

## ANÁLISE DE CORRESPONDÊNCIA CANÔNICA ENTRE VARIÁVEIS FÍSICAS E BIOLÓGICAS DO SOLO EM ÁREAS REVEGETADAS NA FLORESTA AMAZÔNICA

**Admilson Írio Ribeiro(\*), Giovanna Frederici de Mello, Felipe Hashimoto Fengler, Regina Márcia Longo Afonso Peche Filho**

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”- ICT\_UNESP, Campus Sorocaba. Sorocaba, SP.  
admilson.irio@unesp.br

### RESUMO

Uma das maiores riquezas naturais do Brasil é o seu potencial mineral. A região amazônica é conhecida pela abundância de recursos minerais, podendo destacar o topázio, petróleo, e principalmente a cassiterita. Como consequência da mineração, o ecossistema vem sofrendo um processo constante de degradação. Um importante artifício na exploração de recursos minerais é a reabilitação e/ ou recuperação das áreas degradadas. Em se tratando da condição edáfica, a utilização de variáveis físicas dos solos, como morfometria e diâmetro médio dos agregados podem ser coletadas de maneira expedita no local. Contrapondo a essa condição, as variáveis que identificam as atividades biológicas possuem a necessidade de determinação de acondicionamento das amostras e análise laboratorial. Desse modo, esse trabalho parte da premissa básica que é possível caracterizar os diferentes estágios de recuperação de áreas de piso de lavra em minas desativadas de cassiterita, buscando avaliar as interações entre o nível das variáveis biológicas (Altura de Serrapilheira, Coeficiente Metabólico, Respiração Basal) e as variáveis físicas do solo (Diâmetro Médio Geométrico dos agregados do solo-DMG, Porosidade, Densidade Total do Solo, Teor de Umidade), por meio da análise de correlações canônicas. Foi observada correlações entre os grupos de indicadores. A partir do uso dos grupos definidos pelas correlações canônicas, foi possível identificar a resposta do conjunto das variáveis físicas e biológicas para as áreas em diferentes estágios de recuperação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Amazônia; Floresta; Recuperação, Áreas, Correspondência.

### INTRODUÇÃO

Uma das maiores riquezas naturais do Brasil consiste no seu potencial mineral. A região amazônica brasileira possui abundância de recursos destacando-se os seguintes minerais: o topázio, ouro, petróleo, e principalmente a cassiterita. Como consequência do processo de mineração, o ecossistema amazônico vem sofrendo um processo constante de degradação.

Nesse cenário, um importante artifício na exploração de recursos minerais é a reabilitação e/ ou recuperação das áreas degradadas. Entretanto, para uma melhor eficácia dos métodos de recuperação, torna-se necessário estabelecer indicadores que servirão para o diagnóstico, prognóstico e base para o tratamento local.

Em se tratando da condição edáfica, a utilização de variáveis físicas dos solos, como morfometria e diâmetro médio dos agregados podem ser coletadas de maneira expedita no local. Contrapondo a essa condição, as variáveis que identificam as atividades biológicas possuem a necessidade de determinação de acondicionamento das amostras e análise laboratorial.

Nessa inserção, nesse trabalho buscou-se identificar as correspondências entre as variáveis biológicas (altura de serrapilheira, coeficiente metabólico, respiração basal) e as variáveis físicas do solo (diâmetro médio geométrico dos agregados do solo, porosidade, densidade total do solo, teor de umidade), utilizando a análise de correlações canônicas.

As áreas de estudo foram áreas revegetadas de piso de lavra em minas desativadas dentro da Floresta Nacional do Jamari; Rondônia- Brasil. Os resultados possibilitam identificar correspondências canônicas entre os grupos de variáveis indicadoras. O entendimento dessas relações lineares pode explorar o potencial das variáveis citadas na avaliação de outras condições ecossistêmicas, além de testar sua análise combinada para fins de tipificação e avaliação do processo de recuperação ambiental de áreas degradadas pela mineração.

