

**O uso do índice de circularidade de agregados do solo na diferenciação de estratos degradados**

**Marcela Merides Carvalho**

Doutoranda, ICT/Unesp, Brasil.  
marcela.merides@hotmail.com

**Felipe Hashimoto Fengler**

Professor Doutor, Facens, Brasil.  
felipe\_fengler@hotmail.com

**Afonso Peche Filho**

Professor Dr, IAC, Brasil.  
peche@iac.sp.gov.br

## RESUMO

Entre as dificuldades encontradas na gestão de áreas degradadas está a caracterização dos diferentes estratos dentro de uma mesma área. Estes estratos possivelmente necessitam de ações distintas de recuperação, compatível com a forma da degradação. Partindo dessa premissa, o trabalho propõe uma estratificação inicial com base na percepção visual das diferentes formas de ocorrência da degradação na paisagem local. Dessa maneira, busca-se um melhor entendimento paisagem e as necessidades de amostragem para fins de confirmação das diferenças. Assim, o objetivo do trabalho foi identificar os diferentes estratos numa área degradada, utilizando amostragem de solo para fins da análise de agregação e determinação do índice de circularidade dos diferentes agregados do solo. O experimento foi realizado em uma área degradada no Instituto Agrônomo (CEA-IAC), na cidade de Jundiá – SP. O local foi estratificado em cinco ambientes de degradação e para cada um deles foi retirada quatro amostras para fins de análise do estado de agregação. Após o peneiramento da amostra de solo retirou-se uma sub amostra de agregados retidos na peneira de 4 mm para determinação do índice de circularidade. Utilizando 40 amostras por estrato obteve-se medidas de estatística descritiva e o histograma de frequência. Os resultados permitiram comprovar que através da análise de agregados, do processamento estatístico do índice de circularidade e da confecção de histogramas de frequência podemos estabelecer critérios confiáveis para diferenciação de estratos em áreas degradadas. Desta forma, podemos concluir que os procedimentos utilizados apresentam potencial para análise e diferenciação de ambientes com níveis de degradação complexa.

**PALAVRAS-CHAVE:** RAD, variabilidade, agregação de solo.

## 1. INTRODUÇÃO

A indústria mineradora possui forte influência na economia brasileira, no entanto, o modelo extrativista causa diversos impactos ambientais, pois para acessar as reservas minerais é necessária a remoção completa da vegetação e da camada superficial do solo, levando ao desequilíbrio ecossistêmico (CARVALHO et al., 2019). Atualmente mais de 15% dos solos do mundo encontram-se degradados ou em processo de degradação. No Brasil mais da metade dos solos tropicais possuem algum grau de degradação. Das áreas degradadas, 98,8% estão relacionadas às atividades de produção e extrativismo, construção de estradas, represas, áreas industriais, resultando em impacto imediato sobre o solo (EMBRAPA, 2014; MMA, 2017).

Áreas degradadas pela extração de minério apresentam diferentes comportamentos no que se refere ao estado físico do solo, levando à diferenciação dos níveis de degradação em função do histórico de exploração e dos diferentes microecossistemas (MMA, 2017; CARVALHO et al., 2019). De acordo com Oliveira (2009) a riqueza específica das plantas e sua heterogênea distribuição forma mosaicos de microecossistemas na área com composição e estrutura diferenciada, associada às comunidades de animais e microorganismos propiciando fortes interações interespecíficas. Esse mosaico de ecossistemas pode ser evidenciado pela exuberância da vegetação secundária inicial, nas diferentes colorações e altura, aliada à rica composição florística que atualmente cobre a área (Peche Filho et al., 2012).

O conceito de área degradada ou de paisagens degradadas pode ser compreendido como, locais onde existem (ou existiram) processos causadores de danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como a qualidade produtiva dos recursos naturais (DECRETO FEDERAL 97.632/89). Ferreira et al. (2007), afirma que por definição ecossistema degradado é aquele que após distúrbios teve eliminados, com a vegetação, os seus meios de regeneração biótica. Seu retorno ao estado anterior pode não ocorrer ou ser bastante lento. Nesse caso, a ação antrópica é necessária para a sua regeneração o mais próximo do original em curto prazo.

