no município de Capitão Poço, Pará.

Classe taxonômica	Profund. (cm)	FS	Tratamentos				
			CC-M1	CC-M2	CC-M3	CC-M4	CC-M5
Formicidae	0-10	192	10,7	0	80	5,3	5,3
	10-20	27	10,7	10,7	5,3	10,7	0
Oligoqueta	0-10	27	5,3	0	0	5,3	0
	10-20	37	0	16	0	5,3	0
Coleoptera	0-10	11	0	0	0	0	0
	10-20	16	0	0	0	0	0
Orthoptera	0-10	0	0	0	0	0	0

	10-20	0	0	0	0	0	0
Total	-	310	53,4	53,4	85,3	53,2	10,6

Fonte: Dados da pesquisa.

Após dezesseis meses de implantação da pesquisa nos tratamentos CE-M, destacaram-se os tratamentos CC-M4 (250,6 indivíduos m⁻²) e SC-M2 (384,0 indivíduos m⁻²), com predomínio do grupo taxonômico Formicidae; entretanto, nos tratamentos CC-M1 e CC-M2, foram constatados os seguintes grupos taxonômicos: Formicidae, Oligoqueta, Coleóptera e Orthoptera (Tabelas 5 e 6). Machado et al. (2018) ao estudarem a macrofauna do solo em áreas em processo de recuperação, após extração de carvão, pela técnica da revegetação, observaram maior frequência das ordens Hymenoptera e Isoptera.

Tabela 4- Densidades da macrofauna invertebrada (indivíduos m⁻²) por classe taxonômica após oito meses e, do solo sob floresta secundária, em relação à SC e M, no município de Capitão Poço, Pará.

Classe taxonômica	Profund. (cm)	FS	Tratamentos				
			SC-M1	SC-M2	SC-M3	SC-M4	SC-M5
Formicidae	0-10	192	5,3	26,7	0	0	5,3
	10-20	27	5,3	0	0	16	5,3
Oligoqueta	0-10	27	0	0	5,3	5,3	0
	10-20	37	0	0	5,3	5,3	0
Coleoptera	0-10	11	0	0	0	0	0
	10-20	16	0	0	0	0	0
Orthoptera	0-10	0	0	0	0	0	0
	10-20	0	0	0	0	0	0
Total	-	310	10,6	26,7	10,6	26,6	10,6

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 5- Densidades da macrofauna invertebrada indivíduos m⁻²) por classe taxonômica após dezesseis meses e, do solo sob floresta secundária, em relação à CC e M, no município de Capitão Poço, Pará.

Classe taxonômica	Profund. (cm)	FS	Tratamentos				
			CC-M1	CC-M2	CC-M3	CC-M4	CC-M5
Formicidae	0-10	112	58,7	48	48	229,3	5,3
	10-20	64	37,3	10,7	80	5,3	0
Oligoqueta	0-10	48	10,7	0	0	10,7	0
	10-20	37	0	5,3	0	5,3	0
Coleoptera	0-10	6	5,3	5,3	0	0	0

	10-20	16	0	10,7	0	0	0
Orthoptera	0-10	0	5,3	10,7	0	0	0
	10-20	0	5,3	0	0	0	0
Total	-	234	122,6	90,7	128,0	250,6	5,4

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 6- Densidades da macrofauna invertebrada (indivíduos m⁻²) por classe taxonômica após dezesseis meses e, do solo sob floresta secundária, em relação à SC e M, no município de Capitão Poço, Pará.

Classe taxonômica	Profund. (cm)	FS	Tratamentos				
			SC-M1	SC-M2	SC-M3	SC-M4	SC-M5
Formicidae	0-10	112	101,3	362,7	21,3	170,7	0
	10-20	64	26,7	21,3	117,3	16	32
Oligoqueta	0-10	48	5,3	0	0	5,3	0
	10-20	37	5,3	0	0	0	0
Coleoptera	0-10	6	0	0	0	0	0
	10-20	16	0	0	0	0	0
Orthoptera	0-10	0	0	0	0	5,3	0
	10-20	0	0	0	0	10,7	0
Total	-	283	138,6	384,0	138,6	208,0	32,0

Fonte: Dados da pesquisa.

