

## Artigos

# Análise da morfométrica de agregados do solo em áreas mineradas em diferentes estágios de recuperação na Amazônia

Morphometric analysis of soil aggregates in mined areas at different stages of recovery in the Amazon

Marcela Merides Carvalho<sup>I</sup> , Felipe Hashimoto Fengler<sup>II</sup> ,  
Afonso Peche Filho<sup>III</sup> , Regina Marcia Longo<sup>IV</sup> , Admilson Irio Ribeiro<sup>I</sup> 

<sup>I</sup>Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba, SP, Brasil

<sup>II</sup>Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, SP, Brasil

<sup>III</sup>Instituto Agronômico de Campinas, Jundiaí, SP, Brasil

<sup>IV</sup>Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, SP, Brasil

## RESUMO

A mineração exerce forte influência sobre a economia brasileira, no entanto, a atividade extrativista resulta em múltiplos danos ao ecossistema, pois a vegetação e a camada superficial do solo são removidas, alterando as características pedológicas naturais. Portanto, programas de recuperação de áreas degradadas tornam-se essenciais para mitigar ou compensar os impactos negativos ao meio ambiente. Dessa forma, o entendimento dos indicadores de qualidade do solo tem sido trabalhado para avaliar o processo de recuperação de áreas degradadas. Assim, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e testar uma nova abordagem para qualificar a agregação do solo em recuperação e ecossistemas de referências na Amazônia brasileira (RO). Para isso, determinou-se o diâmetro médio geométrico (DMG), e os parâmetros morfométricos: área, circularidade, arredondamento e diâmetro de Feret dos agregados do solo. Os parâmetros foram avaliados em cinco tamanhos de agregados diferentes, 6,0 mm, 4,0 mm, 2,0 mm, 1,0 mm e 0,71  $\mu$ m, em seguida foi realizada análise de variância multivariada (MANOVA), comparando as variáveis morfométricas e tamanhos dos agregados de cada área de estudo. Os resultados obtidos mostram uma correlação positiva entre os valores da área, circularidade e diâmetro de Feret dos agregados do solo, indicando melhorias na estrutura do solo e na vegetação. Dessa forma, os parâmetros propostos demonstraram alta capacidade de descrever a qualidade do solo e diferenciar os níveis de recuperação, apresentando-se como um excelente indicador no monitoramento de áreas degradadas.

**Palavras-chave:** Mineração; Restauração Ecológica; Indicadores ambientais; Qualidade do solo

## ABSTRACT

---

Mining has a strong influence on the Brazilian economy, however, extractive activity results in multiple damages to the ecosystem, as vegetation and the surface layer of the soil are removed, altering the natural pedological characteristics. Therefore, programs for the recovery of degraded areas become essential to mitigate or compensate for negative impacts on the environment. In this way, the understanding of soil quality indicators has been worked on to evaluate the process of recovery of degraded areas. Thus, the objective of this work was to develop and test a new approach to qualify the recovery of soil aggregation and reference ecosystems in the Brazilian Amazon (RO). For this, the geometric mean diameter (DMG) and the morphometric parameters: area, circularity, roundness and Feret diameter of the soil aggregates were determined. The parameters were evaluated in five different aggregate sizes, 6.0 mm, 4.0 mm, 2.0 mm, 1.0 mm and 0.71  $\mu\text{m}$ , then multivariate analysis of variance (MANOVA) was performed, comparing the morphometric variables and aggregate sizes from each study area. The results obtained show a positive correlation between the values of area, circularity and Feret diameter of soil aggregates, indicating improvements in soil structure and vegetation. In this way, the proposed parameters demonstrated a high capacity to describe the soil quality and differentiate the recovery levels, presenting itself as an excellent indicator in the monitoring of degraded areas.

**Keywords:** Mining; Ecological Restoration; Environmental Indicators; Soil Quality

## 1 INTRODUÇÃO

A mineração necessita da remoção da vegetação e da camada superficial do solo para acesso aos recursos minerais de interesse. Há o processamento do minério e deposição de rejeitos na superfície. Esses processos alteram as propriedades físicas, químicas e biológicas, com diferentes intensidades. Conseqüentemente, as áreas degradadas podem compor um mosaico de ambientes alterados, dificultando o reestabelecimento dos processos ecossistêmicos preexistentes, pelas alterações ambientais promovidas (FENGLER *et al.*, 2021). Os programas de recuperação de áreas degradadas representam um componente essencial no desenvolvimento do setor de mineração no Brasil, buscando mitigar os impactos negativos e compensar os danos ambientais causados, para recomposição da capacidade produtiva das terras que foram degradadas, seja pela restauração florestal, quando possível, ou a recomposição da capacidade produtiva do local com outro uso (LEINFELDER, *et al.*, 2015; MMA, 2015; LEI *et al.*, 2016).

Pesquisas realizadas em ambientes minerados na Amazônia brasileira têm mostrado que solos severamente alterados carecem de avaliação de diversos indicadores ambientais relacionados à conservação e longos períodos de monitoramento de sua qualidade, comparando-o com o solo em seu estado natural, por representarem condições ecológicas de equilíbrio ambiental (LONGO *et al.*, 2011; RIBEIRO *et al.*, 2016; YADA *et al.*, 2016; FENGLER *et al.*, 2017). Algumas iniciativas têm buscado avançar no monitoramento do processo de recuperação ambiental dos solos minerados, porém um aspecto crucial ainda é pouco explorado, o processo de agregação do solo (MUKHOPADHYAY *et al.*, 2014, 2016; FENGLER *et al.*, 2021).

De acordo com Faustino (2018), diversos parâmetros podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo. Normalmente esses indicadores estão associados com práticas de gestão, produtividade ou tentativa de definições de padrões de qualidade. Estudos têm demonstrado um relacionamento intrínseco entre parâmetros físicos: textura do solo, densidade, capacidade de retenção de água; com parâmetros físico-químicos, relacionados à fertilidade do solo: Capacidade de Troca de Cátions, Saturação por Bases, P, Ca, K, Mg, Na, S; e biológicos: fração orgânica, atividade enzimática e microbiana (MUKHOPADHYAY *et al.*, 2016; YADA *et al.*, 2015).

Para atingir um estágio de recuperação das funções ecológicas, é necessário que a multifuncionalidade do solo seja reestabelecida (WANG *et al.*, 2018; KUMAR *et al.*, 2018). O efeito das ações antrópicas no processo de recuperação do solo geralmente tem efeitos limitados de curto prazo, considerando o reestabelecimento das funções ecológicas. Limitado às propriedades inerentes, como textura, mineralogia e propriedades químicas. Portanto, são necessários indicadores de qualidade do solo que possam representar os atributos inerentes (estáticos) e gerenciáveis (dinâmicos) da multifuncionalidade do solo (BUNEMANN *et al.*, 2018).