Na maioria das vezes, as atividades de recuperação visam recolocar uma cobertura vegetal na área explorada, e essas atividades incluem operações que vão desde a estética paisagística, até a revegetação completa da área, procurando manter as espécies típicas da região. Naturalmente essa definição não preenche todas as circunstâncias que envolve a recuperação ambiental de uma área, principalmente sob o aspecto ecológico (LONGO, 2011, Lei et al., 2016; FENGLER et al., 2017). Desta forma, é necessário um plano de gestão com atividades de recuperação que permitam melhorar a qualidade do solo para o desenvolvimento da vegetação no local alterado (PECHE FILHO, 2017; CARVALHO et al., 2019).

Entre as dificuldades encontradas na gestão de áreas degradadas está a caracterização dos diferentes estratos dentro de uma mesma área. Estes estratos possivelmente necessitam de ações distintas de recuperação, compatível com a forma da degradação. Neste sentido a utilização de metodologias e ferramentas que possibilitem a diferenciação de ambientes degradados se mostra essencial.

Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo propor uma estratificação inicial com base na percepção visual das diferentes formas de ocorrência da degradação na paisagem local. Dessa maneira, busca-se um melhor entendimento paisagem e as necessidades de amostragem para fins de confirmação das diferenças. Assim, o objetivo do trabalho foi identificar os diferentes estratos numa área degradada, utilizando amostragem de solo para fins da análise de agregação e determinação do índice de circularidade dos diferentes agregados do solo.

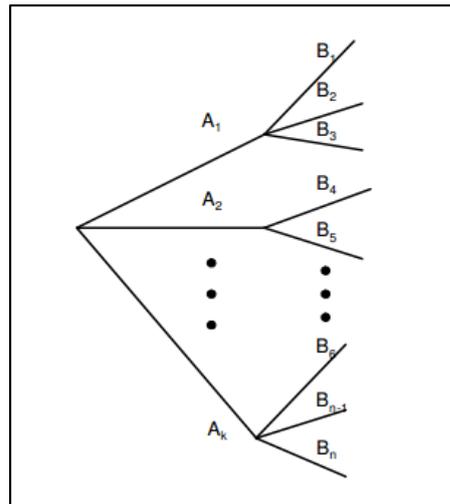
## **2. METODOLOGIA**

O experimento foi realizado em área degradada do Centro de Engenharia e Automação do Instituto Agrônomo (CEA-IAC), em uma área de estudo de 2,0 hectares. A região se encontra nos domínios da bacia do Rio Jundiá, na cidade de Jundiá- SP, delimitada ao norte pela Rodovia Don Gabriel Paulino Couto Bueno, ao leste pela Rodovia dos Bandeirantes e ao sul pela Av. Antônio Picinato.

O clima, conforme a classificação de Koppen corresponde ao mesotérmico úmido sem estiagem (Cfa), no qual a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C, com altitude média de 762 m.

Para identificação visual da paisagem utilizou-se de um sistema baseado na árvore de decisão, semelhante à proposta De Melo Figueiredo & Tavares de Carvalho (2005), conforme a Figura 1.

Figura 1. Árvore de decisão.

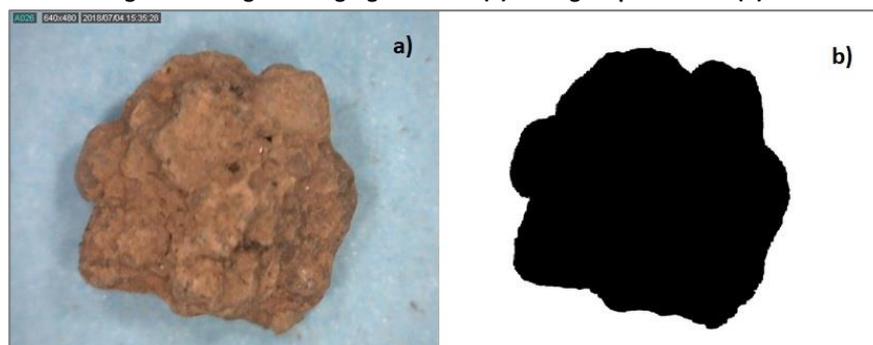


FONTE: De Melo Figueiredo & Tavares de Carvalho (2005)

A visualização dos diferentes estratos iniciou-se com o entendimento da macropaisagem do ponto de vista físico, na integração das condições eluvionar, coluvionar e aluvionar determinando assim as condições de drenagem da área pela necessidade de intervenção na liberação ou retenção de escoamento e sedimento ao meio. Os ramos complementares foram definidos e determinados de acordo com o conhecimento do observador sob a luz da complexidade biológica onde o solo, a vegetação e as interações ecológicas foram identificados e pontuados. Dessa forma, gerou-se uma matriz de atributos onde a variável possa ser determinada.