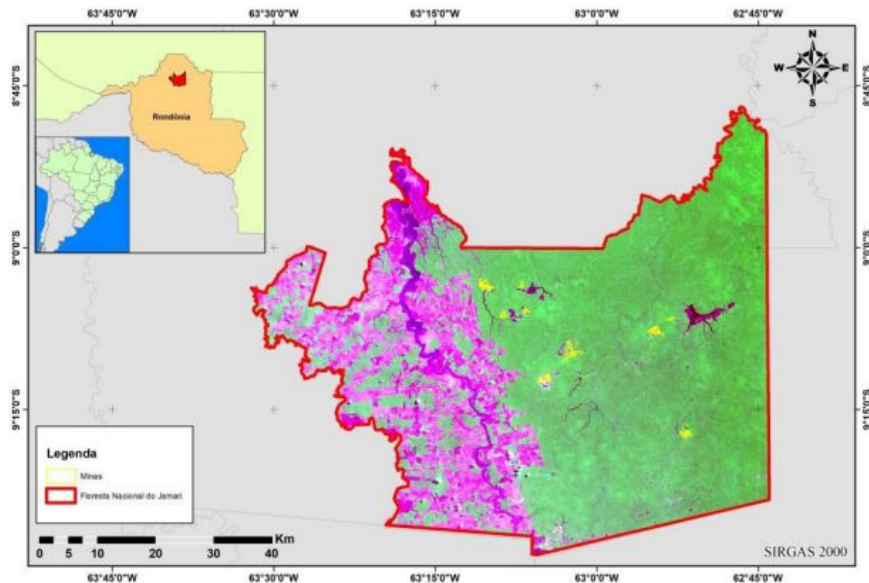
### OBJETIVO

Identificar as correspondências entre as variáveis biológicas (altura de serrapilheira, coeficiente metabólico, respiração basal) e as variáveis físicas do solo (diâmetro médio geométrico dos agregados do solo, porosidade, densidade total do solo, teor de umidade), utilizando a análise de correlações canônicas.

## METODOLOGIA

A Floresta do Jamari representa uma das regiões onde a mineração de estanho ocorreu e vêm ocorrendo. As primeiras incursões ao local se iniciaram nos anos 50, por seringueiros, garimpeiros de cassiterita e coletores de castanha do Pará, acessando o local pelo Rio Jamari. Figura 1- Localização da Floresta Nacional do Jamari.

**Figura 1- Localização da Floresta Nacional do Jamari**



Fonte: CBERS, cena de 17 de setembro de 2015 (INPE, 2015)

Legenda: Composição cor verdadeira: banda vermelha no canal R, banda do infravermelho próximo no canal G e a faixa verde no canal B.

## Variáveis Indicadoras e Análise De Correlação Canônica

Nesse trabalho buscou-se identificar as correspondências entre as variáveis biológicas (altura de serrapilheira, coeficiente metabólico, respiração basal) e as variáveis físicas do solo (diâmetro médio geométrico dos agregados do solo, porosidade, densidade total do solo, teor de umidade), utilizando a análise de correlações canônicas.

O método estatístico de correlação canônica multivariada possibilita estudar as relações multidimensionais lineares existentes entre dois grupos ou conjunto de variáveis. De forma similar ao estudo de correlação entre duas variáveis a análise de correlação canônica permite identificar a correlação existente entre dois grupos de variáveis.

Por meio da redução das variáveis e combinações lineares são determinadas as combinações de maior correlação e consequentemente a associação entre as variáveis em estudo e as áreas em recuperação.

De acordo com Johnson & Wichern (2007), para validação da análise de correlação canônica se faz necessário uma análise da matriz de covariâncias ( $\Sigma$ ) ou de correlações ( $R$ ) a fim de determinar se elas são próximas ou não da matriz nula.

A estatística do teste está associada a uma distribuição Qui-quadrado  $\chi^2_{(v, \alpha)}$  com  $v = pq$  = graus de liberdade. Se  $-2\ln(\lambda) > \chi^2_{(v, \alpha)}$  então rejeita-se  $H_0$ , ou seja, a matriz de covariâncias é diferente de zero para algum nível de significância  $\alpha$  considerado, indicando que se pode fazer análise de correlação canônica.

Tem-se também, se a hipótese nula rejeitada, é natural buscar um número de correlações canônicas  $r$  que diferem significativamente de zero.

Os dados foram organizados em duas matrizes, uma contendo as variáveis do sistema biológico (Coeficiente metabólico, respiração basal do solo, riqueza da mesofauna, altura da serrapilheira e matéria orgânica do solo) e outra do sistema físico (Umidade do solo, porosidade total do solo, densidade do solo seco e diâmetro médio geométrico dos agregados do solo).

