



Qualidade de solo e liteira em vegetação pós mineração e fragmento florestal em Capitão Poço, Pará, Brasil

Carlakerlane da Silva PRESTES¹, Jamilie Brito de CASTRO²,
Antonio Naldiran Carvalho de CARVALHO³, Jessyca Tayani Nunes REIS³, Rayane de Castro NUNES³,
Luiz Carlos Pantoja Chuva de ABREU³, Gerson Diego Pamplona ALBUQUERQUE³,
Cassio Rafael Costa dos SANTOS^{3*}, Helaine Cristine Gonçalves PIRES³

¹Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Capitão Poço, PA, Brasil.

²Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, TO, Brasil.

³Universidade Federal Rural da Amazônia, Capitão Poço, PA, Brasil.

*E-mail: cassio.santos@ufra.edu.br

Submetido em 04/07/2022; Aceito em 21/01/2023; Publicado em 07/02/2023.

RESUMO: O presente estudo teve como objetivo avaliar alguns atributos químicos e físicos do solo, bem como a serapilheira acumulada acima do solo em duas áreas em diferentes épocas de pousio após a exploração de seixo e areia, em comparação com uma floresta secundária. O estudo foi realizado no município de Capitão Poço, Pará, Brasil. Cada área de estudo possui cerca de 5 ha. As três áreas são compostas por um fragmento florestal (FOR), uma área minerada com pousio de 48 meses (DA48) e uma área minerada em um período de 18 meses (DA18). As variáveis analisadas foram densidade do solo, densidade de partículas do solo, fertilidade do solo e qualidade física da serapilheira. FOR obteve maiores valores de biomassa de serapilheira em quase todos os fatores analisados. Apenas a capacidade de retenção de água da liteira desta área juntamente com o peso da palha fresca. De modo geral, observou-se que é mais adequado utilizar o pousio observado na área DA18 para intervenção por meio de práticas de recuperação para aproveitar a regeneração natural.

Palavras-chave: solos degradados; biomassa vegetal; ecossistemas; recuperação de áreas degradadas; exploração de seixo de areia.

Soil and litter quality under post mining vegetation and forestry fragment in Capitão Poço, Pará, Brazil

ABSTRACT: The present study aimed to evaluate some chemical and physical attributes of the soil, as well as the litter accumulated above ground in two areas at different fallow times after pebble and sand exploration, compared to a secondary forest. The study was carried out in the municipality of Capitão Poço, Pará, Brazil. Each study area has about 5 ha. The three areas are composed of a forest fragment (FOR), a mined area with fallow of 48 months (DA48) and an area mined in a period of 18 months (DA18). The variables analyzed were soil density, soil particle density, soil fertility and litter physical quality. FOR obtained higher values of litter biomass in almost all factors analyzed. Just the water holding capacity of the litter in this area together with the weight of the fresh straw. In general, it was observed that it is more appropriate to use the fallow observed in the DA18 area for intervention through recovery practices to take advantage of natural regeneration.

Keywords: degraded soils; vegetal biomass; ecosystem; recovery of degraded lands; pebble and sand exploitation.

1. INTRODUÇÃO

Na Amazônia Brasileira, a exploração mineral é uma atividade crescente e, apesar de importante economicamente, é responsável por causar diversos impactos ambientais. Dentre os diversos tipos de mineração praticados na região, destaca-se a extração de areia e seixos, principalmente na mesorregião nordeste do estado do Pará. Com o avanço da construção civil, houve um aumento no consumo de agregados, o que gerou uma demanda por áreas com potencial para extração desses materiais (BUTA et al., 2019; SILVA et al., 2020). Essas práticas extrativistas provocam a supressão da vegetação nativa e a retirada da camada superficial e subsuperficial do solo. Nessas áreas mineradas, a remoção de horizontes superficiais e subsuperficiais causa sérios danos físicos, químicos e biológicos ao meio ambiente,

uma vez que o substrato remanescente da exploração é pobre em nutrientes e atividade biológica e possui pouca ou nenhuma estrutura (MARCHINI et al., 2015; XIE et al., 2020).

Tais fatores podem interferir na autorrecuperação do ecossistema, fazendo-o perder sua resiliência ecológica. Isso torna necessária uma intervenção antrópica na área minerada, por meio de práticas de manejo do solo e plantio de espécies vegetais visando sua recuperação (LEI et al., 2016). No entanto, vários fatores devem ser considerados para garantir uma recuperação bem-sucedida. Dentre esses fatores, destaca-se o tempo correto de intervenção na área para recuperação, pois a regeneração natural por pousio pode, em alguns casos, auxiliar na recuperação. Sabe-se que existem situações em que é possível aproveitar a regeneração natural

já presente na área degradada como aliada para implementar ações de recuperação. Isso pode ser essencial para ajudar na cobertura e proteção do solo, com biomassa vegetal para posterior implementação de projetos de recuperação (BRANCALION et al., 2015; ALBA, 2018).

No entanto, é possível que existam condições bastante distintas para a regeneração natural em diferentes estágios sucessionais, e não necessariamente tais condições evoluam ao longo do tempo, uma vez que o solo degradado pode não ser capaz de sustentar a regeneração natural por muito tempo. Isso torna necessário avaliar as características do solo e da liteira e outros atributos ambientais em diferentes estágios sucessionais visando determinar os momentos certos para intervir nas áreas mineradas (BORUVKA et al., 2012; MARTINS et al., 2018).

Para poder avaliar a possibilidade de intervenção em diferentes épocas de pousio, bem como avaliar a possibilidade de aproveitamento da vegetação já existente na área degradada, é necessário utilizar alguns atributos de solo e vegetação, comparando esses atributos com aqueles encontrados no ecossistema de referência (vegetação nativa próxima e inexplorada) (MARTINS et al., 2018). Além disso, a liteira é de fundamental importância para a ciclagem de nutrientes e para retenção de água (MATEUS et al., 2013) e redução de problemas como lixiviação de nutrientes, erosão e impermeabilização da superfície do solo (BORUVKA et al., 2012).

Nesse contexto, o presente estudo foi baseado na seguinte hipótese: áreas degradadas por mineração de seixos e areia podem apresentar regeneração natural de forma eficiente apenas por um curto período de pousio, necessitando então de intervenção humana para garantir a recuperação de sua resiliência. A pesquisa teve como objetivo avaliar alguns atributos químicos e físicos do solo, bem como a qualidade física da liteira acumulada sobre o solo, em duas áreas em diferentes épocas de pousio após a exploração de seixos e areia, em comparação a uma floresta secundária.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

O estudo foi realizado entre os meses de julho a agosto de 2019, em uma área de exploração de seixos e areia, pertencente à Empresa Seixeira e Transportes Aurora Ltda, localizada no município de Capitão Poço, estado do Pará, Amazônia Oriental, Brasil (1°34'21,85''S; 47°06'39,91''W) (Figura 1). O solo natural predominante na área (solo presente na área inexplorada adjacente) é o Latossolo Amarelo de textura média. A vegetação predominante é composta por florestas secundárias originárias de Floresta Ombrófila Densa e Mista. O clima predominante é o Am, segundo a classificação de Koppen (PACHECO; BASTOS, 2001).