Os valores do índice de diversidade de Simpson obtidos nessa pesquisa variaram de 0 a 1, nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm, respectivamente, após oito e dezesseis meses (Tabela 7). Na FS, os menores valores foram de 0,29 e 0,21, com 16 meses, nas camadas de 0 a 10 cm e 10-20 cm de profundidade; nos tratamentos de métodos de recuperação, os menores valores foram constatados para CC-M2 (0,52 e 0,36), CC-M4 (0,56 e 0,50) e SC-M4 (0,63 e 0,52), na camada de 10 a 20 cm de profundidade, respectivamente após oito e dezesseis meses. Entretanto, foram obtidos em alguns tratamentos de métodos de recuperação valores de D igual a 0 ou 1. Esses valores estão relacionados ao fato da inexistência de indivíduos, portanto, esse valor de $D = 0$, não representa maior diversidade de organismos, ou ainda, D igual a 1, quando há apenas uma espécie de organismo da macrofauna invertebrada do solo, respectivamente. Em geral, os menores valores de D constatados nos tratamentos de métodos de recuperação do “solo construído” - CC-M2, CC-M4 e SC-M4, em relação à FS, na camada de 10 a 20 cm de profundidade, após dezesseis meses, evidenciam uma diversidade de organismos inferiores a 71,43%, 138,09% e 147,62%, respectivamente.

Tabela 7- Índices de diversidade de Simpson e de Shannon-Wiener (H') após oito e dezesseis meses de implantação do experimento.

Tratamentos	Simpson				Shannon-Wiener			
	8 meses		16 meses		8 meses		16 meses	
	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm	0-10 cm	10-20 cm
CC-M1	0,56	1,00	0,57	0,78	0,51	0,91	0,43	1,06
CC-M2	0,00	0,52	0,60	0,36	0,00	0,00	0,35	1,22
CC-M3	1,00	1,00	1,00	1,00	0,06	2,78	0,98	0,47
CC-M4	0,50	0,56	0,91	0,50	0,92	0,51	0,04	2,36
CC-M5	1,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SC-M1	1,00	1,00	0,91	0,72	0,69	0,69	0,26	1,47
SC-M2	1,00	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,06	2,89
SC-M3	1,00	1,00	1,00	1,00	0,69	0,69	1,87	0,17
SC-M4	1,00	0,63	0,89	0,52	1,61	0,22	0,14	2,05
SC-M5	1,00	1,00	0,00	1,00	0,69	0,69	0,00	0,00
FS	0,33	0,50	0,29	0,21	0,61	0,79	0,54	0,89

Fonte: Dados da pesquisa.

Ainda, na Tabela 7, está representado o comportamento do índice de diversidade de Shannon-Wiener (H'). No “solo construído”, a maioria dos tratamentos apresentaram valores de H' entre 0 e <1,5, com exceção dos tratamentos SC-M4 (1,61) e CC-M3 (2,78), nas camadas de 0 a 10 cm e 10 a 20 cm de profundidade, após oito meses e, em SC-M3 (1,87), na camada de 0 a 10 cm de profundidade e, em CC-M4 (2,36), SC-M2 (2,89) e SC-M4 (2,05), na camada de 10 a 20 cm de profundidade, após dezesseis meses (Tabela 7).

Em geral, a macrofauna invertebrada existente no solo construído, após a extração de seixo a céu aberto, na área de mineração de seixo indicou comportamento diferenciado, em função dos tratamentos e dos períodos de avaliação estudados, sendo mais abundantes os grupos taxonômicos Formicidae e Oligochaeta e menos abundante o Coleóptera e o Orthoptera, porém, comparativamente, sempre apresentando menor densidade em relação aos grupos taxonômicos observados no solo sob floresta secundária da área de mineração de seixo (Tabela 1). Da mesma forma, observou-se o mesmo comportamento dos parâmetros de diversidade, em relação à área de referência (Tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7). Lima et al. (2017) também observaram maior diversidade de grupos taxonômicos em área de vegetação nativa em comparação à áreas sem e com adição de *topsoil* na Caatinga. Assim como verificado por Oliveira Filho; Barreta e Santos (2014) em área degradada por carvão em processo de recuperação.

4 CONCLUSÃO

A maior diversidade de grupos taxonômicos foi observada no solo sob floresta secundária da área de mineração de seixo.

A técnica de revegetação do solo construído proporcionou o aumento da densidade da macrofauna invertebrada aos 16 meses de experimento.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility, a handbook of methods**, 2. ed. Wallingford: CAB International, 1993. 171 p.