## Aspectos metodológicos dos parâmetros físicos e biológicos avaliados

### Avaliação da comunidade da mesofauna do solo

Para a execução do trabalho foram realizadas coletas e respectivas análises de macrofauna do solo em pontos previstos para identificação nas etapas subsequentes do desenvolvimento do projeto, dado o termo de referência proposto pela empresa.

As coletas foram conduzidas no final do período de chuva com a realização do método de armadilhas *pitfall* (CORREIA, 2000) com a finalidade precípua de amostrar invertebrados com tamanho corporal igual ou superior a 0,2 mm de comprimento ou entre 2,0 mm e 20,0 mm de diâmetro.

Para tanto, cada área analisada foi considerada um tratamento e as variáveis estudadas em quatro repetições, traçando-se em cada uma delas uma linha –transepto, como descrito por (PINTO-COELHO, 2000), na qual foram distribuídos pontos de coleta equidistantes em 5 m ou mais.

As armadilhas (recipientes) foram mantidas em campo sete dias consecutivos, após o que os frascos foram bem fechados e retirados para posterior identificação dos grupos taxonômicos a que os indivíduos pertencem e respectiva quantificação.

### **Análise Respiração basal do solo (liberação de CO<sub>2</sub>)**

Pesou-se 100 g de amostra em cada vidro de respirometria, fazendo 3 repetições para cada amostra. Em seguida, adicionou-se 60% da máxima capacidade de retenção de água deste solo, cobriu-se com filme transparente e levou-se a incubadora à 28 °C por dois dias. Fez-se três brancos, onde os vidros encontravam-se sem amostra.

Após o período de incubação, adicionou-se a cada vidro um erlenmeyer de 50 ml contendo 10 ml de NaOH a 1N. Tampou-se novamente os vidros com papel filme e deixou-se na incubadora por dois a quatro dias à 28°C. Depois do tempo determinado, retirou-se o erlenmeyer do vidro, adicionou-se 1 ml de cloreto de bário a 50% e 2 gotas de fenolftaleína e fez-se a titulação com HCl a 0,1 N, onde quantificou-se o CO<sub>2</sub> liberado do solo que reagiu com NaOH.

### **Cálculo do coeficiente metabólico**

O coeficiente metabólico (qCO<sub>2</sub>) foi obtido pela relação entre a respiração basal do solo e o carbono da biomassa microbiana e foi usado como indicador da eficiência da comunidade microbiana em incorporar carbono à própria biomassa (ANDERSON & DOMSH, 1989).

### **Matéria orgânica leve em água (MOL)**

Coletas e respectivas análises de matéria orgânica do solo foram estabelecidas nos pontos previstos para identificação nas etapas subsequentes do trabalho.

As coletas foram conduzidas no mês de Abril, com a realização do método de Matéria Orgânica Leve em Água (MOL), segundo a metodologia proposta por ANDERSON; INGRAM (1989).

### **Medidas da Altura de Serrapilheira**

Foi analisadas medidas de altura de serrapilheira das áreas experimentais em estudo por meio de um perfilômetro de hastes coletando a altura em pontos equidistantes e o somatório das áreas por meio do método regra trapézio.

### **Estabilidade dos agregados**

A análise de agregados foi desenvolvida a partir da metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997). O método consiste na utilização de um conjunto de peneiras e um agitador mecânico de, com finalidade de retenção de agregados de tamanhos diferentes para obtenção de dados de porcentagem e diâmetro médio geométrico.

Para o cálculo de Diâmetro Médio Geométrico (DMG), foi utilizado o método proposto por (Kemper & Rosenau, 1987).

$$DMG = 10^{\left[ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i \cdot \log_{10} \bar{d}_i)}{\sum_{i=1}^n x_i} \right]} \quad \text{Equação 1.}$$

Na equação 1,  $x_i$  é a porcentagem da massa de solo retida em determinada peneira, o  $\bar{d}_i$  é o diâmetro médio dos grãos, ou seja, é a média entre o valor da peneira em que o material ficou retido e o valor da peneira superior, já que o diâmetro médio está relacionado com o tamanho dos agregados, e como os grãos ficaram retidos em tal peneira, mas conseguiram passar pela de maior valor, ele pode ter um diâmetro entre o da peneira e o da peneira superior.