O estudo foi desenvolvido em três áreas adjacentes, com aproximadamente 5 ha cada área, totalizando cerca de 15 ha: FOR-Fragmento Florestal, utilizado como ecossistema de referência; DA18- Área explorada, com 18 meses de pousio após a exploração do seixo e DA48- Área explorada, com 48 meses de pousio após a exploração do seixo (Figura 1).

As etapas e métodos de exploração de seixos e areia nas duas áreas exploradas (DA18 e DA48) foram realizadas da seguinte forma: Limpeza da vegetação com escavadeira hidráulica; ramais abertos para facilitar o transporte do minério; decapeamento e escavação do solo com

profundidade variando de 3 a 5 m; extração de areia e seixo com auxílio de pá carregadeira; nivelamento do substrato remanescente após a exploração com o auxílio de uma motoniveladora. O seixo e a areia explorados são utilizados para fins de construção civil.

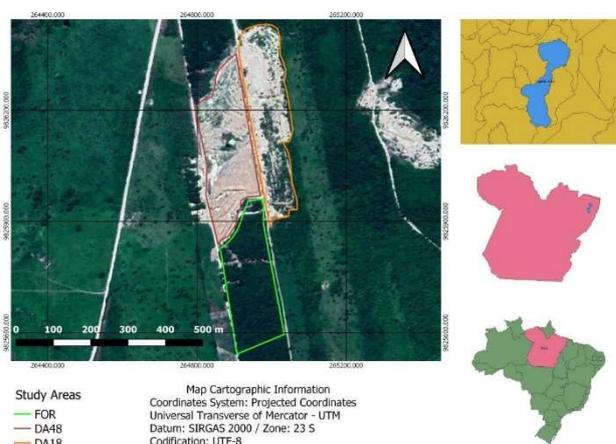


Figura 1. Mapas de Localização das Áreas de Estudo.

Figure 1. Location map of study areas.

2.2. Procedimentos de Amostragem de Solo e Liteira

Em cada uma das três áreas de estudo, 10 parcelas amostrais de dimensões 10 m x 10 m (totalizando 1000 m² de amostragem em cada área de estudo) foram alocadas sistematicamente, totalizando 30 parcelas para toda a área de estudo. Para amostragem da liteira, foi utilizado um quadro de dimensões 0,25 m x 0,25 m, confeccionado em material metálico.

Para a amostragem do solo, foi utilizado um trado holandês. Em cada ponto de coleta simples, a liteira foi recolhida com o auxílio do quadro coletor. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e imediatamente armazenadas para evitar a evapotranspiração. Posteriormente, as amostras foram homogêneas para formação de amostras compostas. Logo abaixo dos pontos de coleta de amostras simples de liteira, também foram coletadas amostras deformadas simples de solo nas profundidades de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m, com auxílio de um trado holandês. As amostras simples foram posteriormente homogêneas e acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados. Essas amostras foram usadas para a determinação de atributos físicos e químicos.

2.3. Preparo e Análise das Amostras de Solo e Liteira

As amostras de solo foram secas ao ar, depositadas em recipientes de alumínio, por um período de quatro dias em local arejado e coberto. Em seguida, as amostras foram peneiradas com peneira de 2 mm (10 mesh) para obtenção do terra fina seco ao ar (TFSA).

As amostras de serapilheira foram primeiramente pesadas, obtendo-se a massa fresca total e, em seguida, cada amostra foi dividida em diferentes frações (folhas, material lenhoso, material reprodutivo, raízes, palhada e miscelânea). Cada fração de cada amostra foi pesada para determinar a proporção de cada uma. Em seguida, as amostras foram submetidas à imersão em água, para determinação do peso úmido. Posteriormente, foram colocados em sacos de papel devidamente identificados (área, parcela) e secos em estufas, a 65 °C até peso constante, para posterior determinação do peso seco.

2.4. Variáveis Avaliadas

2.4.1. Atributos Químicos do Solo

As amostras de solo foram submetidas a análises químicas para determinação dos seguintes atributos de fertilidade: pH em CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹; cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e alumínio (Al) trocáveis, expressos em mmol_c dm⁻³; Acidez potencial (H+Al), também expressa em mmol_c dm⁻³; fósforo disponível (P), expresso em mg dm⁻³ e carbono orgânico do solo (COS), para posterior determinação da matéria orgânica do solo (SOM), por meio do cálculo SOM = COS * 1,724, sendo expressa em g kg⁻¹.

Todas essas variáveis foram analisadas com base na metodologia descrita em Embrapa (2017). Adicionalmente, com base em alguns atributos analisados em laboratório, foram calculadas as seguintes variáveis de fertilidade: capacidade potencial de troca catiônica (CEC_{pH7}) e capacidade efetiva de troca catiônica (CEC_{ef}), expressas em mmol_c dm⁻³, calculada por meio da soma dos cátions básicos (Ca, Mg, K) com a potencial de acidez (H+Al); saturação por bases (V%), expressa pela razão entre a soma dos cátions básicos e CEC_{pH7}; e saturação de alumínio (m%), determinada pela razão entre a soma dos cátions básicos e a soma dos cátions básicos com Al, ambos expressos em porcentagem.

2.4.2. Atributos Físicos do Solo

Para a determinação da Densidade do Solo (SD), foi utilizado o Método de Beaker, adaptado da metodologia proposta pela Embrapa (2017), que utiliza a determinação do peso do solo conformado necessário para completar o volume de uma proveta de 50 mL. Para esta avaliação, as amostras deformadas foram utilizadas em becker. Com os dados de pesagem obtidos das amostras de solo contidas no béquer, foi utilizada a Equação 1 abaixo:

$$SD = \frac{SM}{BV} \quad (01)$$

em que: SD = Densidade do Solo (g cm⁻³); SM=Massa da Amostra; VP =Volume do balão (50cm³).

Para a determinação da Densidade de Partícula (DP), foi utilizado o método do Balão Volumétrico (EMBRAPA, 2017). Tal método consiste em determinar o volume de álcool necessário para completar a capacidade do balão, contendo solo seco (105 °C) em estufa. 20 g de solo foram pesados e colocados em um recipiente de alumínio de peso conhecido. O solo foi seco em estufa (105 °C) por um período de 12 horas. Em seguida, a amostra de solo foi transferida para um balão volumétrico de 50 mL, para posterior adição de 25 ml de álcool etílico 70° INPM, agitando-o com movimentos circulares concêntricos para eliminar bolhas de ar (Figura 10). Após 30 minutos, foi adicionado mais álcool etílico até atingir a marca de aferição do balão.