Nesse sentido, o estudo do processo de agregação do solo pode representar um avanço nesse campo de estudo, pois pode permitir a identificação de processos genéticos no solo degradado, com verificação da evolução pela retomada da atividade biológica e interação de processos físicos, químicos e biológicos, que permitem construir conhecimentos qualitativos sobre a estrutura do solo e esta, quando perdida, é difícil de recuperar. A agregação do solo influencia cinco elementos fundamentais nas camadas do solo: aeração, armazenamento de água, permeabilidade, resistência à erosão e suporte para a biodiversidade (LOSS *et al.*, 2011; CARDUCCI *et al.*, 2016; RABOT *et al.*, 2018; FAUSTINO, 2018). No entanto, em sistemas de uso agressivos, com intensa perturbação do solo, há a tendência de fragmentar os agregados, afetando sua capacidade de dar suporte ao desenvolvimento vegetal. Atualmente, há possibilidade do uso da análise de imagens para a detecção de alterações na morfologia dos agregados do solo, ferramenta promissora considerando o aspecto gerencial do processo de recuperação de áreas degradadas, pela necessidade de monitoramento em prazos relativamente longos e necessidade de verificação de parâmetros diversos (OLSZEWSKI *et al.*, 2004, PECHE FILHO, 2018; FENGLER *et al.*, 2021; CARVALHO, 2021).

Indicadores morfométricos são parâmetros de avaliação da qualidade do solo, utilizados como ferramentas importantes para comunicação de informações sobre as características físicas do solo, possibilitando adequar o manejo e uso do solo, visando à sustentabilidade ecológica (OLSZEWSKI *et al.*, 2004, PECHE FILHO, 2018). Dessa forma, a utilização de indicadores morfométricos, geralmente utilizados para análise pedológica de grãos, como subsídio à caracterização da estrutura do solo em escala micro, através da análise da forma das partículas, dimensão absoluta ou relativa, como componente da qualidade do solo, pode expandir a compreensão do funcionamento ecossistêmico na recuperação ambiental. O estudo de morfometria dos agregados

tem demonstrado capacidade de traduzir a complexidade das condições ambientais, devido à sensibilidade às mudanças ambientais, podendo auxiliar na avaliação, identificação de ações prioritárias e antecipação de tendências futuras ao longo do desenvolvimento de locais minerados submetidos à restauração ecológica (CARVALHO *et al.*, 2019, 2020). Segundo Peche Filho (2018), ainda há um campo pouco explorado no que diz respeito à identificação de novos indicadores para a avaliação da qualidade física do solo, principalmente no caso de solos que compõem os diferentes biomas brasileiros, necessitando de estudos sobre o uso de atributos físicos como forma de medir a sustentabilidade de solos degradados.

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de utilização das variáveis morfométricas dos agregados dos solos como indicadores da recuperação de áreas degradadas na Amazônia brasileira.

## **2 MATERIAL E MÉTODO**

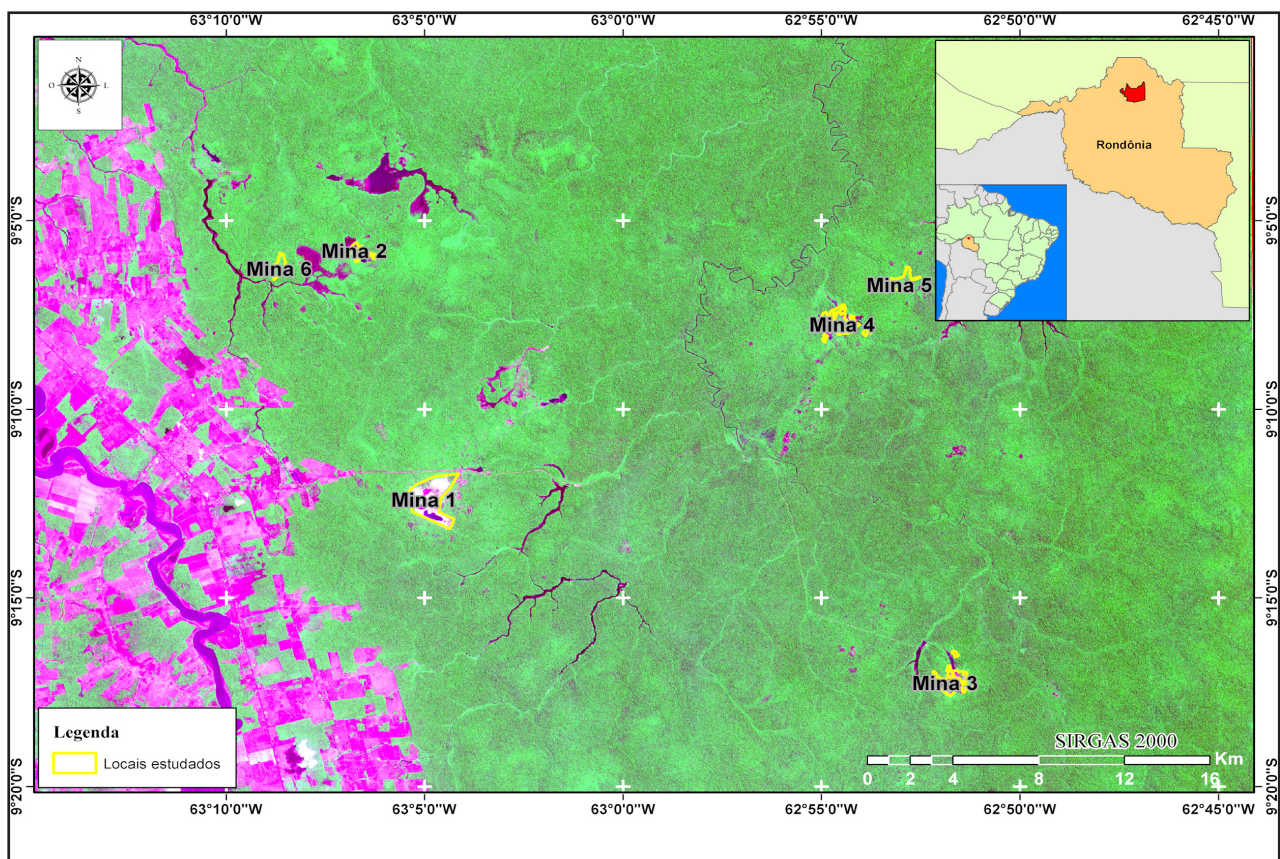
### **2.1 Caracterização do local de estudo**

A área experimental está localizada na Floresta Nacional do Jamari, administrada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Minerais Renováveis (IBAMA), localizada a 90 km da cidade de Porto Velho - RO, pela Br-36 (Figura 1). Apresenta uma área de aproximadamente 225.000 ha, dos quais 90% são cobertos por Floresta Tropical, onde são encontradas espécies de alto valor comercial para exploração de madeira e reservas minerais (IBAMA, 2005; LONGO *et al.*, 2011).

Os solos são predominantemente da classe textura de Latossolo Vermelho-Amarelo distroférico e Latossolo Vermelho-Amarelo distroférico (IBAMA, 2005) cobertos por floresta aberta com pequenas manchas de floresta tropical, caracterizada por uma alta riqueza de indivíduos arbóreos espaçados e uma vida selvagem diversa,

incluindo várias espécies ameaçadas de extinção (MMA/IBAMA, 2015; FENGLER *et al.*, 2017). O clima da região é tropical chuvoso, quente e úmido, com temperatura média de 24° C, precipitação pluvial anual de 2550 mm e umidade relativa do ar variando em torno de 80 a 85% (RIBEIRO *et al.*, 2016).