### **Atributos Físicos do Solo**

Para os atributos físicos, a amostragem de solo foi feita através da metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997), utilizando anéis volumétricos metálicos de Kopecky, de aproximadamente 80 cm<sup>3</sup> (oitenta centímetros cúbicos) de volume interno, fazendo com que as amostras tenham estruturas indeformadas. No total foi utilizado 4 (quatro) anéis por área amostrada. Cada um deles foi separado, marcado e pesado antes de se fazer a coleta.

### **Densidade do Solo**

Para análise da densidade total do solo foi utilizado a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1997), foi encontrada a Densidade Total do Solo ( $D_T$ ).

$$D_T = m_A/V_A \quad \text{Equação 2.}$$

#### Teor de Umidade do Solo

Para análise da Umidade do Solo, utilizou-se a metodologia, proposta por Caputo (1988). Onde, a umidade do solo pode ser definida pela diferença entre a  $m_A$  (massa do solo antes da secagem em estufa) e a  $m_D$  (massa do solo após a secagem em estufa). Conforme a **Equação 3**.

$$h = (m_A - m_D)/m_D \quad \text{Equação 3.}$$

#### Porosidade

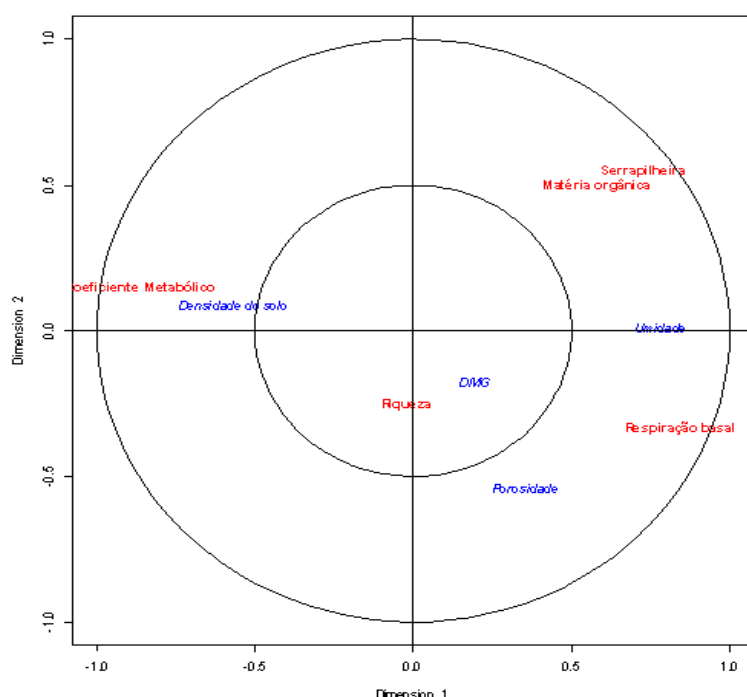
A partir do Índice de Vazios ( $\epsilon$ ), pode encontrar a Porosidade ( $\eta$ ). A porosidade mostra a relação entre o total de vazios em um solo, mostrando uma proporção do que é vazio ou poroso em relação ao total. Ela pode ser encontrada por meio da **Equação 4**.

$$\eta = \epsilon/(1 + \epsilon) \quad \text{Equação 4.}$$

## RESULTADOS

A **Figura 2** representa o mapa de análise de correlação canônica entre os indicadores do sistema físico (escritos na fonte de cor azul) e biológico (escritos na fonte de cor vermelha)

**Figura 2– Análise de correlação canônica entre indicadores do sistema físicos e biológicos nas diferentes áreas de estudo.**



A análise de correlação canônica (**Figura 2**) mostrou a similaridade entre os parâmetros serrapilheira e matéria orgânica e coeficiente metabólico e densidade do solo nas combinações lineares melhores correlacionadas. O DMG a porosidade, riqueza e respiração basal apresentaram-se no mesmo quadrante evidenciando-se algum nível de similaridade entre os parâmetros.

Com relação ao atributo de serrapilheira ressalta-se a correlação positiva com o indicador teor de umidade, esse fato pode ser explicado devido a maiores taxas de decomposição em áreas com maior quantidade de serrapilheira, propiciando uma cobertura vegetal natural para o solo, fazendo com diminua a evaporação e que o teor de umidade do solo possa ser mantido.