Após a estratificação da área realizou-se a coleta de quatro amostras de solo em cada estrato para a verificação do estado de agregação e determinação do índice de circularidade. As amostras de solo foram retiradas em profundidade de 0-20 cm e passaram pelo processo de secagem ao ar livre no laboratório, em seguida foram peneiradas em aparelho vibratório marca Soloteste em intensidade máxima durante 3 minutos. Do material retido na peneira de 4 mm selecionaram-se ao acaso, 10 agregados para serem fotografados através de um microscópio digital da marca Dino Lite modelo AM-211, com processamento no programa ImageJ. As imagens foram convertidas em preto e branco e filtradas através do comando para a eliminação de ruídos (EMBRAPA, 2017; PECHE FILHO, 2018) (Figura 2).

Figura 2 - Imagem do agregado bruta (a) e imagem processada (b).



FONTE: Peche Filho, 2018.

Em seguida o índice de circularidade foi obtido em 40 amostras sendo determinados através da Equação 1 (FERREIRA & RASBAND, 2011).

$$IC = 4\pi \times \frac{A}{P^2} \text{ - Equação I.}$$

Onde:

- IC corresponde ao índice de circularidade;
- A corresponde a área do agregado;
- P corresponde ao perímetro do agregado.

Os valores do índice de circularidade tem uma variação entre “0” e “1”. Conforme o valor se aproxima de “0” a correspondente forma do agregado é a de um retângulo alongado. Quando o valor se aproxima de “1” a correspondente forma do agregado é a de um círculo perfeito.

Os valores obtidos foram submetidos à análise estatística descritiva utilizando o programa Microsoft Excel, com a determinação de histogramas para análise gráfica visual conforme diretrizes de Negri Neto et al. (1993).

### 3. RESULTADOS

Os resultados obtidos através da matriz de atributos da árvore de decisões e a variável objetivo são mostradas na Tabela 1.

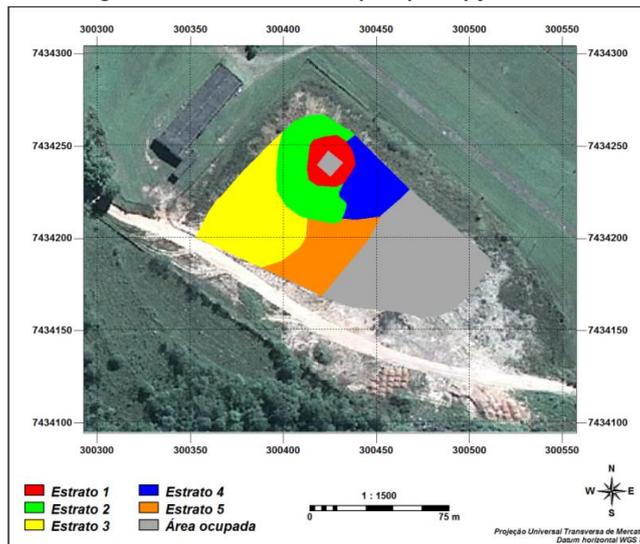
Tabela 1. Atributos visuais da árvore de decisão.

Escolha	POSIÇÃO NO RELEVO			CONDIÇÃO DO SOLO			CONDIÇÃO DA VEGETAÇÃO			CONDIÇÃO DA FAUNA		Total
	eluvionar	coluvionar	aluvionar	horizontes presentes	horizontes removidos	Cond. Sprólito	Vegetação Arbustiva rala	Vegetação Arbórea rala	Vegetação florestal densa	Ausência Meso e macrofauna solo	Presença Meso e macrofauna solo	
Estrato 1	4	0	0	3	1	0	3	1	0	0	1	13
Estrato 2	1	2	1	1	2	0	2	1	0	0	2	12
Estrato 3	1	1	2	0	1	1	2	0	0	0	2	10
Estrato 4	3	1	2	3	2	0	2	0	0	0	2	15
Estrato 5	0	1	4	0	1	1	0	0	0	0	0	7

FONTE: Autor.

