

## Índices de Agregação e Teor de Carbono Intra-Agregados como Indicadores de Qualidade do Solo



ISSN 1678-0892

Dezembro, 2014

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Solos  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 250***

### **Índices de Agregação e Teor de Carbono Intra-Agregados como Indicadores de Qualidade do Solo**

*Fernando Vieira Cesário  
Guilherme Kangussú Donagemma  
José Ronaldo de Macedo  
Rachel Bardy Prado  
Azeneth Eufrausino Schuler  
Fabiano de Carvalho Balieiro*

Rio de Janeiro, RJ  
2014

**Embrapa Solos**

Rua Jardim Botânico, nº 1.024, Jardim Botânico  
CEP: 22460-000, Rio de Janeiro, RJ  
Fone: (21) 2179-4500  
Fax: (21) 2179-5291  
www.embrapa.br/solos  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Comitê de Publicações da Embrapa Solos**

Presidente: *José Carlos Polidoro*  
Secretário-Executivo: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*  
Membros: *Ademar Barros da Silva, Adriana Vieira de Camargo de Moraes, Alba Leonor da Silva Martins, Enyomara Lourenço da Silva, Evaldo de Paiva Lima, Joyce Maria Guimarães Monteiro, Luciana Sampaio de Araujo, Maria Regina Capdeville Laforet, Maurício Rizzato Coelho, Moema de Almeida Batista*

Supervisão editorial: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*  
Revisão de texto: *André Luiz da Silva Lopes*  
Normalização bibliográfica: *Luciana Sampaio de Araujo*  
Editoração eletrônica: *Jacqueline Silva Rezende Mattos*  
Foto da capa: *Guilherme Kangussú Donagemma*

**1ª edição**

On-line (2014)

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
Embrapa Solos

---

Índices de agregação e teor de carbono intra-agregados como indicadores de qualidade do solo / Fernando Vieira Cesário ... [et al.]. – Dados eletrônicos. – Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2014.  
24 p. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos, ISSN 1678-0892 ; 250).

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: <<https://www.embrapa.br/solos/publicacoes>>.

Título da página da Web (acesso em 20 dez. 2014).

1. Manejo do solo. 2. Solo. 3. Qualidade. 4. Carbono. 5. Método estatístico. I. Cesário, Fernando Vieira. II. Donagemma, Guilherme Kangussú. III. Macedo, José Ronaldo de. IV. Prado, Rachel Bardy. V. Schuler, Azeneth Eufrausino. VI. Balieiro, Fabiano de Carvalho. VII. Embrapa Solos. VIII. Série.

CDD 631.4 (23. ed.)

---

© Embrapa 2014

## Sumário

Resumo .....	5
Abstract .....	7
Introdução .....	9
Material e Métodos .....	10
Resultados e Discussão .....	11
Conclusões .....	20
Agradecimentos .....	20
Referências .....	21

# Índices de Agregação e Teor de Carbono Intra-Agregados como Indicadores de Qualidade do Solo

---

*Fernando Vieira Cesário<sup>1</sup>*

*Guilherme Kangussú Donagemma<sup>2</sup>*

*José Ronaldo de Macedo<sup>2</sup>*

*Rachel Bardy Prado<sup>2</sup>*

*Azeneth Eufrausino Schuler<sup>2</sup>*

*Fabiano de Carvalho Balieiro<sup>2</sup>*

## Resumo

Esse trabalho teve por objetivo avaliar diferentes índices de agregação e teores de carbono em diferentes classes de agregados como ferramenta de diagnóstico de qualidade da estrutura do solo. O estudo foi realizado em uma microbacia localizada no Município de São Francisco de Itabapoana-RJ. Foram estudados três usos da terra: uma sucessão de abacaxi-aipim; um pastoreio-rotacionado e um remanescente de mata (referência), todos sob Latossolo Amarelo. Utilizou-se estatística multivariada (análise discriminante e canônica) para seleção dos índices que melhor indicam as mudanças na estrutura do solo e teste Dunnett para comparação de médias dos índices e do carbono em agregados. A mata e o pastoreio-rotacionado apresentaram os valores mais altos para as variáveis: Diâmetro Médio Ponderado (DMP), Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e Índice de Estabilidade de Agregados (IEA), sendo respectivamente 2,94 mm, 2,83 mm, 92% e 2,92 mm, 2,75 mm, 91%. A sucessão de abacaxi-aipim apresentou os menores valores para esses índices, sendo 2,22 mm, 0,95 mm, 58% respectivamente. As

---

<sup>1</sup> Geógrafo, pesquisador do Núcleo de Ecologia dos Solos aplicado à Geografia-NESAG, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ.