Nessa inserção, pode-se explicar a correlação positiva do indicador serrapilheira com a matéria orgânica do solo, uma vez que processos de decomposição e ciclagem de nutrientes que acontece nos solos aumentam tanto a quantidade de serrapilheira quanto a matéria orgânica e macronutrientes presente no solo.

### Análise de correlação canônica e determinação das combinações equação lineares

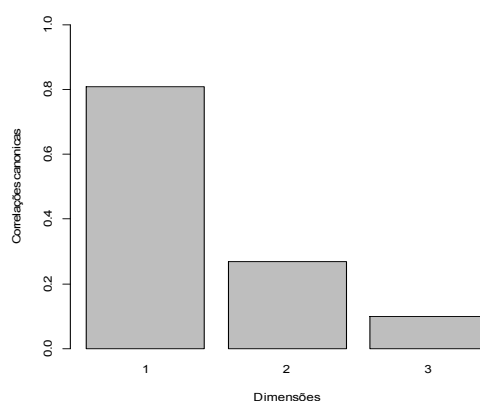
Verificou-se que o primeiro conjunto (dimensão) de combinação linear das variáveis canônica representou o maior coeficiente de correlação.

A partir da segunda dimensão esse coeficiente apresentou expressiva redução  $r < 0,26$ . Conforme a tabela 18 e sua expressão gráfica representada na Figura 34

**Tabela 1 Coeficientes de correlação para as combinações lineares nas diferentes dimensões**

1	2	3
0.80951	0.267466	0.099401

**Figura 3 Apresentação gráfica dos coeficientes de correlação para as combinações lineares nas diferentes dimensões**



**Tabela 2 Coeficientes das relações lineares entre o conjunto de variáveis biológicas**

	[1]	[2]	[3]
Carbono da Biomassa Microbiana	-7.63778	-7.52011	-2.58001
Respiração Basal	0.126522	0.343012	-0.08542
Serrapilheira	0.071138	-0.52024	-0.30544

**Tabela 3 Coeficientes das relações lineares entre o conjunto de variáveis morfométricas dos agregados**

	[1]	[2]	[3]
Arredondamento	-0.00635	-0.0089	-0.10268
DMG	-0.0187	-0.26729	-0.89256
Circularidade	0.018005	-0.03193	0.045086
Massa	0.002046	-0.03648	-0.02585
Diâmetro Ferret	-0.11691	-0.02958	-0.00324
Área	-0.02394	0.100752	0.023008

De acordo com as **Tabelas 2 e 3**, observou-se dominância das variáveis Carbono da Biomassa Microbiana e DMG, indicando maior associação entre essas variáveis. A serrapilheira apresentou coeficientes ligeiramente superiores a respiração basal. As variáveis morfométricas apresentaram coeficientes próximos entre si.

### Avaliação da função de correspondência canônica

As combinações lineares de maior correlação são expressas pelas **Equações 1 e 2**

$$B = -7,6377x_1 + 0,1265x_2 + 0,0711x_3 \quad \text{- Equação 1}$$

Onde:

B corresponde a combinação linear das variáveis biológicas

x1 a variável Carbono da Biomassa Microbiano x2 = Respiração Basal, x3 = Serrapilheira

$$M = -0,0063y_1 - 0,0187y_2 - 0,0180y_3 - 0,0020y_4 + (-0,1169)y_5 + (-0,0239y_6) \quad \text{Equação 5}$$

Onde,

M corresponde a combinação linear das variáveis morfométricas do agregado do solo

y1 a variável Arredondamento dos Agregados; y2 = DMG dos Agregados, y3 = Circularidade dos Agregados y4 = Massa dos Agregados, y5 = Diâmetro Ferret dos Agregados t, y6 = Área dos Agregados.

Como o coeficiente de correlação das combinações lineares apresentou valor de 0,80, evidenciando que existe associação entre as variáveis, assume-se que é possível utilizar as variáveis físicas morfométricas dos agregados para estimar as variáveis biológicas, portanto a relação expressa na **Equação 6** pode ser utilizada.