Com base nos dados do volume gasto de álcool e da massa seca do solo utilizado no balão, calculou-se a densidade de partículas (Equação 2):

$$PD = \frac{sm}{(Vb-Va)} \quad (02)$$

em que: PD: Soil particle density (g cm⁻³); sm: Mass of the sample sifted at 105 °C (g); Vb: Total volume measured in the volumetric flask (cm³); Va: Volume of alcohol necessary to gauge the flask (cm³).

2.4.3. Qualidade Física da Liteira

A massa fresca total (MFT) para cada amostra de liteira foi obtida pesando-se as amostras em balança semi-analítica, com capacidade de 0,01 g. Em seguida, as amostras foram fracionadas e pesadas para obter a proporção entre cada fração de liteira: peso de folha fresca (FF), peso de galho fresco (GF), massa fresca de material reprodutivo (MRF), massa fresca de raiz (RF), palha fresca peso (PF), peso fresco de miscelânea (MF).

Além disso, também foi determinado o Coeficiente de Retenção Hídrica (WRC), de acordo com a metodologia exposta por Blow (1955). Para tanto, as amostras fracionadas foram acomodadas em bandejas e submersas em água por 90 minutos. Em seguida, as bandejas foram inclinadas a 30° para drenar o excesso de água, por um período de 30 minutos. As amostras saturadas foram então pesadas para obter o Peso Saturado (PS).

Posteriormente, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de esterilização, 65 °C até peso constante. Em seguida, as amostras foram pesadas para obtenção do peso seco (LitterDM). Com os dados de massa úmida e massa seca, a retenção de água foi obtida pela Equação 3 abaixo:

$$WRC = \frac{WW-LitterD}{LitterDM} \quad (03)$$

em que: WRM: Water retention capacity; WM: Litter wet mass (Mg ha⁻¹); LitterDM: Litter dry mass (Mg ha⁻¹).

2.5. Análise de Dados

Todas as variáveis estudadas foram submetidas à análise de normalidade pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e de homocedasticidade pelo teste de Bartlett, ambos com 5% de significância. Para dados não normais e/ou heterocedásticos, os mesmos foram transformados pela equação ajustada de Box-Cox. Para os dados de liteira, as três áreas foram comparadas entre si por meio de análise de variância pelo Teste F e pela análise de comparação de médias por meio do teste de Tukey, a 5% de significância, considerando um delineamento amostral casualizado, com 10 parcelas alocadas em cada uma das três áreas.

Para os atributos físicos e químicos do solo, foi considerado um delineamento amostral em parcela subdividida, considerando a área em estudo como fator primário e a profundidade do solo como fator secundário. O objetivo deste procedimento foi verificar o efeito da profundidade do solo sobre o comportamento das variáveis do solo avaliadas, uma vez que as camadas formadas a partir da reconformação do terreno podem apresentar comportamentos peculiares em relação às variáveis edáficas, considerando que as mesmas não correspondem a horizontes pedogenéticos.

Assim como os dados de serapilheira, os dados de solo foram submetidos à análise de variância pelo Teste F e análise de comparação de médias pelo teste de Tukey, ao nível de significância de 5%. Entretanto, para o teste de Tukey, considerou-se a comparação das médias dos fatores primários (área de estudo) e secundários (profundidade do solo) de forma isolada, bem como a comparação da interação entre os dois fatores.

Além disso, foi realizada análise de componentes principais (ACP) para verificar a influência das variáveis nas parcelas das três áreas em estudo (p<0,05). As variáveis m%,

CECpH7, WRC, SOM, P, V%, LitterDM, pH e DP foram selecionadas para formar os novos eixos (componentes), com seus respectivos autovalores e porcentagens de variância. Os dois primeiros eixos formados serviram para criar um gráfico com a disposição vetorial da variável e a distribuição espacial das parcelas das três áreas estudadas. Uma PCA foi realizada para cada profundidade do solo.

3. RESULTADOS

3.1 Atributos Físicos e Químicos do Solo

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise de variância para os fatores área e profundidade do solo e para a interação entre esses dois fatores. Para o fator Área, observou-se significância para nove das 16 variáveis de solo avaliadas, entre elas, pH, P, H+Al, CECpH7 e V. Para o fator profundidade, também foi encontrada significância para nove variáveis. No entanto, apenas pH, Al, CECef e SOM mostraram significância para a interação entre profundidade e área. A Tabela 2 apresenta os resultados da comparação das médias da interação entre áreas e profundidades (0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m). Variações foram observadas para pH, Al, CECef e SOM. Em geral, houve maiores valores de CECef e Al para DA18, enquanto FLO apresentou valores significativamente maiores de MOS em relação às outras duas áreas, com DA48 apresentando valores inferiores a DA18 na profundidade de 0,1-0,2 m.

O solo sob FOR apresenta pH mais ácido que os solos das áreas mineradas, com $3,76 \pm 0,03$ e $3,77 \pm 0,02$ para as respectivas profundidades. No entanto, as áreas DA18 e DA48 não apresentaram diferença significativa entre si. O DA18 não apresentou diferença estatística para suas

profundidades em relação ao Al. O teor de SOM em FOR na profundidade de 0,0-0,1m, ($17,40 \pm 1,26$ g kg⁻¹) foi estatisticamente superior em relação as outras duas áreas devido à grande deposição de matéria orgânica na camada superior do solo nesta área. O DA18 não apresentou diferença estatística entre suas duas profundidades. A DA48 apresentou menor teor de SOM do que as duas áreas na profundidade de 0,1-0,2 m, fato que pode ser explicado pela maior heterogeneidade da cobertura vegetal no solo dessa área, em relação à DA18. Isso pode ser um indício de que o solo degradado não é capaz de sustentar a vegetação por regeneração por um período de tempo excessivamente longo, denotando a necessidade de intervenção com recuperação precoce.

A Tabela 3 apresenta a comparação das médias para o fator área de forma isolada. Diferenças significativas foram encontradas para K, H+Al, CECpH7, P, SD, V e TP nas respectivas áreas. Observou-se que FOR apresentou maior teor de K do que em outras áreas, enquanto DA48 apresentou o menor valor médio de K entre todas as áreas. Quanto ao teor de P, o DA48 diferiu estatisticamente das demais áreas. Para os valores de V e TP, DA18 apresentou resultados semelhantes para a área FOR, que diferem estatisticamente da área DA48.