Figura 1 - Localização da área em estudo



Fonte: INPE (2015); Fengler (2018)

Em que: CBERS 4 cena 175 / 110 (2015). Composição de falsa cor: banda vermelha no canal R, banda do infravermelho próximo no canal G e faixa verde no canal B.

O experimento foi realizado em uma área de mineração em processo de recuperação, e os dados foram coletados entre 2011 e 2015 pelo grupo de pesquisa de Recuperação de Terras. Diferentes tipos de manejo foram desenvolvidos na área experimental ao longo do processo de recuperação, caracterizando seis áreas distintas e duas florestas consideradas ecossistemas de referência (Tabela 1).

Tabela 1 – Informações dos locais estudados

Mina	Área (ha)	Descrição
1	340.98	Em processo de desativação, sem ações implementadas.
2	13.02	10 anos de plantio.
3	122.52	12 anos de plantio.
4	109.19	14 anos de plantio.
5	58.68	20 anos de plantio.
6	54.68	25 anos de plantio.
Floresta Secundária	Quatro parcelas de 50m x 50m	Área que teve a remoção da vegetação para passagem de maquinário há 50 anos, com regeneração natural da vegetação.
Floresta Primária	Quatro parcelas de 50m x 50m	Floresta natural com mais de 100 anos.

Fonte: Autores (2021)

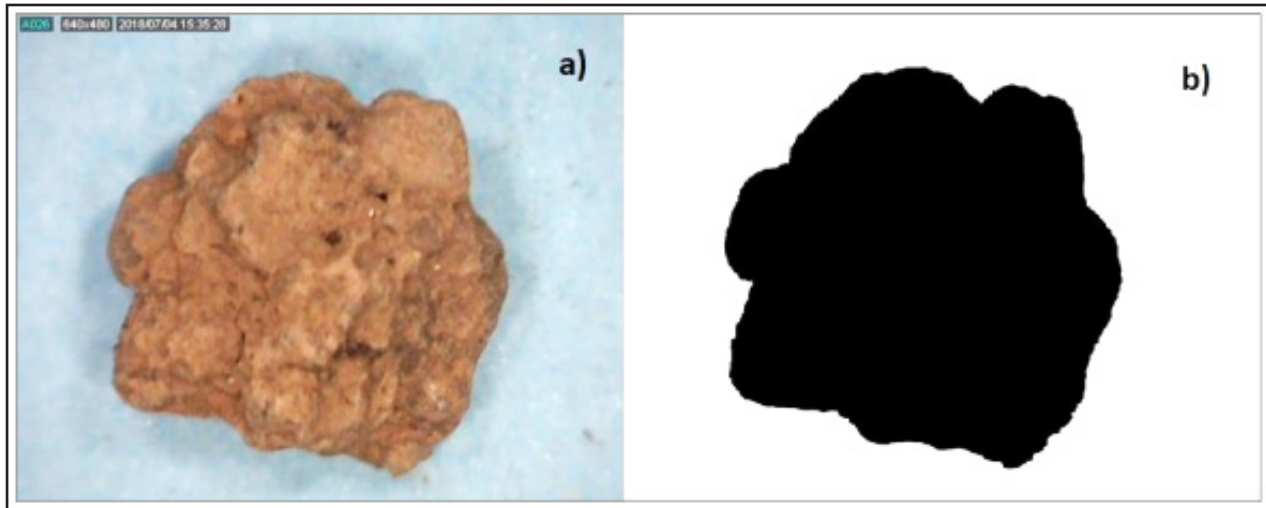
## 2.2 Morfometria de aglomerado

As coletas de solo foram realizadas seguindo o procedimento de amostragem, em três parcelas de 10 m x 10 m. Em cada parcela, foram coletadas cinco amostras a uma profundidade de 0 - 10 cm para potencializar a verificação de efeitos pedogenéticos na agregação do solo, durante o processo de recuperação ambiental, relacionados à influência biológica nesta camada do solo. Após a coleta, as amostras foram destinadas para análise, onde permaneceram por 15 dias em temperatura ambiente (30 a 35 ° C) para secagem a céu aberto, em seguida, aproximadamente 200 g de solo foi peneirada em um conjunto de 5 peneiras, a primeira com abertura de 6,0 mm, 4,0 mm, 2,0 mm, 1,0 mm e o 0,71 µm.

O material retido nas peneiras foi pesado para adquirir os dados referentes ao diâmetro médio geométrico (DMG) de cada área de estudo, em seguida foram selecionados aleatoriamente 100 agregados de cada peneira para serem fotografados em microscópio digital (Dino Lite modelo AM-211), processado no programa Image J® para análise morfométrica de agregados de solo. Conforme a Figura 2, as imagens foram convertidas para preto e branco eliminando o ruído, para determinar os parâmetros

morfométricos agregados: área, circularidade, arredondamento e diâmetro de Feret dos agregados do solo (EMBRAPA, 2017; PECHE FILHO, 2018).

Figura 2 – Imagem do agregado original (a) e imagem processada no Image J® (b)



Fonte: Autores (2021)

### 2.3 Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise estatística descritiva, foram determinadas as medidas de tendência central (média) e de variabilidade (desvio padrão) e de dispersão relativa (coeficiente de variação). Para a verificação das diferenças entre os tratamentos, nesse caso, a condição de agregação das diferentes áreas em estágio de recuperação tendo a floresta natural como área de referência, foi realizada análise de variância multivariada (MANOVA), comparando as médias amostrais das variáveis morfométricas, tomando o Teste Tukey na comparação das médias (5% de probabilidade).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Diâmetro Médio Geométrico dos agregados do solo (DMG)

Os valores médios determinados de DMG para áreas mineradas (Tabela 2) mostraram que a área experimental, denominada mina 1 (nível zero), apresentou



menor média de DMG (1.14 mm). Os maiores valores médio de DMG ocorreram na floresta primária (3.38 mm), e a floresta secundária apresentou valor médio de DMG de 3.2 mm, consubstancializado num valor intermediário entre os locais em recuperação e a floresta primária.

A formação de agregados do solo representa um processo pedogenético importante, que depende do acúmulo e ciclagem de matéria orgânica para a formação de agregados estáveis. A matéria orgânica representa uma das principais fontes de agentes cimentastes no processo de agregação do solo (CAMPOS *et al.*, 1999), porém se a matéria orgânica não se encontra propriamente estabilizada é rapidamente degradada e mineralizada pelos microrganismos do solo, não contribuindo significativamente para promoção da agregação do solo e da estrutura do solo (MORENO-BARRIGA *et al.*, 2017). A estabilidade dos agregados do solo normalmente é associada com o estoque de carbono orgânico do solo, que por sua vez pode ser associado com as propriedades físicas, químicas e biológicas, representando um componente crítico dos processos ecológicos e das funcionais do solo (HICKMANN *et al.*, 2012). O carbono orgânico é responsável pela cimentação das partículas minerais, promovendo a formação de agregados, porém esse fenômeno não depende apenas da presença da matéria orgânica no solo. Com sua presença há o aumento das comunidades microbianas, que por sua vez atacam o estoque estável e lábil da matéria orgânica, favorecendo o encostamento das partículas minerais e estabilizando a estrutura do solo (ŠIMANSKÝ; BAJČAN; DUCSAY, 2013).