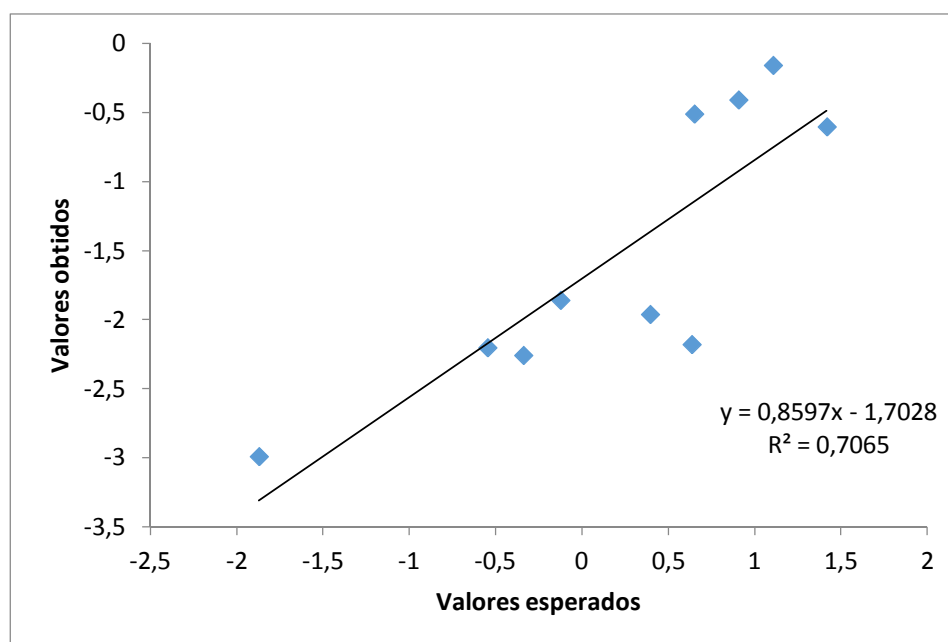
$$B = M \quad \text{Equação 6}$$

Assim, a função de correspondência canônica pode ser expressa conforme a **Equação 4**.

$$B = -0,0063y_1 - 0,0187y_2 - 0,0180y_3 - 0,0020y_4 + (-0,1169)y_5 + (-0,0239y_6) \quad \text{Equação 7}$$

Os valores gerados pelo modelo linear (**Equação 7**) para as áreas experimentais em comparação com os dados obtidos pelas variáveis amostradas são apresentados na **Figura 4**. A equação da reta de ajuste e o coeficiente de determinação mostram que os valores obtidos pelo modelo apresentam-se próximos dos ideais, que seriam para o coeficiente de determinação 1 e para equação da reta  $y=1x + 0$ .

**Figura 4 Avaliação da Função de correspondência canônica**



#### **Análise de regressão linear simples dos resultados obtidos e esperados.**

Dado o resumo dos resultados obtido a partir de uma regressão linear simples, tem-se que para esse teste de correspondência o valor de  $F(\text{calculado})$  é significativo ( $p < 0,05$ ), rejeitando-se a hipótese de nulidade e aceitando-se a alternativa que pelo menos uma condição de estimativa do modelo é diferente do resultados esperados, assim considera-se que o modelo não apresenta boas estimativas para algumas variáveis. Esse fator pode estar associado ao problema de multicolinearidade ou intercorrelação entre as equações resultantes.

O valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é 70,6%. Este valor é considerado bom, ou de boa capacidade preditiva, superior 70%. Que segundo a classificação de Garcia (1989), valores a cima de 70% de coeficiente de determinação ( $R^2$ ), apresentam bons ajustes. No entanto, quando se trata da correlação entre as variáveis biológicas e morfométricas dos agregados do solo tal afirmativa para o modelo não pode ser aceita, pois análise de variância mostra que pelo menos



um dos parâmetros do modelo não apresentou boa estimativa, seria importante que o coeficiente de determinação estivesse próximo a 1

## CONCLUSÕES

Por meio da metodologia aplicada e os resultados obtidos foi possível concluir que existem interação entre o conjunto de variáveis envolvidas, pois os resultados mostraram similaridade entre os parâmetros biológicos e físicos do solo.

A análise multivariada canônica foi capaz de identificar as diferentes respostas das áreas com ações de recuperação envolvendo as variáveis físicas (DMG de Agregados, Porosidade do Solo, Teor de Umidade e Densidade do Solo) e as variáveis biológicas (Altura de Serrapilheira, Coeficiente Metabólico e Respiração Basal).