A Tabela 4 apresenta a análise de comparação de médias para a profundidade do solo em 0,0 - 0,1 e 0,1 - 0,2 m. Houve diferenças estatísticas para todas as variáveis, com maiores valores na profundidade 0,0 - 0,1 m para o K, V e SD, enquanto que na profundidade de 0,1 - 0,2 m, PT e DP foram estatisticamente superiores para esta última profundidade.

Tabela 1. Resumo da Análise de Variância, com valores de Teste F (5%) para atributos físicos e químicos do solo, para os fatores Área, Profundidade do Solo (Prof.) e Interação.

Table 1. Summary of analysis of variance for soil chemical and physical attributes for factors Area, Soil Depth and Interaction.

Fonte de Variação	pH	P	Ca	Mg	K	Al	H+Al	CEC _{ef}	CEC _{pH7}	SOM	DP	SD	TP	m	V%
	CaCl ₂	mg dm ⁻³	-----mmolc dm ⁻³ -----				-----		-----		g kg ⁻¹	g cm ⁻³	-----%-----		
Área	24,79*	0,58*	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	16,5*	6456 ^{ns}	15,68*	70840,01 ^{ns}	16,37*	0,01*	1,2 ^{ns}	79,5*	5275,9*	1,25 ^{ns}	3,59*
Prof.	0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	14,4*	91540*	0,56 ^{ns}	585916,0*	0,36 ^{ns}	0,01*	5,9*	8,7*	1420,8*	18,60*	0,93*
Interação	0,28*	0,07 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,1 ^{ns}	24048*	1,08 ^{ns}	242174,0*	1,25 ^{ns}	0,01*	0,0 ^{ns}	0,5 ^{ns}	35,7 ^{ns}	2,27 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Média	4,00	1,64	2,17	1,05	0,25	6,19	29,70	9,66	33,17	10,21	2,46	1,19	51,61	62,05	11,09

ns: Não significativo a 5% pelo Teste F; * Significativo a 5% pelo Teste F.

Tabela 1. Análise de comparação de médias para a interação entre os fatores Área e Profundidade do Solo.

Table 2. Analysis of means comparison for interaction between the factors Area and Soil Depth.

Área	Prof. m	pH	Al	CEC _{ef}	SOM	
		CaCl ₂	-----mmolc dm ⁻³ -----	-----		g kg ⁻¹
FOR	0,0 - 0,1	3,76 ± 0,03 Ba	4,56 ± 0,80 Bb	8,14 ± 0,80 Bb		17,40 ± 1,26 Aa
	0,1 - 0,2	3,77 ± 0,02 Ba	7,44 ± 0,30 Aa	10,73 ± 0,31 Aa		12,22 ± 0,70 Ab
DA18	0,0 - 0,1	4,10 ± 0,02 Aa	6,70 ± 0,52 Aa	10,40 ± 0,54 Aa		8,22 ± 0,57 Ba
	0,1 - 0,2	4,11 ± 0,02 Aa	6,88 ± 0,18 Aa	10,18 ± 0,22 Aa		8,75 ± 0,55 Ba
DA48	0,0 - 0,1	4,16 ± 0,02 Aa	4,30 ± 0,67 Bb	7,80 ± 0,66 Bb		7,67 ± 0,39 Ba
	0,1 - 0,2	4,10 ± 0,02 Ab	7,25 ± 0,32 Aa	10,68 ± 0,44 Aa		7,00 ± 0,45 Ca

Letras maiúsculas indicam diferença significativa entre as medias das áreas (FOR, DA18 e DA48), na mesma profundidade, pelo Teste de Tukey (P<0,05); Letras minúsculas indicam diferenças significativas entre as profundidades (0,0-0,1 e 0,1-0,2 m) sob a mesma área, pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 3. Análise de comparação de médias para o fator Área.

Table 4. Analysis of means comparison for the Factor Area.

Área	K	H+Al	CECpH7	P	SD	V%	TP
	-----mmolc dm ⁻³ -----			mg dm ⁻³	g cm ⁻³	-----%-----	
FOR	0,34 ± 0,02 a	34,15 ± 2,46 a	37,59 ± 2,46 a	1,42 ± 0,11 b	1,27 ± 0,02 a	9,88 ± 0,64 b	48,13 ± 0,83 b
DA18	0,25 ± 0,02 b	31,41 ± 1,46 a	34,91 ± 1,50 a	1,50 ± 0,15 b	1,23 ± 0,01 a	10,30 ± 0,48 b	50,28 ± 0,49 b
DA48	0,16 ± 0,02b	23,56 ± 0,97 b	27,02 ± 0,95 b	2,01 ± 0,13 a	1,06 ± 0,01 b	13,08 ± 0,68 a	56,43 ± 0,44 a

Letras diferentes indicam diferença significiativa entre as medias pelo Teste de Tukey (P<0,05).

Tabela 5. Análise de comparação de médias para o fator Profundidade do Solo (Prof.).

Table 6. Analysis of means comparison for the Factor Area for Soil Depth Factor.

Prof.	K	m%	V%	TP	DP	SD
m	mmolc dm ⁻³	-----%-----			-----g cm ⁻³ -----	
0,0 - 0,1	0,30 ± 0,02 a	55,90 ± 2,57 b	11,60 ± 0,56 a	50,32 ± 0,79 b	2,43 ± 0,01 b	1,21 ± 0,02 a
0,1 - 0,2	0,21 ± 0,02 b	68,21 ± 0,59 a	10,57 ± 0,54 b	52,91 ± 0,78 a	2,48 ± 0,01 a	1,17 ± 0,02 b

Letras diferentes indicam diferença significiativa entre as médias pelo Teste de Tukey (P<0,05).

3.2. Qualidade Física da Liteira

A análise de variância para as variáveis de liteira apresentou significância para todas as variáveis. A RF apresentou valores baixos na média geral equivalente a 0,22 Mg ha⁻¹. A WRC apresentou média de 1,90 Mg ha⁻¹ para todas as áreas, enquanto a MS foi de 5,23 Mg ha⁻¹, reduzindo quase a metade de sua massa fresca total (Tabela 5). FOR apresentou maiores índices de MFT, MFF, GF, MRF, MF, WW e LitterDM em comparação com DA18 e DA48,

que não diferiram estatisticamente para essas variáveis (Tabela 6).

No entanto, para PF, DA18 apresentou valores significativamente maiores em relação a FOR e DA48, que provavelmente não diferiram entre si, devido à maior presença de espécies de gramíneas em DA18. A DA18 também apresentou um coeficiente de retenção de água (CRA) superior em relação às outras duas áreas.

Tabela 7. Resumo da análise de variância (valores de Teste F) para a qualidade física da liteira.

Table 8. Summary of analysis of variance for litter physical attributes.