Na verificação do processo de gênese da agregação, pela adição de matéria orgânica ao solo através de esterco, resíduos vegetais e NPK, durante 27 anos, (LIN *et al.*, 2019) verificou-se que o aumento do tamanho dos agregados relaciona-se com a comunidade procariótica e fúngica do solo, aumentando *Rhizobiales* e diminuindo *Eurotiales*. *Solibacterales* e *Mortierellales* apresentaram particularmente abundantes em pequenos microagregados devido às preferências de substrato. O tamanho dos agregados do solo foi relacionado com a variação no teor da matéria

orgânica acumulada, sendo maior nos macroagregados do que nos microagregados. A ocorrência dos microagregados foi relacionada com condições de habitat menos favoráveis, com maior competição entre as comunidades microbianas e presença de matéria orgânica mais recalcitrante e menos lábil.

De maneira geral, as áreas em processo de recuperação apresentam valores de agregação próximos aos valores da floresta secundária (ZALAMENA *et al.*, 2008; LIU *et al.*, 2020). No entanto, esses valores podem variar dependendo das características individuais do solo, os valores de DMG nas áreas em recuperação em nível intermediário e avançado (mina 2, 3, 4, 5 e 6) são valores intermediários entre a mina 1 e ecossistema de referência floresta primária e secundária, com pequena variação entre 2.10 e 2.56 mm, demonstrando que as áreas que foram degradadas e tiveram diferentes tipos de intervenções com planos de gestão de recuperação, mesmo não possuindo resposta homogênea, possuem resposta satisfatória para esse parâmetro (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores médios determinados de DMG (mm) para todas as áreas mineradas

DMG	Mina 1	Mina 2	Mina 3	Mina 4	Mina 5	Mina 6	Capoeira	Mata
Amostra 1	1.11	1.99	2.25	2.52	2.12	2.17	2.47	3.28
Amostra 2	1.20	2.68	2.50	2.48	2.08	2.34	3.93	3.39
Amostra 3	1.16	2.82	2.37	2.50	2.10	2.25	3.20	3.45
Amostra 4	1.10	2.79	2.45	2.56	2.09	2.78	3.19	3.41
Média	1.14	2.56	2.39	2.52	2.10	2.38	3.20	3.38
Desvio Padrão	0.05	0.70	0.11	0.03	0.02	0.27	0.60	0.07
Coefficiente de Variação %	3.94	24.86	4.60	1.29	0.79	11.48	18.69	2.15

Fonte: Autores (2021)

De acordo com Barros *et al.* (2018), altos valores de DMG representam um solo com boa agregação e conseqüentemente elevada estabilidade estrutural. Enquanto, baixos valores de DMG podem estar relacionados com a alta compactação do solo, dificultando a infiltração de água no perfil pela redução da porosidade (LOSS *et al.*, 2015).

Estudo realizado na mesma área apresentou resultados de vegetação que corroboram com o presente trabalho, pois dentro do período estudado, todas as áreas mineradas em processo de recuperação apresentaram aumento significativo nas variáveis fitossociológicas: densidade de regeneração natural, altura média, cobertura basal e riqueza média (Fengler *et al.*, 2017) (Tabela 3).

Tabela 3 – Dados de vegetação das áreas mineradas (%) de 2015-2019

<b>DMG</b>	<b>Mina 1</b>	<b>Mina 2</b>	<b>Mina 3</b>	<b>Mina 4</b>	<b>Mina 5</b>	<b>Mina 6</b>
Altura média	-	42.0	23.1	16.1	21.2	15.1
Área basal	-	26.7	70.0	22.1	6.5	77.5
Riqueza média	-	17.9	20.0	16.5	17.5	29.7
Densidade de regeneração Natural	-	49.8	55.0	48.5	42.5	44.5

Fonte: Autores (2021)

Segundo Loss *et al.*, (2015), os valores de DMG, nos tratamentos com plantas de cobertura e mesmo com a vegetação espontânea em relação à área de mata, indicam que a vegetação é eficiente para melhorar e aumentar a agregação do solo em área manejada. Pois, o crescimento radicular atuando conjuntamente com os efeitos físico, químico e biológico estimula a atividade microbiana, cujos subprodutos atuam na formação e estabilização dos agregados, aumentando o índice DMG do solo (LOSS *et al.*, 2015; CARVALHO, 2021).

A vegetação proporciona adequada cobertura vegetal do solo, o que impede a ação direta das gotas de chuva sobre o solo e mantém mais uniforme a umidade e temperatura do solo, além de aumentar a matéria orgânica (PANACHUKI *et al.*, 2011); por consequência, propicia condições ideais para a atividade biológica que atuará direta e indiretamente na formação dos macroagregados. Sendo assim, a atividade biológica e matéria orgânica influenciam positivamente na agregação do solo, proporcionando maior estabilidade estrutural refletindo no aumento da taxa de DMG. Desse modo, o uso desse parâmetro mostra a importância do DMG como indicador de qualidade do solo no estudo da agregação nas áreas em recuperação resultando em modificações significativas no solo.

### 3.2 Área do agregado (A)

Os valores médios da área do agregado são crescentes à medida que se aproximam do ecossistema de referência, considerada área natural. No entanto, os resultados na peneira 0.71 mm são mais consistentes, apresentando coeficiente de variação significativo ( $CV < 25\%$ ). Dessa maneira, acredita-se que nessa análise os agregados de menor diâmetro foram favorecidos pelo fato de representar agregados com menor manipulação no preparo, diminuindo alterações que permitissem a fragmentação e quebra dos agregados (Tabela 4). As demais peneiras apresentaram pequenas variações no coeficiente de variação e média de dispersão dentro da normalidade por se tratar de amostras de solos heterogêneos e com tipos de manejos diferenciados entre si, apontando maior variabilidade (CARVALHO, 2021).

Tabela 4 – Valores médios determinados para a área dos agregados ( $\text{mm}^2$ ) nas peneiras com 5 diâmetros de aberturas diferentes

Peneira	Área	Mina 1	Mina 2	Mina 3	Mina 4	Mina 5	Mina 6	Capoeira	Mata
0.71	Média	387.74	388.88	428.90	445.22	46245	410.17	405.89	491.13
	Desvio padrão	7.02	8.92	8.63	8.43	8.77	9.37	9.64	9.72
	Coeficiente de Variação	19	25	25	20	22	23	23	21
1.0	Média	111.92	129.26	152.64	162.18	142.48	136.06	145.68	125.13
	Desvio padrão	3.70	3.91	3.63	4.48	4.11	3.58	5.29	3.16
	Coeficiente de Variação	30	30	24	28	29	26	39	30
2.0	Média	127.53	164.52	148.41	187.79	175.26	187.38	150.00	179.29
	Desvio padrão	5.13	5.97	5.24	7.95	6.80	6.26	6.09	5.21
	Coeficiente de Variação	41	36	39	41	38	36	41	33
4.0	Média	177.78	237.92	288.86	364.19	289.50	247.07	331.55	201.89
	Desvio padrão	7.89	8.31	9.62	8.12	7.57	5.89	7.43	7.26
	Coeficiente de Variação	41	34	34	30	24	24	35	18
6.0	Média	333.01	367.63	340.16	217.25	204.64	379.22	382.45	360.73
	Desvio padrão	9.41	9.16	6.01	9.41	7.26	7.84	8.46	5.21
	Coeficiente de Variação	36	25	45	42	27	45	49	44

Fonte: Autores (2021)

Em que: A média calculada corresponde a 100 agregados, analisados através do software Image J®.