BARBOSA, J. C.; MALDONADO, J. W. 2015. **AgroEstat - sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Jaboticabal: FCAV/UNESP. 396p.

BARETTA, D.; MAFRA, A. L.; SANTOS, J. C. P.; AMARANTE, C. V. T.; BERTOL, I. Análise multivariada da fauna edáfica em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.11, p.1675-1679, 2006.

BARROS, D. A.; COELHO JUNIOR, M. G.; OLIVEIRA, A. L.; SILVA NETO, E. C. Matéria orgânica e agregação do solo em áreas sobre influência da mineração de bauxita na região do planalto de Poços de Caldas, MG. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 14, n. 2, p. 160-167, 2018. <http://doi.org/10.30969/acsa.v14i2.1018>

BIANCHI, M. O.; SCORIZA, R. N.; RESENDE, A. S.; CAMPELLO, E. F. C.; CORREIA, M. E. F.; SILVA, E. M. R. Macrofauna edáfica como indicadora em revegetação com leguminosas arbóreas. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00085714, 2017. <http://doi.org/10.1590/2179-8087.085714>

BORGA, T; CAMPOS, R. F. F. Proposta de recuperação de uma área degradada pela atividade de extração de basalto no município de Caçador, Santa Catarina. **Revista Geonorte**, v.8, n.29, p.23-37, 2017. <https://doi.org/10.21170/geonorte.2017.V.8.N.29.23.37>

COSTA, M. L. P. **Características físicas, químicas e a macrofauna do solo em plantio de laranjeiras (*Citrus sinensis* L. Osbeck) com diferentes idades no município de Capitão Poço**. 2019. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso em Bacharelado em Ciências biológicas. UFRA, Campus Capitão Poço, 2019.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

IBRAM. **Setor Mineral 2020**. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/>. Acesso em 26 de fevereiro de 2021.

KITAMURA, A. E.; TAVARES, R. L. M.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M.; SIQUEIRA, D. S. Soil macrofauna as bioindicator of the recovery of degraded Cerrado soil. **Ciência Rural**, v. 50, n. 8, e20190606, 2020. <http://doi.org/10.1590/0103-8478cr20190606>

LIMA, K. D. R.; CAMARA, R.; CHAER, G. M.; PEREIRA, M. G.; RESENDE, A. S. Soil fauna as bioindicator of recovery of degraded areas in the Caatinga biome. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 2, p. 401 – 411, 2017. <http://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n215rc>

MACHADO, D. N.; COSTA, E. C.; PEDRON, L. Soil mesoarthropods in areas of coal mining under environmental recovery. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.52, n.12, p.1215-1222, 2017. <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2017001200010>

MACHADO, D. N.; COSTA, E. C.; PEDRON, L.; BOSCARDIN, J.; MACHADO, L. M.; FLECK, M. D.; SANTANA, N. A. Soil macrofauna as indicator of environmental recovery in a mining area. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 4, e20170769, 2018. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.170769>

MAGURRAN, A. E. 1988. **Ecological Diversity and its measurement**. Princeton, New Jersey, 179p.

OLIVEIRA FILHO, L. C. I.; BARETTA, D.; SANTOS, J. C. P. Influência dos processos de recuperação do solo após mineração de carvão sobre a mesofauna edáfica em Lauro Müller, Santa Catarina, Brasil. **Biotemas**, 27, v. 2, p. 69-77, 2014. <http://doi.org/10.5007/2175-7925.2014v27n2p69>

PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. **Caracterização climática do município de Capitão Poço-PA**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 17p.

SAUMA FILHO, M.; RUIVO, M. L. P.; CONCEIÇÃO, H. E. O.; VIÉGAS, I. J. M.; GONÇALVES, A. C. S.; TEIXEIRA, O. M. M.; OLIVEIRA, J. N.; GALVÃO, R. M. Atributos químicos do solo construído após a extração de seixo em Capitão Poço, Pará, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 64608-64623, 2020. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-047>

SILVA, B. N. R.; SILVA, L. G. T.; ROCHA, A. M. A.; SAMPAIO, S. M. N. **Interação biofísica e do uso da terra na dinâmica da paisagem do município de Capitão Poço-PA, em sistema de informação geográfica**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 42p.