Fonte de Variação	MFT	FF	GF	MRF	RF	PF	MF	WW	LitterDM	WRC
	-----Mg ha ⁻¹ -----									
Área	67,94*	11,70*	30,45*	5,65*	3848,50*	18,95*	73,20*	124,95*	35,17*	0,04*
Média Geral	8,71	2,10	1,43	0,26	0,22	0,87	3,83	14,83	5,23	1,90

ns: Não significativo a 5% pelo Teste F; * Significativo a 5% pelo Teste F.

Tabela 9. Análise de comparação de médias para a qualidade física da liteira.

Table 10. Analysis of means comparison for litter physical attributes.

Área	MFT	FF	GF	MRF	RF
	-----Mg ha ⁻¹ -----				
FOR	19,57±1,82a	3,86±0,62a	3,72±0,77a	0,75±0,40a	0,67±0,29a
DA18	3,36±0,37b	0,73±0,16b	0,11±0,06b	0,00±0,00b	0,00±0,00b
DA48	3,20±0,98b	1,70±0,40b	0,45±0,18b	0,04±0,04b	0,01±0,00b
	PF	MF	WW	LitterDM	WRC
	-----Mg ha ⁻¹ -----				
FOR	0,21±0,13b	10,35±0,83a	28,71±2,47a	10,39±0,79a	1,76±0,13 b
DA18	2,14±0,43a	0,38±0,25b	9,51±0,90b	2,73±0,30b	2,68±0,42 a
DA48	0,25±0,06b	0,75±0,58b	6,27±1,63b	2,57±0,65b	1,25±0,16 b

3.3 Análise de Componentes Principais

As Tabelas 7 e 8 apresentam os dados dos autovalores para os componentes formados a partir das variáveis selecionadas de atributos do solo e da liteira, bem como sua porcentagem de variância. Para a profundidade de 0,0-0,1 m, os dois primeiros componentes (que foram utilizados para a PCA do presente estudo) acumularam 63,64% da variância dos dados. Portanto, os dois primeiros componentes apresentam um nível de explicação da variação dos dados considerados satisfatórios, segundo Prado et al. (2016), que consideram aceitável uma variância acumulada mínima de 60%. A profundidade de 0,1-0,2 m, no entanto, apresentou uma variância acumulada de 59,504%, ficando um pouco abaixo do valor considerado aceitável.

No gráfico equivalente ao arranjo espacial das variáveis com os dois componentes principais formados, é possível observar que os dados de CECpH7, SOM e LitterDM foram mais responsivos ao FOR. pH e V%, por sua vez, apresentaram maior relação com as parcelas de DA48. Como esperado, a retenção hídrica da serapilheira (WRC) apresentou, em geral, maior responsividade às parcelas de DA18, corroborando os maiores valores desta variável para a área degradada mais jovem, na análise de comparação de médias. A saturação de alumínio (m%) e a densidade de

partículas (PD) também foram mais responsivas ao DA18, em ambas as profundidades (Figura 2).

Tabela 11. Dados de autovalores e de porcentagem de contribuição da variância para os componentes principais formadas para os atributos do solo e da liteira, à profundidade de 0,0-0,1 m.

Table 12. Eigenvalues data and percentage of contribution of variance for principal components formed from soil fertility and litter physical data, at depth 0.0-0.1 m.

Componentes	Autovalor	Variância (%)	Total Variância Acumulada (%)
1	3,5680	39,64	39,64
2	2,1599	23,99	63,64
3	1,1778	13,08	76,73
4	0,8237	9,15	85,88
5	0,5970	6,63	92,51
6	0,3168	3,52	96,03
7	0,1516	1,68	97,71
8	0,1234	1,37	99,08
9	0,0822	0,91	100,00

No entanto, na profundidade de 0,0-0,1 m, o P está mais próximo das parcelas DA48, enquanto na profundidade de 0,1-0,2 m, esse nutriente apresentou responsividade às parcelas nas duas áreas degradadas, provavelmente devido à

maior similaridade do substrato. degradado que ambos apresentam um ao outro em maiores profundidades. A área DA18, diferente da FOR, obteve maior representatividade entre o WRC e o DP, além de também se destacar junto com o DA48 nos componentes m%, V% e pH. Isto ocorre pois o m% representa a porcentagem de cargas negativas do solo que é ocupada pelo Al trocável, próximo ao pH natural do solo, e expressa a toxicidade do alumínio.

Tabela 13. Dados de autovalores e de porcentagem de contribuição da variância para os componentes principais formadas para os atributos do solo e da liteira, à profundidade de 0,1-0,2 m.

Table 14. Eigenvalues data and percentage of contribution of variance for principal components formed from soil fertility and litter physical data, at depth 0.0-0.2 m.

Componentes	Autovalor	Variância Total (%)	Variância Acumulada (%)
1	3,3379	37,08	37,08
2	2,0174	22,41	59,50
3	1,0900	12,10	71,61
4	0,9490	10,54	82,15
5	0,7780	8,64	90,79
6	0,4331	4,81	95,61
7	0,2400	2,66	98,27
8	0,0987	1,09	99,36
9	0,0568	0,36	100,00

4. DISCUSSÃO

4.1 Atributos Físicos e Químicos do Solo

A quantidade de P disponível em relação à profundidade e a interação área x profundidade não foi significativa para o

teste F. Sabe-se que a fração orgânica do P é a principal responsável pela disponibilidade e ciclagem desse nutriente. Assim, é importante que haja a conservação da biomassa, para que ocorra a disponibilidade natural desse e de outros nutrientes no solo (BUEIS et al., 2019; BUTA et al., 2019). Isto tem relação direta com a maior produção de liteira, em especial, a maior produção da fração folha (FF) encontrada nestas áreas.

Este fato indica a importância da matéria orgânica presente em maior quantidade na superfície do solo para fornecer nutrientes, visto que os solos tropicais possuem um material mineral bastante pobre em nutrientes e com baixa CEC (MABAGALA; MNG'ONG'O, 2022). Esse comportamento é observado mesmo em solos reconstituídos após a mineração, que não são oriundos de processos pedogenéticos, como os solos naturais (Nadalia & Pulunggono, 2020). Tais resultados corroboram com os resultados encontrados para a biomassa de liteira destas áreas, sobretudo para a massa seca total (LitterDM).

Zhang et al. (2016) avaliaram os efeitos da exploração mineral e dos processos de reconformação do solo após a mineração, comparando a regeneração natural da vegetação com a implantação de vegetação artificial para acelerar o processo de regeneração. Os autores observaram que a regeneração natural em áreas mineradas não é suficiente para melhorar a qualidade e cobertura do solo, sendo a intervenção antrópica fundamental para garantir a recuperação da área, corroborando os resultados observados pelo presente estudo.