Em todas as minas, a área dos agregados retidos na peneira de 0,71 mm de malha foi maior em comparação com as outras peneiras. Cremon *et al.* (2011), trabalhando com análise morfométrica de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso, relataram que as diferenças de área dos agregados se devem ao aporte de material vegetal ao solo. Agregados maiores são geralmente indicativos de boa qualidade, uma vez que eles possuem uma distribuição de tamanho de poros que melhoram a relação ar-água e favorecem o melhor desenvolvimento do sistema radicular das plantas (CREMON *et al.*, 2011; CARDUCCI *et al.*, 2016).

Em áreas degradadas ou em recuperação, o ideal é que se busque manejar o solo com o objetivo de obter agregados de maior diâmetro, pois uma condição estrutural adequada influencia os regimes de água, ar e calor do solo (FAUSTINO, 2018). Neste estudo as áreas recuperadas forneceram valores iguais ou às vezes até superiores aos da capoeira em todas as classes de tamanho, revelando o efeito positivo do processo de recuperação na formação de agregados do solo minerado.

### **3.3 Arredondamento do agregado (Ar)**

O arredondamento dos agregados encontra-se entre 0.70 e 0.80, próximos da esfericidade absoluta. Os valores de desvio padrão e coeficiente de variação mostraram baixa dispersão em torno da média, com pequenos intervalos dentro da distribuição normal, conforme a Tabela 5. De acordo com Peche Filho (2018), o coeficiente de variação permite perceber a condição de agregação em função da tendência de forma, pois valores superiores a 25% podem indicar que a amostra apresenta uma agregação instável.

Tendência semelhante foi observada por Faustino (2018) em estudo sobre

morfometria do agregado de solo sob diferentes coberturas vegetais no Rio de Janeiro, os valores apresentados foram entre 0.51 e 0.70, sendo que os maiores valores ocorreram na peneira com malha de maior diâmetro.

Tabela 5 – Valores médios determinados de arredondamento (mm) dos agregados

Arredondamento		Mina 1	Mina 2	Mina 3	Mina 4	Mina 5	Mina 6	Capoeira	Mata
0.71	Média	0.71	0.75	0.72	0.72	0.71	0.73	0.73	0.75
	Desvio padrão	0.10	0.10	0.12	0.12	0.14	0.13	0.12	0.11
	Coefficiente de Variação	13	14	17	16	19	19	16	15
1.0	Média	0.76	0.74	0.72	0.72	0.70	0.73	0.74	0.75
	Desvio padrão	0.12	0.11	0.13	0.13	0.12	0.11	0.12	0.12
	Coefficiente de Variação	16	15	18	18	17	15	16	15
2.0	Média	0.78	0.74	0.76	0.77	0.75	0.74	0.75	0.76
	Desvio padrão	0.09	0.12	0.11	0.11	0.12	0.11	0.12	0.10
	Coefficiente de Variação	12	16	15	15	16	15	17	14
4.0	Média	0.79	0.80	0.78	0.78	0.75	0.76	0.77	0.77
	Desvio padrão	0.15	0.11	0.12	0.10	0.10	0.11	0.15	0.10
	Coefficiente de Variação	20	14	15	13	14	14	20	03
6.0	Média	0.78	0.73	0.72	0.75	0.74	0.75	0.73	0.75
	Desvio padrão	0.14	0.16	0.15	0.10	0.16	0.11	0.14	0.10
	Coefficiente de Variação	18	22	21	13	22	15	19	13

Fonte: Autores (2021)

Em que: A média calculada corresponde a 100 agregados, analisados através do software Image J®.

Segundo Riva (2010), o arredondamento é uma medida do grau de agudez ou curvatura dos cantos e arestas de um agregado, portanto reflete características de percolação e transporte de sedimentos para o interior do perfil do solo. Dessa forma, valores menores de arredondamento deverão ser encontrados nos agregados provenientes de tipos de manejo mais destrutivos à estrutura, pois estes tenderão a perder a rugosidade da superfície externa, diminuindo o valor do perímetro (comprimento da projeção do limite exterior do agregado) (OLSZEWSKI *et al.*, 2004; HICKAMN *et al.*, 2011).

### 3.4 Circularidade do Agregado (Cir)

A média da circularidade dos agregados encontra-se entre 0.47 e 0.70, considerados valores intermediários entre o alongamento e distante da circularidade plena. Através do valor de desvio padrão baixo, é possível constatar que os dados obtidos para cada amostra não se dispersam muito em torno da média e o coeficiente de variação baixo encontra-se dentro da faixa de normalidade (<25%), a um nível de confiança de 95%, como pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores médios determinados para circularidade (%) dos agregados

Peneira	Circularidade	Mina 1	Mina 2	Mina 3	Mina 4	Mina 5	Mina 6	Capoeira	Mata
0.71	Média	0.60	0.62	0.63	0.62	0.65	0.64	0.68	0.61
	Desvio padrão	0.1	0.06	0.09	0.09	0.10	0.11	0.08	0.11
	Coeficiente de Variação	16	10	14	14	15	17	14	18
1.0	Média	0.60	0.58	0.62	0.66	0.66	0.66	0.61	0.68
	Desvio padrão	0.07	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08
	Coeficiente de Variação	11	17	13	10	10	10	12	12
2.0	Média	0.44	0.47	0.61	0.64	0.66	0.67	0.66	0.61
	Desvio padrão	0.08	0.12	0.10	0.08	0.10	0.10	0.07	0.07
	Coeficiente de Variação	18	25	16	13	16	15	11	11
4.0	Média	0.61	0.67	0.59	0.58	0.70	0.68	0.70	0.65
	Desvio padrão	0.12	0.07	0.14	0.12	0.05	0.07	0.04	0.14
	Coeficiente de Variação	20	10	24	21	07	10	06	21
6.0	Média	0.58	0.58	0.58	0.63	0.65	0.61	0.55	0.58
	Desvio padrão	0.10	0.14	0.16	0.08	0.15	0.14	0.13	0.14
	Coeficiente de Variação	15	24	27	12	23	22	24	24

Fonte: Autores (2021)

Em que: A média calculada corresponde a 100 agregados, analisados através do software Image J®.