A variável objeto da matriz foi considerada com o nível de degradação da área, a Tabela 1 mostra um total de 5 estratos diferentes (Figura 3) identificados pela análise visual.

Figura 3. Estratos definidos pela percepção visual.



FONTE: Autor.

A Tabela 2 mostra que os valores médios do índice de circularidade (IC) relativo aos cinco estratos são próximos, com uma amplitude 0.025. No entanto analisando a amplitude relacionada à mediana e a moda as diferenças de amplitude foram consideráveis. Para a mediana os valores de IC apresentaram uma amplitude de 0.040. Para moda os valores de IC apresentaram uma amplitude de 0.110.

O desvio padrão e os coeficientes de variação (CV) mostram a uniformidade no IC para todos os estratos. Com relação à dispersão dos valores os Estratos 1, 2 e 4 apresentam média dispersão, os Estratos 3 e 5 apresentam dados com baixa dispersão. Os resultados para curtose mostram diferenças significativas no comportamento dos dados em relação à média, confirmando as diferenças potenciais entre os cinco estratos. A assimetria negativa mostra que os valores de IC tendem a serem maiores que a média, portanto em todos os estratos temos possibilidades de encontrar agregados de 4 mm bem diferenciados com tendências a formas retangulares. A Tabela 2 possibilita uma análise detalhada dos resultados estatísticos.

Tabela 2. Estatística descritiva do índice de circularidade.

Parâmetros	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5
Média	0.729	0.729	0.751	0.732	0.726
Erro padrão	0.012	0.013	0.008	0.013	0.007
Mediana	0.750	0.725	0.750	0.760	0.720
Moda	0.750	0.820	0.770	0.800	0.710
Desvio padrão	0.075	0.079	0.050	0.085	0.043
Coefficiente de variação (%)	10.338	10.880	6.660	11.639	5.889
Variância da amostra	0.006	0.006	0.003	0.007	0.002
Curtose	0.002	-1.013	0.401	1.107	1.624
Assimetria	-0.826	-0.276	-0.391	-1.244	-0.524
Mínimo	0.530	0.570	0.610	0.480	0.590
Máximo	0.840	0.850	0.840	0.840	0.810
Total de dados	40.000	40.000	40.000	40.000	40.000

FONTE: Autor

Através da análise dos histogramas obtidos é possível constatar diferenças visuais quanto à frequência dos dados. O comportamento dos valores de IC permite caracterizar as diferenças gráficas em função das formas influenciadas pelo processo de degradação nos diferentes estratos.

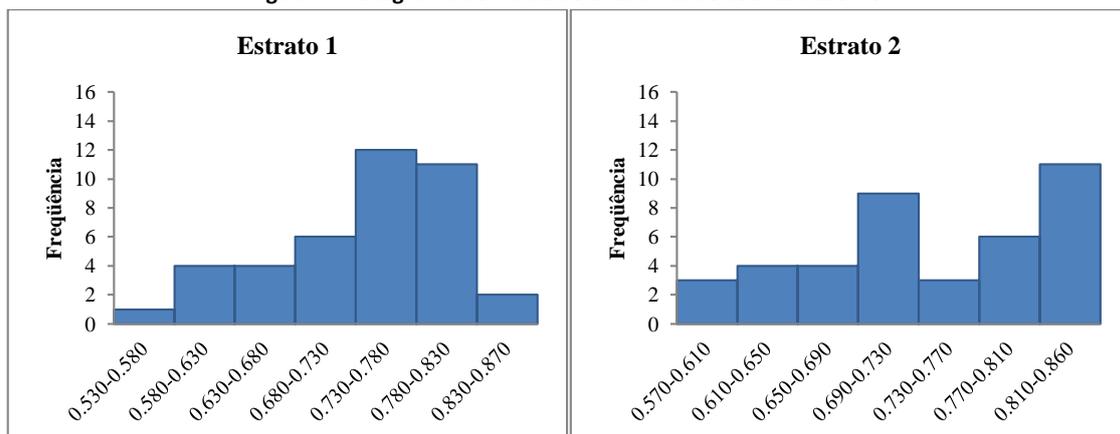
Os dados obtidos mostram que o Estrato 1 apresenta 53% dos valores de IC concentrados entre 0.730 e 0.830 e 60% dos dados estão acima da média (0.729). O Estrato 2 apresenta uma distribuição binomial com 50% dos valores de IC concentrados em dois picos distintos. No primeiro pico valores entre 0.690 e 0.730, e no segundo pico valores entre 0.810 e 0.860. A média aparece no primeiro pico e 50% dos valores estão acima dela.