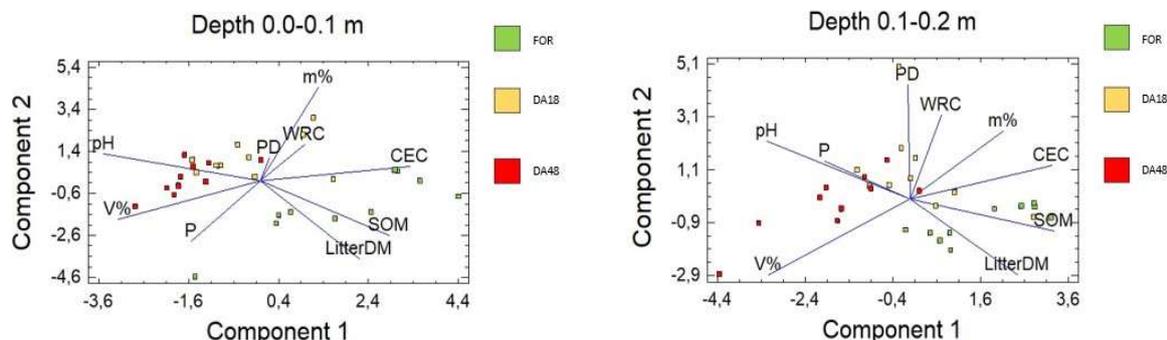


Figura 2. Análise de componentes principais, às profundidades de 0,0-0,1 m e 0,1-0,2 m (m%, CEC_{pH7}, WRC, SOM, P, V%, LitterDM, pH e PD) nas áreas: FOR, DA18 e AE38.

Figure 4. Principal components analysis, at depths of 0.0-0.1 m and 0.1-0.2 m (m%, CEC_{pH7}, WRC, SOM, P, V%, LitterDM, pH and PD) in the areas: FOR, DA18 and AE38.

4.2. Qualidade Física da Liteira

A grande quantidade de liteira encontrada em FOR provavelmente se deve à fração de folhas caídas no período seco, sendo tal fração responsável por mais da metade do peso seco total, como também exposto por Villa et al. (2016). A maior contribuição da fração de folhas na serapilheira, bem como a maior biomassa de liteira encontrada em FOR possuem um impacto direto nos maiores teores de SOM, encontrados para esta área, sobretudo nas camadas superficiais do solo. O material reprodutivo (MRF) foi significativamente maior na floresta, mostrando sua importância como banco de sementes para repovoar áreas degradadas. Enquanto isso, o DA18 teve MRF igual a 0 e o DA48 área próxima a 0. Isso é preocupante e denota a ideia

de que mesmo com a vegetação crescendo nas áreas, um enriquecimento de espécies é importante devido ao banco de sementes ser provavelmente mais pobre em áreas degradadas pós-mineração (ALBA, 2018).

A grande quantidade de PF no DA18, provavelmente, se deve ao fato desta área ainda ser dominada por espécies herbáceas pioneiras que não são mais encontradas na área degradada mais antiga (DA48), nem em FOR. A WRC na área mais nova pode ter relação com o maior teor de palha. É possível que as propriedades da palha proporcionem maior retenção de água. O maior WRC na área mais nova também pode ser um indicativo de que é melhor aproveitar a área degradada no início da regeneração da vegetação para restauração e não no final dela (SHRESTHA et al., 2011).

A liteira depositada nesses ambientes perturbados, juntamente com a abertura de rachaduras pelas raízes no solo, produz o chamado efeito “esponja”, absorvendo água e liberando-a durante a estação seca. É importante ressaltar que esse “efeito esponja” da liteira potencializa a infiltração de água no solo, em detrimento do escoamento superficial, auxiliando na melhoria da estrutura do solo e evitando problemas como erosão e impermeabilização superficial (RODRIGUES et al., 2010; ROCHA et al., 2018).

Martins et al. (2018) realizaram um estudo comparando a deposição e produção de liteira em áreas degradadas após mineração de bauxita na Amazônia Oriental, submetidas a técnicas de restauração por meio de regeneração natural e plantio de espécies florestais. Estes autores constataram que a indução da regeneração natural revelou-se mais eficiente na produção de liteira, o que evidencia a ideia de aproveitamento da regeneração da vegetação, apesar da necessidade de conhecer o momento correto de intervenção na área a recuperar.

4.3. Análise de Componentes Principais

Quanto mais ácido o solo, maior o teor de alumínio trocável, maior o percentual de saturação de Al, menores os teores de Ca, Mg e K, conseqüentemente, menor a soma das bases trocáveis. Apesar de ter maior influência sobre outras variáveis além daquelas encontradas para FOR, DA18 está mais próximo da floresta em termos de relação entre as variáveis, em comparação com DA48, provavelmente devido a uma maior homogeneidade de cobertura vegetal encontrada na área de mineração mais recente, o que é comum em ecossistemas sob processo inicial de sucessão florestal (LIMA et al., 2020).

Em relação ao FOR, o solo é mais ácido, o que era esperado, pois os solos amazônicos são naturalmente ácidos devido ao processo de degradação da matéria orgânica e rápida mineralização. Os resultados da CEC demonstram que valores ainda maiores foram obtidos no FOR principalmente na primeira camada do solo, onde ocorreram maiores valores de SOM e acidez potencial (H+Al), tanto na camada mais superficial quanto na mais profunda (0,1-0,2m). As melhorias nas características físicas do solo causadas pelo aumento da SOM, principalmente aquelas relacionadas à infiltração de água, são favoráveis para facilitar o processo de recuperação. Esse aumento nos teores de SOM ajuda a melhorar a estrutura do solo, aumentando a retenção de água, favorecendo o alcance das raízes no perfil do solo e reduzindo a erosão (ROCHA et al., 2016; OLIVEIRA et al., 2020).

A disponibilidade de nutrientes avaliada através de análises químicas de solos permite algumas correlações entre as fases minerais propensas a alterações e a disponibilidade de nutrientes. Em geral, os resultados revelam que os solos das áreas DA18 e DA48 apresentam alta acidez e baixos valores de fertilidade, como também verificado por Ramos et al. (2018). Esses autores avaliaram a correlação entre o estoque de carbono com atributos químicos e físicos de um solo sob 10 anos de pousio. Eles observaram uma alta correlação positiva entre o estoque de carbono no solo e atributos de fertilidade como CEC e uma alta correlação negativa com a densidade do solo, destacando a importância da matéria orgânica no solo para melhorar a qualidade dos solos em pousio.

Rocha et al. (2021) desenvolveram um estudo no mesmo local de exploração de seixo, em uma área próxima às duas áreas lavradas em estudo, comparando o efeito do uso de espécies leguminosas e condições do solo na recuperação dessa área. Ao avaliar a relação entre as variáveis do solo por meio de componentes principais, os autores também observaram alta correlação entre os teores de matéria orgânica no solo e destacaram a importância da biomassa vegetal sobre o solo para garantir o sucesso na recuperação da área.