As maiores médias encontradas nessas áreas foram nas Minas 5 e 6, além da mata e capoeira, pois possuem solos argilosos e estão em nível avançado de recuperação. No entanto, a mina 1, nível 0 de recuperação, mostrou-se também com uma circularidade intermediária, tal condição está associada com a característica do próprio mineral, mesmo não possuindo agregação substancial (CARVALHO, 2021). O índice de circularidade dos agregados do solo permite caracterizar diferentes estratos e confirmar efeitos distintos da degradação em ambientes com níveis de degradação complexa (CARVALHO *et al.*, 2020).

Em relação à circularidade, acredita-se que o manejo com menor perturbação do solo pudesse resultar em maiores valores, em razão da menor quebra de agregados (HICKMANN *et al.*, 2012). No entanto, neste trabalho os resultados das áreas mineradas mostraram que houve pouca variação dos valores de circularidade, sendo que todas as áreas em processo de recuperação apresentaram valores superiores a 0.55, indicando que os agregados têm por sua características um formato mais alongado, tendendo à circularidade (PECHE FILHO, 2018).

### 3.5 Diâmetro de Feret (DF)

O diâmetro de Feret consiste na maior distância entre quaisquer dois pontos ao longo do limite da imagem processada, no caso o agregado do solo, os resultados foram obtidos em mm (milímetros). Para esse parâmetro, o coeficiente de variação demonstra que os dados possuem alta variabilidade nos maiores diâmetros (6.0 mm), enquanto as demais permaneceram dentro da distribuição normal se comparados à Mata e à Capoeira, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Valores médios determinados para diâmetro de Feret (mm) dos agregados

	<b>Diâmetro de Feret</b>	<b>Mina 1</b>	<b>Mina 2</b>	<b>Mina 3</b>	<b>Mina 4</b>	<b>Mina 5</b>	<b>Mina 6</b>	<b>Capoeira</b>	<b>Mata</b>
0.71	Média	2.74	2.76	3.00	3.03	3.13	2.98	2.89	2.79
	Desvio padrão	0.34	0.46	0.55	0.49	0.56	0.54	0.44	0.47
	Coeficiente de Variação	13	17	18	16	18	18	15	17
1.0	Média	4.61	5.12	5.62	5.68	5.47	5.25	5.30	4.96
	Desvio padrão	0.87	0.97	1.10	0.14	1.03	0.82	1.23	0.96
	Coeficiente de Variação	19	19	20	20	19	16	23	19
2.0	Média	4.81	6.04	5.34	5.86	5.84	6.05	5.88	5.30
	Desvio padrão	1.05	1.03	1.08	1.33	1.27	1.09	1.22	1.17
	Coeficiente de Variação	22	17	20	23	22	18	21	22
4.0	Média	5.77	6.56	7.41	7.47	8.23	6.78	6.06	7.78
	Desvio padrão	1.44	1.28	1.34	1.26	1.53	1.03	0.79	0.94
	Coeficiente de Variação	25	19	18	17	19	15	13	25
6.0	Média	7.77	8.04	8.05	6.28	6.05	8.37	8.32	8.11
	Desvio padrão	1.95	1.53	1.22	1.24	1.84	1.89	1.24	1.89
	Coeficiente de Variação	29	32	28	27	30	23	27	23

Fonte: Autores

Em que: A média calculada corresponde a 100 agregados, analisados através do software Image J®.



Segundo Peche (2018), o diâmetro de Feret é o índice que expressa a forma do agregado, assumindo que a forma de um círculo perfeito são os maiores valores. Os valores medianos representam uma diferença de 50% entre o menor ( $D_{mín}$ ) e maior ( $D_{máx}$ ) diâmetros, assumindo a forma angular; e valores próximos a 0, diferenças máximas entre os diâmetros, assumindo a forma prismática. Tais medidas foram selecionadas por permitir observar quando ocorrem deformações nos agregados do solo.

Amostraram-se quatro estágios diferentes de recuperação, sendo esses: nível 0 de recuperação, estágio intermediário, estágio avançado, capoeira em regeneração natural e florestal natural e em todas as áreas e diâmetro de peneira, os resultados tenderam à similaridade. Além disso, observa-se que 86% dos dados possuem valores médios superiores a 60, confirmando a tendência observada de assimetria com resultado convergente para um grau de arredondamento elevado da amostra. Essa distribuição permite afirmar que o processo de agregação se encontra ativo, com consistência (PECHE FILHO, 2018).

Estudos sobre morfologia de agregados de classes diferentes concluíram que, para atributos morfológicos, como: área, arredondamento, diâmetro de Feret e circularidade, dependem diretamente do teor e da qualidade dos minerais, da fração argila influenciado por outros fatores importantes na formação e definição dos agregados do solo. Esses fatores teriam relação direta com o ambiente, o manejo do solo, como textura, composição mineral, teor de Carbono Orgânico, processos pedogenéticos, atividade microbiana, influência da biota, umidade e outras (OLSZEVSKI *et al.*, 2004; HICKAMN *et al.*, 2011).

### **3.6 Análise multivariada de variância (MANOVA)**

A MANOVA avaliando as diferenças entre as variáveis morfométricas das áreas em recuperação em relação ao ecossistema de referência, considerando os tratamentos, idade, substrato e suas interações, possibilitou a diferenciação entre as variáveis empregadas.

A análise das interações entre morfometria e estágio de desenvolvimento resultou em diferenças significativas em todos os tratamentos. No entanto, as variáveis que se destacaram permitindo diferenciar com clareza e separar o ecossistema de referência dos locais mais jovens, locais intermediários e mais antigos foram Área, Circularidade, Feret, apresentando resultados expressivos na diferenciação das áreas em processo de recuperação em concordâncias com dados brutos (Tabela 8).

A mina 1 é uma área com estágio 0 de recuperação, diferenciou-se de todas as outras com valores médios bem baixos em relação ao ecossistema de referência, quase sempre valores negativos (a). As Minas intermediárias que apresentaram valores intermediários tenderam a concentrar-se nos grupos medianos (bc), concentrando-se entre o nível 0 (mina 1) e as Minas mais antigas (mina 5 e 6). As Minas mais antigas apresentaram os valores próximas do ecossistema de referência (de), assim como a mina 4 que mesmo sendo considerada intermediária assemelhou-se às mais antigas do grupo, acredita-se que o tipo de manejo realizado nas três minas influenciou positivamente no processo de recuperação dessas áreas em relação às outras (Tabela 8).

Tabela 8 – Resultado MANOVA para avaliar as diferenças entre as Minas e os valores médios das variáveis morfométricas

Indicador	MINA 1		MINA 2		MINA 3		MINA 4		MINA 5		MINA 6		Capoeira		Mata	
	0		10 anos		12 anos		15 anos		20 anos		25 anos		50		<100	
DMG	-0.11	a	0.05	b	0.06	b	0.07	b	0.15	c	0.15	c	0.15	c	0.19	d
Área	-0.11	a	0.10	b	0.16	c	0.24	d	0.25	d	0.26	de	0.27	de	0.29	e
Circularidade	-0.04	a	0.09	b	0.14	c	0.16	c	0.16	c	0.24	de	0.26	de	0.30	e
Feret	-0.13	a	0.14	b	0.20	cd	0.23	d	0.21	d	0.25	de	0.30	de	0.33	e
Arredondamento	0.01	a	0.03	ab	0.05	ab	0.07	ab	0.11	b	0.11	b	0.12	b	0.12	b

Fonte: Autores (2021)

Em que: DMG = Diâmetro médio geométrico; Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem entre si, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey, a 5%. As variáveis em negrito apresentaram diferenças significativas entre as médias de tratamento.