No terceiro estrato 30% dos valores estão concentrados entre 0.750 e 0.785, sendo que 55% estão acima da média. O Estrato 4 apresenta 67% dos dados concentrados entre 0.720 e 0.840, sendo que 35% dos dados seguramente estão acima da média. No Estrato 5 observa-se uma concentração de 65% dos dados entre 0.695 e 0.765, sendo que 45% dos valores estão acima da média.

As semelhanças entre os histogramas do Estrato 1 e Estrato 2 podem ser relacionadas a sua posição no relevo, por se situarem em uma região mais elevada. A área do estudo pode ser caracterizada como um morro; assim a degradação tem origem na retirada de material da parte mais alta para a parte mais baixa, sendo que o processo de lavra não eliminou totalmente a parte superior do terreno permitindo a formação de diferentes estratos degradados em função da quantidade de material retirado.

O Estrato 2 se apresenta em uma posição coluvial (central) onde ocorre à entrada de material originário da parte mais alta e a saída ou perda de material para as partes mais baixas. Esse fato pode explicar a ocorrência da distribuição binomial dos dados de IC.

Figura 4. Histograma do índice de circularidade dos Estratos 1 e 2.



Os Estratos 3 e 5 se situam em uma região aluvial (baixa) área está que recebe o material depositado em diferentes camadas de acordo com a intensidade da degradação. A região delimitada como Estrato 3 apresenta áreas ocupadas por vegetação e com atividade biológica diversificada isso pode explicar a ocorrência de agregados com tendências mais circulares; o mesmo não ocorre na região delimitada como Estrato 5, que não apresenta nenhum tipo de vegetação e baixa atividade biológica diversificada.

Figura 5. Histograma do índice de circularidade dos Estratos 3 e 4.

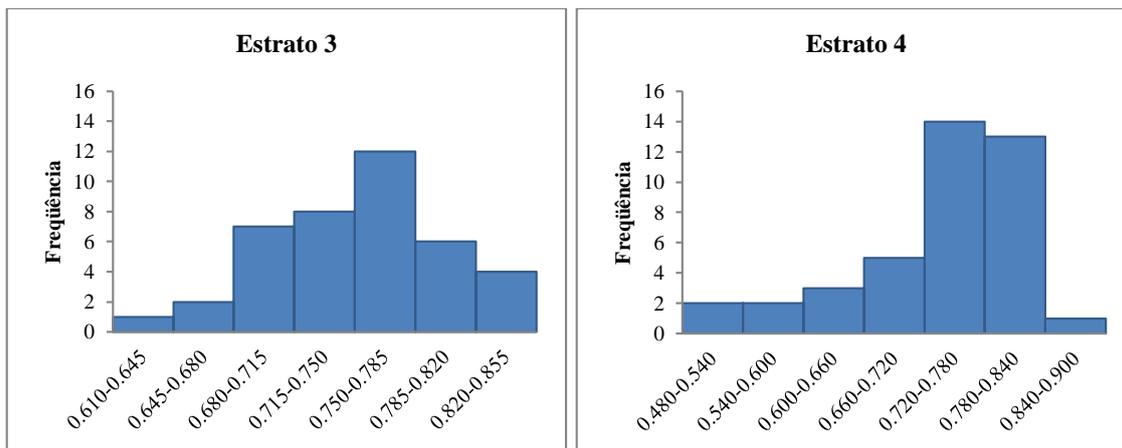
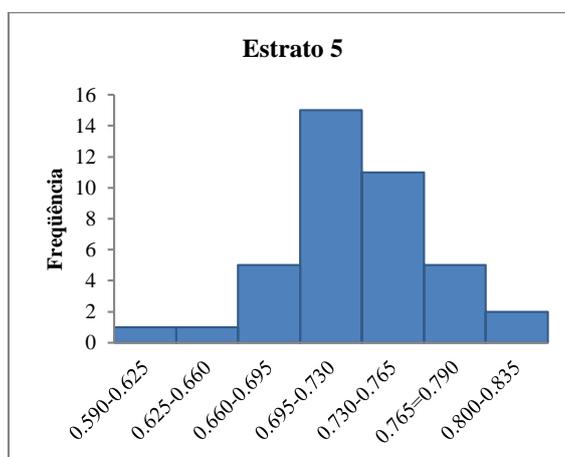


Figura 6. Histograma do índice de circularidade do Estrato 5.