Desta forma, os resultados obtidos confirmam a hipótese estabelecida pelo presente estudo quanto à necessidade da intervenção humana em áreas degradadas pela mineração de seixo, visando sua recuperação, sobretudo nos primeiros anos de pousio. Os resultados de liteira mostram que não há grandes diferenças quanto à produção de biomassa e cobertura do solo para ambas as áreas mineradas, o que tem reflexos diretos em alguns dos atributos físicos e químicos do solo avaliados. Para outros atributos, há uma maior proximidade da área mais jovem (DA18) com a área de floresta.

Tal constatação é corroborada por estudos como o de Brasil Neto et al. (2021). Estes autores avaliaram a dinâmica da regeneração natural (sem intervenção) 2 e 7 anos após exploração mineral de bauxita. Os mesmos constataram que, apesar da regeneração natural ter contribuído com a melhoria de algumas características do solo, a mesma não foi capaz de sustentar a vegetação regenerante por um período mais longo, resultando na necessidade de intervenções com plantio ou semeadura para impulsionar a recuperação dessas áreas.

Chambi-Legoas et al. (2021), ao avaliar a regeneração natural da vegetação em áreas degradadas pela mineração de ouro na Amazônia Peruana, também constataram a ineficiência a médio e longo prazo (acima de 19 anos) do simples pousio como método de indução da regeneração natural, apesar do potencial da regeneração para a produção de biomassa e cobertura do solo. Os autores recomendam a intervenção com práticas mais efetivas de restauração, utilizando a regeneração natural como uma ferramenta importante neste processo.

Sabe-se que a utilização do simples pousio para condução da regeneração natural, como método de recuperação de áreas degradadas, tem sido uma prática comum em sítios de mineração de seixo e areia, situados na Mesorregião Nordeste do estado do Pará. Portanto, estes estudos ajudam a confirmar o que foi estabelecido pela hipótese da presente pesquisa, reforçando a necessidade de se buscar por ações mais efetivas de restauração. Tal necessidade, além de ajudar a alavancar a recuperação destas áreas degradadas, pode ajudar ainda a impulsionar a mão-de-obra local para a recuperação destes sítios de mineração, impulsionando também a economia local e regional. É importante destacar, no entanto, o potencial que a regeneração natural possui caso seja utilizada em conjunto com técnicas ativas de restauração, como plantio de mudas, por exemplo, como também foi constatado pelos estudos citados acima.

5. CONCLUSÕES

As áreas com exploração de seixo e areia são capazes de se regenerar naturalmente apenas por um determinado período, necessitando então de intervenção humana para garantir a recuperação da sua resiliência, o que valida a

hipótese estabelecida pelo presente estudo quanto à ineficiência. De modo geral, a área DA18 obteve maior proximidade com a floresta em comparação à área DA48, para a maioria das variáveis avaliadas. Isso pode ser um indicativo de que é mais adequado utilizar o pousio observado na área DA18, isto é, intervenção em até 18 meses após o término das atividades de exploração mineral, utilizando sua regeneração existente para auxiliar na recuperação.

É importante, portanto, que a intervenção humana não demore muito, pois com o passar do tempo essa evolução da regeneração da vegetação e recuperação do solo atinge um estágio de estagnação. Acredita-se que esses resultados poderão servir uma ferramenta importante para subsidiar a adoção de práticas mais ativas e efetivas de recomposição da vegetação nestes ecossistemas degradados, visando substituir a utilização do simples pousio como método de restauração (prática que tem sido bastante comum na região em que o estudo foi desenvolvido). Mais estudos são recomendados observando outros tempos de regeneração em uma área degradada.

6. REFERÊNCIAS

- ALBA, J. M. **Recuperação de áreas mineradas**. 3ª. Ed. Brasília-DF: Embrapa, 2018. 456 p.
- BLOW, F. E. Quantity and hydrologic characteristics of litter under upland oak forests in Eastern Tennessee. **Journal of Forestry**, v. 53, p. 190-195, 1955. <https://doi.org/10.1093/jof/53.3.190>
- BORUVKA, L.; KOSAK, J.; MÜHLHANSELOVÁ, M.; DONÁTOVÁ, H.; NIKODEM, A.; NEMECEK, K.; DRÁBEK, O. Effect of covering with natural “topsoil” as a reclamation measure on brown-coal mining dumpsites. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 113, p. 118-123, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.11.004>
- BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. **Restauração Florestal**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2015. 431p.
- BRASIL NETO, A. B.; SCHWARTZ, G.; NORONHA, N. C.; GAMA, M. A. P.; FERREIRA, G. C. Natural regeneration for restoration of degraded areas after bauxite mining: A case study in the Eastern Amazon. **Ecological Engineering**, v. 171, p. 1-9, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106392>
- BUEIS, T.; BRAVO, F.; PANDO, V.; KISSI, Y.; TURRION, M. Phosphorus availability in relation to soil properties and forest productivity in Pinus sylvestris L. plantations. **Annals of Forest Science**, v. 76, n. 97, p. 1-13, 2019. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0882-3>
- BUTA, M.; BLAGA, G.; PAULETTE, L.; PACURAR, I.; ROSCA, S.; BORSAL, O.; GRECU, F.; SINZIANA, P. E.; NEGRUSIER, C. Soil Reclamation of Abandoned Mine Lands by Revegetation in Northwestern Part of Transylvania: A 40-Year Retrospective Study. **Sustainability**, v. 11, n. 3393, 1-18, 2019. [10.3390/su11123393](https://doi.org/10.3390/su11123393)
- CHAMBI-LEGOAS, R.; RODRIGUEZ, D. R. O.; FIGUEIREDO, F. M.; VALDEIGLESIAS, J. P.; POLLITO, P. A. Z.; MARCELO-PENÑA, J. L.; ROTHER, D. C. Natural Regeneration After Gold Mining in the Peruvian Amazon: Implications for Restoration of Tropical Forests. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, p. 1-10, 2021. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.594627>
- EMBRAPA_Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília, DF: Embrapa Solos, 2017. 577p.
- MARCHINI, D. C.; LING, T. C.; ALVES, M. C.; CRESTANA, S.; SOUTO FILHO, S. N.; ARRUDA, O. G. Matéria orgânica, infiltração e imagens tomográficas de Latossolo em recuperação sob diferentes tipos de manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 6, p. 574-580, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n6p574-580>
- NADALIA, D.; PULUNGGONO, H. B. Soil characteristics of post-mining reclamation land and natural soil without top soil. **Journal of Degraded and Mining Lands Management**, v. 7, n. 2, p. 2011-2016, 2020. [10.15243/jdmlm.2020.072.2011](https://doi.org/10.15243/jdmlm.2020.072.2011)
- LEI, K.; PAN, H.; LIN, C. A landscape approach towards ecological restoration and sustainable development of mining áreas. **Ecological Engineering**, v. 90, p. 320-325, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.080>
- LIMA, M. T.; TONELLO, K. C.; LEITE, E. C.; FRANCO, F. S.; CORRÊA, C. J. P. Dinâmica da recuperação ambiental de pilhas de estéril em mineração de calcário por regeneração natural. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 11-19, 2020. [10.1590/S1413-41522020180571](https://doi.org/10.1590/S1413-41522020180571)
- MABAGALA, F. S.; MNG'ONG'O, M. E. On the tropical soils; The influence of organic matter (OM) on phosphate bioavailability. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 29, p. 3635-3641, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.02.056>
- MARTINS, W. B. R.; FERREIRA, G. C.; SOUZA, F. P.; DIONISIO, L. F.; OLIVEIRA, F. A. Deposição de serapilheira e nutrientes em áreas de mineração submetidas a métodos de restauração florestal em Paragominas, Pará. **Floresta**, v. 48, n. 1, p. 37-48, 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/rtf.v48i1.49288>
- MATEUS, F. A.; MIRANDA, C. C.; VALCARCEL, R.; FIGUEIREDO, P. H. A. Estoque e capacidade de retenção hídrica da serrapilheira acumulada na restauração florestal de áreas perturbadas na Mata Atlântica. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 3, p. 336-343, 2013. <https://doi.org/10.4322/foram.2013.024>
- PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. **Caracterização Climática do Município de Capitão Poço-PA**. Belém, PA: Documentos Embrapa, 2001. 20p.
- PRADO, B. Q. D. M.; FERNANDES, H. R.; ARAÚJO, T. G.; LAIA, G. A.; BIASE, N. G. Avaliação de variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia (MG) por meio da análise de componentes principais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 407-413, 2016. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522016147040>
- OLIVEIRA, F. C. C.; FERREIRA, G. W. D.; SOUZA, J. L. S.; VEIRA, M. E. O.; PEDROTTI, A. Soil physical properties and soil organic carbon content in northeast Brazil: long-term tillage systems effects. **Scientia Agrícola**, v. 77, n. 4, p. 1-6, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0166>