As minas em estágio avançado de recuperação, com idade de manejo entre 12 e 25 anos, mostraram-se em alguns aspectos semelhantes entre si, mas diferenciaram-se do nível 0 e tenderam aproximação do ecossistema de referência, sendo a área com idade de 50 anos representada pela capoeira, uma área degradada em seguida recuperada de forma natural ao longo dos anos e a Mata área natural com <100 anos sem grandes modificações ambientais e interferência antrópica. No entanto, nem sempre é possível diferenciar com exatidão os estágios de desenvolvimento da recuperação através da idade, pois outras variáveis como grau de degradação, tipo de substrato, ação de manejo e vegetação, podem influenciar no processo de recuperação.

Em relação às peneiras com diferentes diâmetros, os resultados da diferenciação morfometria dos agregados do solo mostraram que as variáveis DMG, Área, circularidade e Feret dos agregados com diâmetro de 4.0 e 6.0 mm tenderam a valores maiores em comparação com os demais (Tabela 9). A MANOVA possibilitou a diferenciação entre as peneiras com diâmetro: 0.71, 1.0 e 2.0 mm.

Tabela 9 – Resultados MANOVA para avaliar as diferenças entre as peneiras e os valores médios das variáveis morfométricas

<b>Peneira</b>	<b>0.71 mm</b>		<b>1.0 mm</b>		<b>2.0 mm</b>		<b>4.0 mm</b>		<b>6.0 mm</b>	
DMG	0.038	a	0.063	b	0.099	c	0.781	d	0.733	d
Área	0.044	a	0.074	b	0.133	c	0.894	d	0.912	d
Circularidade	0.030	a	0.082	b	0.135	c	0.873	d	0.898	d
Feret	0.040	a	0.039	b	0.141	c	0.818	d	0.890	d
Arredondamento	0.154	a	0.139	ab	-0.052	ab	-0.234	c	-0.050	ab

Fonte: Autores (2021)

Em que: DMG = Diâmetro médio geométrico. Médias seguidas da mesma letra, na linha, não diferem entre si, não são significativamente diferentes pelo teste Tukey, a 5%.

Esses dados são consistentes, uma vez que esse solo mostrou predomínio de agregados menores, que pode ter sido favorecido pelo fato de representar um

sistema que sofreu menor fragmentação (HICKMAN *et. al.*, 2011). De maneira geral, as variáveis: DMG, Área, Circularidade e Feret foram consideradas significativas ( $p < 0,05$ ), destacaram-se pela diferenciação das demais variáveis em relação às interações parâmetros morfométricos e o diâmetro dos agregados. É evidente que cada estágio de agregação é independente e que há uma hierarquia em sua formação, pela qual os agregados maiores do que 2,0 mm seriam formados por agregados menores. Os menores agregados são mais resistentes à desagregação, pois são estabilizados por óxidos de Fe e de Al, enquanto os agregados maiores são mais sensíveis às práticas de manejo e se desagregam com maior facilidade, pois são estabilizados pela matéria orgânica (CARVALHO, 2021).

Considerando que as florestas tropicais brasileiras concentram uma das maiores reservas minerais do mundo e a escassez de pesquisas relacionadas a esse assunto, a presente pesquisa busca avançar em um campo pouco explorado na comunidade científica, nacional e internacionalmente, com potencial indicador da condição ambiental para avaliar o processo de recuperação ecológica de áreas degradadas.

## **4 CONCLUSÃO**

A metodologia proposta permitiu identificar características chave para melhoria do monitoramento da restauração florestal, contribuindo para a compreensão das limitações envolvidas na recuperação de áreas degradadas pela mineração na região amazônica. Os atributos morfométricos DMG, Área, Circularidade e diâmetro de Feret permitiram a diferenciação do processo de agregação das áreas em processo de recuperação ambiental dos ecossistemas de referência e da Mina 1 (mina em processo de desativação). A Área, Circularidade e diâmetro de Feret apresentaram maior sensibilidade para estratificação da agregação do solo ao longo do processo de recuperação ambiental.

Os parâmetros utilizados expressaram as mudanças das condições do solo dos locais, com respostas positivas na diferenciação das áreas em processo de recuperação em relação ao ecossistema de referência, sendo um promissor indicador de qualidade física do solo minerado, que expressa de forma significativa alterações ambientais, auxiliando na gestão e monitoramento de áreas degradadas pela mineração no estágio de formação florestal.

Os resultados demonstraram que não foi possível diferenciar os ecossistemas de referência. Portanto, a aplicação dos parâmetros e métodos empregados limita-se a locais que sofreram grande descaracterização pedogenética, para verificação da gênese inicial do processo de agregação.

## REFERÊNCIAS

- BARROS, J.N. 2018. **Legislação Ambiental Aplicada à Mineração**. Cruz das Almas – BA: UFRB, p. 86, 2018.
- CAMPOS, B. C.; REINERT, D. J.; NICOLODI, R.; CASSOL, L. C. Dinâmica da agregação induzida pelo uso de plantas de inverno para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 383-391, Jun. 1999.
- CARDUCCI, C. E.; VITORINO, A. C. T.; SERAFIM, M. E.; SILVA, E. A. Aggregates morphometry in a Latosol (Oxisol) under different soil management systems. **Revista de Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 1, p. 33-42, Jan. 2016.
- CARVALHO, M.C.; FENGLER, F.F.; LONGO, R.M.; RIBEIRO, A.I. **Evaluation of soil quality in recovery process in the Brazilian Amazon (RO) based on fuzzy logic**. International Journal of Latest Engineering and Management Research (IJLEMR), [s.l.], v. 04, p. 96-104, Out. 2019.
- CARVALHO, M. M. **Avaliação de áreas mineradas em recuperação dentro do bioma amazônico por meio da relação entre morfometria de agregados do solo e teor de glomalina**. 2021. 108 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, UNESP, Sorocaba, 2021.
- CREMON, C.; SACCO, D.; GRIGNANI, C.; ROSA JÚNIOR, E. J.; MAPELI, N. C. Micromorfometria de agregados do solo sob diferentes sistemas de cultivo de arroz. **Revista de Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 370-377, Set. 2011.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos**, Brasília, Ed. 3, 574 p., 2017.

FAUSTINO, L.L. **Indicadores da Qualidade Física e Morfológica de um Argissolo Vermelho-Amarelo em Áreas de Pastagem Revegetadas por Leguminosas Arbóreas**. 2018. 111 f. Tese (Doutorado em Produção vegetal) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. Rio de Janeiro, 2018.

FENGLER, F.H.; BRESSANE, A.; CARVALHO, M.M.; LONGO, M. R.; MEDEIROS, G.A.; MELO, W.J.; RIBEIRO, A.I. Forest restoration assessment in Brazilian Amazonia: A new clustering-based methodology considering the reference ecosystem. **Ecological Engineering**, [s.l.], p. 93–99. Set. 2017.