Estudos futuros podem explorar o potencial das variáveis citadas na avaliação de outras condições ecossistêmicas, além de testar sua análise combinada para fins de tipificação e avaliação do processo de recuperação ambiental de áreas degradadas pela mineração.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for  $\text{CO}_2$  ( $q\text{CO}_2$ ) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biology & Biochemistry*, Oxford, V. 25, n.3, p. 393-395 mar 1993.
- CAPUTO, H. P., *Mecânica dos Solos e suas aplicações*: v. 1. 6 ed. Rio de Janeiro Livros Técnico e Científicos, 1988.
- CORREIA, M. E. F.; OLIVEIRA, L. C. M. Fauna de solo: aspectos gerais e metodológicos. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. (Embrapa Agrobiologia. Documentos, 112).
- EMBRAPA. Serviço Nacional Brasileiro de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de Análise de Solo. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p
- Gonçalves, L. G. De G.; Borak, J. S.; Costa, M. H.; Saleska, S. R. et al. Overview of the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia Data Model Intercomparison Project (LBA-DMIP). *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 182–183, n. 15, p. 111-127, 2013.
- IBAMA. Termo de Compromisso de Ajustamento de Conduta Celebrado entre a Companhia Estanífera do Brasil — CESBRA — e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis — IBAMA. Brasília, 1999.
- 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.
- Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), 2012. Information and Analysis an the Brazilian Mineral Economy. Instituto Brasileiro de Mineração: 7 ed. 68f.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2015. Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres
- JOHNSON, R. A., WICHERN, D.W.; *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 6. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2007. 794 p.
- LIMA, A.T., MITCHELL, K., O'CONNELL, D.W., VERHOEVEN, J., CAPPELLEN, P.V., 2011. The legacy of surface mining: Remediation, restoration, reclamation and rehabilitation. *Environmental Science & Policy*. 66, 227-233.
- LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J., 2005. Physical and chemical characterization of the substratum of degraded areas by tin mining. *Bragantia* [online], 64 (1), 101-107.
- LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; MELO, W. J., 2011. Use of green fertilizing in the recovery of soils degraded by mining in the amazon forest. *Bragantia*. 70 (1), 139-146.
- LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.44, p.68-75, 2009.
- MAGDOFF, F. *Building Soils for Better Crops: Organic Matter Management*. Lincoln: Univ. of Negraska Press, 1999. 433p.
- PINTO-COELHO, R. M. **Fundamentos em ecologia**. Porto Alegre: Artmed, 2000.
- Phillips, J., 2016. Climate change and surface mining: A review of environmenth
- Machado, I. F., Figuerôa, S. F. M., 2001. 500 years of mining in Brazil: a brief review. *Resources Policy*, 27, 9-24.
- RIBEIRO, A. Mecanização no preparo de solo em áreas degradadas por mineração na floresta nacional do Jamari-Rondônia –BR. 2005. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas SP, 2005
- RIBEIRO, A.I., FENGLER, F.H.; LONGO, R.M., MEDEIROS, G.A., MELO, G.F., PECHE FILHO, A., 2015. Choice of revegetation techniques for degraded areas using environmental damage assessment in the Amazon forest, Brazil. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 192, 407-417.
- RIBEIRO, A. I.; LONGO, R. M., TEIXEIRA FILHO, A.; MELO, W. J., 2006. Diagnosis of a compacted area by mining activity, in the Amazon forest, utilizing geoestatistic methods to the mechanical resistance variable to the penetration of the soil. *Acta Amazônica*. 36, 83-90.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. Florestas do Brasil em resumo – 2015: dados de 2010-2015. Brasília, SFB, 2015.

Silva, F. A. S.; Azevedo, C. A. V., 2016. The Assistat software version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *Afr. J. Agric. Res.* 11, 3733-3740. Smith, N. J. H.; Homma, P. A. A.; Falesi, I.; Serrão, A., 1991. Environmental impacts of resource exploitation in Amazonia. *Global Environmental Change*. 1, 131-320.

Yada, M.M., Mingotte, F.L.C., Melo, W.J., Melo, G.P., Melo, V.P., Longo, R.M., Ribeiro, A.I., 2015; Chemical and Biochemical Properties of Soils Degraded by tin Mining and in a Rehabilitation Phase in the Amazon Basin. *R. Bras. CI. Solo*. 39,

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soils analysis. Physical and mineralogical methods*. 2. ed. pt 1. Madison, ASA, SSSA, 1986. p.425-442