- RAMOS, F. T.; DORES, E. F. G.; WEBER, O. L. S.; BEBER, D. C.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; MAIA, J. C. S. Soil organic matter doubles the cation exchange capacity of tropical soil under no-till farming in Brazil. **Science of Food and Agriculture**, v. 98, p. 3595-3602, 2018. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8881>.
- ROCHA, J. E. C.; BRASIL NETO, A. B.; NORONHA, N. C.; GAMA, M. A. P.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, A. R.; SANTOS, C. R. C. Organic matter and physical-hydric quality of an oxisol under eucalypt planting and abandoned pasture. **Cerne**, v. 22, n. 4, p. 381-388, 2016. [10.1590/01047760201622042224](https://doi.org/10.1590/01047760201622042224)
- ROCHA, R. S., MONTEIRO, V. F., ABREU, L. C. P. C., FERNANDES, A. P. D., & SANTOS, C. R. C. Effects of the planting of legume species and soil conditions on the recovery of a sand and pebble mining area. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 4, p. 1695-1705, 2021. <https://doi.org/10.1002/ldr.3805>
- SHRESTHA, R.; LAL, R. Changes in physical and chemical properties of soil after surface mining and reclamation. **Geoderma**, v. 161, p. 168-176, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.015>
- SILVA, E. F.; BENTO, D. F.; MENDES, A. C.; MOTA, F. G.; MOTA, L. C. S.; FONSECA, A. I. T.; ALMEIDA, R. A.; SANTOS, L. O. Environmental impacts of sand mining in the city of Santarém, Amazon region, Northern Brazil. **Environment, Development and Sustainability**, v. 22, p. 47-60, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0183-2>
- VILLA, E. B.; PEREIRA, M. G.; ALONSO, J. M.; BEUTLER, S. J.; LELES, P. S. S. Aporte de Serapilheira e Nutrientes em Área de Restauração Florestal com Diferentes Espaçamentos de Plantio. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 1, p. 90-99, 2016. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.067513>
- XIE, L.; WU, W.; HUANG, X.; OU, P.; LIN, Z.; WANG, Z.; SONG, Y.; LANG, T.; HUANGFU, W.; ZHANG, Y.; ZHOU, X.; FU, X.; LI, J.; JIANG, J.; ZHANG, M.; ZHANG, Z.; QIN, Y.; PENG, S.; SHAO, C.; BAI, Y. Mining and Restoration Monitoring of Rare Earth Element (REE) Exploitation by New Remote Sensing Indicators in Southern Jiangxi, China. **Remote Sensing**, v. 12, n. 3558, p. 1-19, 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12213558>.
- ZHANG, P.; CUI, Y.; ZHANG, Y.; JIA, J.; WANG, X.; ZHANG, X. Changes in Soil Physical and Chemical Properties following Surface Mining and Reclamation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 161, n. 3-4, p. 168-176, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.12.015>

Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Federal Rural da Amazônia, *Campus* de Capitão Poço, em especial o Curso de Engenharia Florestal, pelo apoio ao desenvolvimento do trabalho. Agradecemos também à Empresa Seixeira e Transportes Aurora Ltda., por ceder a área objeto do presente estudo e por todo o apoio logístico dispensado.

Contribuições dos Autores:

C.S.P. e J.B.C. – conceituação, coleta de dados, metodologia, redação (esboço original); A.N.C.C., J.T.N.R. e L. C. P. C. A. - coleta de dados, metodologia, redação (revisão e edição); G.D.P.A. – conceituação, metodologia, análise estatística, validação, supervisão; C.R.C.S. – conceituação, metodologia, análise estatística, validação, redação (revisão e edição), supervisão; H.C.G.P. – conceituação, metodologia, validação, redação (revisão e edição), supervisão.

Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamentos:

Pesquisa sem financiamentos externos (desenvolvimento com recursos próprios).

Revisão Institucional:

Não aplicável.

Comitê de Ética da área:

Não aplicável (Non-applicable).

Disponibilização de dados:

Os dados desse estudo podem ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente ou ao primeiro(a) autor(a), via e-mail. Não está disponível em sites, pois o projeto de pesquisa ainda está em desenvolvimento.

Conflitos de Interesse:

Os autores declaram que não existem conflitos de interesses. As entidades/instituições de apoio não tiveram nenhum papel na concepção do estudo, na coleta, análise ou interpretação de dados, na redação do manuscrito, ou na decisão de publicar os resultados.