## 4. CONCLUSÃO

De forma geral o índice de circularidade permitiu confirmar diferentes efeitos da degradação na área em estudo. Já a análise estatística do índice de circularidade confirmou as diferenças visuais entre os cinco estratos propostos.

Os índices obtidos nos estratos superiores (1 e 4) foram os mais elevados, confirmando que a atividade biológica presente influenciou na forma arredondada dos agregados retidos na peneira de 4 mm. Desta forma, através do comportamento gráfico que permitiu confirmar diferenças visuais obtidas no campo, podemos dizer que a metodologia mostrou-se prática, eficaz e de baixo custo. Sendo assim, os procedimentos utilizados apresentam potencial para análise e diferenciação de ambientes com níveis de degradação complexa.

## AGRADECIMENTO

Agradecemos ao grupo de pesquisa IAC – Instituto Agronômico de Campinas e ICTS – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba/ UNESP Sorocaba pelo apoio técnico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, M.M. FENGLER, F.H. 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), 2019.

DE MELO FIGUEIREDO, Symone Maria y TAVARES DE CARVALHO, Luis Marcelo. **Avaliação da exatidão do mapeamento da cobertura da terra em Capixaba, Acre, utilizando classificação por árvore de decisão.** CERNE. vol. 12, 2006. Disponível: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=74412105>. ISSN 0104-7760.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**, Rio Janeiro, 2014.

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, 2017, 93–99 p.

FERREIRA, T.; RASBAND, W. **The ImageJ user guide**, vol. 1.44, 2011 1-162 p.

FERREIRA, W, C; BOTELLO S. A.; DAVIDE, A. C.; FARIA, J. M. R. **Avaliação do crescimento do estrato arbóreo de área degradada revegetada á margem do rio grande, na usina hidroelétrica de Camargos, MG**, R. Árvore, Viçosa-MG, v.31, 2007, 117-185 p.

IBAMA - Ministério do Meio Ambiente, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari – Rondônia, MMA/IBAMA: Volume I, Diagnóstico.** 2015.

lei, h.; peng, z.; yang, h.; yang, z. **Vegetation and soil restoration in refuse dumps from open pit coal mine.** Ecological Engineering. Vol. 94, 2016, 638-646 p.

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. 70 (1), 2011, 139-146 p.

LONGO, R. M. **Relatório de Atividades Referente ao Plano de Recuperação de Áreas Degradadas da Flona do Jamari/RO**, 2010, 133 p. Documento não publicado.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano de Manejo da Floresta Nacional do Jamari – Rondônia.** Volume II, Brasília, 2015.

NEGRI NETO, A.; COELHO, P. J.; MOREIRA, I. R. O. **Análise gráfica e taxa de crescimento.** Informações Econômicas, SP, v.23, n.10, 1993, 99-108 p.

OLIVEIRA, I. F., **CONDICIONANTES DA RESTAURAÇÃO DE ÁREA HISTORICAMENTE PERTURBADA POR AGRICULTURA E PASTAGEM, SERRA, VENCIDA, PRESIDENTE GETÚLIO, SC.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Regional de Blumenau, SC, 2009.

## **Fórum Ambiental da Alta Paulista**

ISSN 1980-0827 – Volume 16, número 8, 2020

PECHE FILHO, A. FENGLER, F. H. RIBEIRO, A. I. FREITAS, E. P. MARQUES, B. V. STORINO, M. **Utilização do índice de circularidade de agregados: estudos preliminares.** Em: IX Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, 2012.

PECHE FILHO, A.F. **Variabilidade da Agregação em Amostras de Solos Agrícolas como Indicador de Qualidade: Uma Proposta Metodológica.** Tese. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2018.