FENGLER, F.H.; PECHE FILHO, A.; CARVALHO, M.M.; RIBEIRO, A.I. Análise de parâmetros morfométricos de agregados do solo: proposta para avaliação do estado de agregação. **TERRA - Vulnerabilidades e Riscos Ecológicos**, Ituiutaba, São Paulo. v. 3, p. 1068-1080, Jan. 2021.

HICKMANN, C.; COSTA, L.M.; SCHAEFER, C.E.; FERNANDES, R.B.A. Morfologia e estabilidade de agregados superficiais de um argissolo vermelho- amarelo sob diferentes manejos na mata atlântica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 2191-2198, Dez. 2012.

IBAMA - Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2005. Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari – Rondônia, MMA/IBAMA: Volume I, Diagnóstico.

LEI, H.; PENG, Z.; YANG, H.; YANG, Z. Vegetation and soil restoration in refuse dumps from open pit coal mine. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 94, p. 638-646, Nov. 2016.

LEINFELDER, R.R.; IRAMINA, W.S.; ESTON, S.M. Mining as a tool for reclamation of a Degraded. **Revista. Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 68, p. 215-220, Jun. 2015.

LIN, Y.; YE, G.; KUZYAKOV, Y.; LIU, D.; FAN, J.; DING, W. Long-term manure application increases soil organic matter and aggregation, and alters microbial community structure and keystone taxa. **Soil Biology and Biochemistry**, [s. l.], v. 134, p. 187–196, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2019.03.030>

LIU, H.; WANG, X.; LIANG, C.; AI, Z.; WU, Y.; XU, H.; XUE, S.; LIU, G. Glomalin related soil protein affects soil aggregation and recovery of soil nutrient following natural revegetation on the Loess Plateau. **Geoderma**, [s.l.], p.357, Dec. 2020.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J. Use of green fertilizing in the recovery of soils degraded by mining in the amazon forest. **Bragantia**, Campinas, v. 70, p. 139-146, Dec. 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. **Revista de Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 10, p. 1269-1276. Out. 2011.

MMA/IBAMA - Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari**, Rondônia, v. 1, 135 p., 2015.

MORENO-BARRIGA, F.; DÍAZ, V.; ACOSTA, J. A.; MUÑOZ, M. Á.; FAZ, Á.; ZORNOZA, R. Organic matter dynamics, soil aggregation and microbial biomass and activity in Technosols created with metalliferous mine residues, biochar and marble waste. **Geoderma**, [s. l.], v. 301, p. 19–29, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.04.017>

MUNKHOLM, L. J.; DEEN, B.; ZIDAR, T. Relationship between soil aggregate strength, shape and porosity for soils under different long-term management. **Geoderma**, [s.l.], v. 268, p. 52-59, Set. 2016

MUKHOPADHYAY, S.; MAITI, S. K.; MASTO, R. E. Development of mine soil quality index (MSQI) for evaluation of reclamation success: A chronosequence study. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 71, p. 10-20, Dec. 2014.

MUKHOPADHYAY, S.; MASTO, R. E.; YADAV, A.; GEORGE, J.; RAM, L. C.; SHUKLA, S. P. Soil quality index for evaluation of reclaimed coal mine spoil. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 542, p. 540-550, Nov. 2016.

OLSZEWSKI, N.; COSTA, L. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; RUIZ, H. A.; ALVARENGA, R. C. CRUZ, J. C. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.901-909, Dez. 2004.

PECHE FILHO, A. F. **Variabilidade da Agregação em Amostras de Solos Agrícolas como Indicador de Qualidade: Uma Proposta Metodológica**. 2018. 87 f. Tese (doutorado em Ciências Ambientais). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Unesp, Sorocaba, 2018.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, p. 1777-86, Out. 2011.

RABOT, E.; WIESMEIER, M.; SCHLÜTERA, S.; VOGEL, H. J. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. **Geoderma**, [s.l.], v. 314, p. 122-137, Jan. 2018.

RIBEIRO, A. I.; LONGO, R. M.; FENGLER, F. H.; MEDEIROS, G. A.; BRESSANE, A.; CROWLEY, D. E.; MELO, W. J. Use of Self-Organizing Maps in the identification of different groups of reclamation sites in the Amazon Forest – Brazil. **International Journal of Sustainable Development and Planning**. Southampton, UK, v. 11, p. 827-833, Set. 2016.

RIVA, R. D. D. **Efeitos das propriedades físicas dos grãos da fração areia de solos arenosos e de agentes de cimentação no comportamento de sistemas empacotados**. 2010. 190 f. Tese (Doutorado Engenharia), Viçosa - MG, Universidade Federal de Viçosa-UFV, Viçosa, 2010.

ŠIMANSKÝ, V.; BAJČAN, D.; DUCSAY, L. The effect of organic matter on aggregation under different soil management practices in a vineyard in an extremely humid year. **Catena**, v. 101, p. 108–113, 2013.

YADA, M. M.; MINGOTTE, F. L. C.; MELO, W. J.; MELO, G. P.; MELO, V.P.; LONGO, R.M.; RIBEIRO, A.I. Atributos químicos e bioquímicos em solos degradados por mineração de estanho e em fase de recuperação em ecossistema Amazônico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 714-724, Jun. 2015.

ZALAMENA, J. **Impacto do uso da terra nos atributos químicos e físicos de solos do rebordo do Planalto – RS**. 2008. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

## **Contribuição de Autoria**

### **1 Marcela Merides Carvalho**

Bióloga, D.ra

<https://orcid.org/0000-0002-1541-4308> • marcela.merides@hotmail.com

Contribuição: Administração do projeto, Investigação, Metodologia, Análise Formal dos dados, Escrita – primeira redação

### **2 Felipe Hashimoto Fengler**

Engenheiro Ambiental, Dr.

<https://orcid.org/0000-0002-7982-2300> • felipe.fengler@facens.br

Contribuição: Curadoria de dados, Análise Formal dos dados

### **3 Afonso Peche Filho**

Engenheiro Agrônomo, Dr.

<https://orcid.org/0000-0002-7060-5967> • afonsopeche@iac.sp.gov.br

Contribuição: Investigação, Metodologia

### **4 Regina Marcia Longo**

Engenheira Agrônoma, D.ra

<http://orcid.org/0000-0002-2374-4649> • regina.longo@puc-campinas.edu.br

Contribuição: Escrita – revisão e edição, Recursos

### **5 Admilson Irio Ribeiro**

Engenheiro Agrícola, Dr.

<https://orcid.org/0000-0003-0655-6838> • admilson.irio@unesp.br

Contribuição: Conceituação, Supervisão, Recursos

## **Como citar este artigo**

Carvalho, M. M.; Fengler, F. H.; Peche Filho, A.; Longo, R. M.; Ribeiro, A. I. Análise da morfométrica de agregados do solo em áreas mineradas em diferentes estágios de recuperação na Amazônia . *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 32, n. 4, p. 2156-2179, 2022. DOI 10.5902/1980509867351. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509867351>.