<sup>2</sup> Engenheiro-agrônomo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ.

variáveis que foram as melhores discriminantes para a estrutura e qualidade do solo foram a relação macro/microagregados e carbono intra-agregado, denotando a sensibilidade do C, tanto do macro quanto do microagregado da sucessão de culturas frente à mata (referência).

Termos para indexação: manejo do solo, qualidade do solo, DMG, análise multivariada.

# Indexes of Aggregation and Intra-aggregate Carbon Content as Indicators of Soil Quality

---

## Abstract

*This study evaluated different levels of aggregation and carbon contents in different classes aggregates as a diagnostic tool for quality of soil structure. The study was conducted in micro basin, located in São Francisco de Itabapoana municipality in Rio de Janeiro State, Brazil. It were used multivariate statistics (discriminant analysis and canonical) for selection of the indices that best respond to changes in soil structure and Dunnett test for comparison of average. We studied three land uses, a succession of pineapple-cassava, rotational grazing management and a remaining of native forest (reference), all under Oxisol. The forest and rotational grazing showed higher values for the variables mean weight diameter (MWD), geometric meant diameter (GMD) and aggregate stability index (ASI), being respectively 2.94 mm, 2.83 mm, 92% and 2.92 mm, 2.75 mm, 91%. The succession of pineapples-cassava had the lowest values for these indexes 2.22mm, 0.95mm, 58%, respectively. Variables that were discriminatory to the structure and quality of the soil were macro/micro relationship and carbon intra-aggregates, denoting the sensitivity of C, both the macro and micro the succession of cultures in the face of reference.*

*Index terms: soil management, soil quality, GMD, multivariate analysis.*

## Introdução

As partículas primárias do solo (argila, silte, areia), sob circunstâncias favoráveis, tendem a formar estruturas conhecidas como agregados (KEMPER; ROSENAU, 1986). Essas estruturas são formadas como resultado da presença de coloides, agentes cimentantes e ação microbiana do solo (TISDALL; OADES, 1982), podendo adquirir diferentes tamanhos e formas.

Os agregados podem ser divididos comumente em classes de tamanho, que podem variar de milímetros a alguns centímetros (HILLEL, 2003), sendo aceita a definição de duas classes básicas de agregados em estudos de conservação do solo (DENEFF et al., 2007) os micro e os macroagregados como inferior e superior, respectivamente a 0,25 mm (TISDALL; OADES, 1982).

O estado de agregação do solo resulta de um balanço entre as forças ou processos que promovem a agregação e as causas que promovem sua destruição (HILLEL, 2003). Esses processos e forças envolvem complexas interações físicas, biológicas e químicas que são responsáveis pela estabilização dos agregados no solo (TISDALL; OADES, 1982).

A estabilidade dos agregados no solo tem importante influência sobre a estrutura do solo e, conseqüentemente, na infiltração de água, aeração do solo, atividade biológica, sequestro ou emissão de C e na erosão do solo (DENEFF; SIX, 2005; DENEFF et al., 2001). Muitos estudos apontam que as práticas de manejo e uso do solo podem afetar positiva ou negativamente a agregação do mesmo (DARAGHMEH et al., 2009; MADARI, 2004; CASTRO FILHO et al., 2002).

Normalmente, os solos submetidos a cultivos convencionais com ruptura acentuada de agregados devido ao uso intensivo de implementos para o preparo e plantio reduzem os estoques de C do solo, diminuindo a resiliência de algumas funções do solo.

Por outro lado, práticas conservacionistas do solo tendem a melhorar a estrutura do solo e, por conseguinte, sua qualidade e produtividade. Pode-se

citar a manutenção da palhada sobre o solo, associada ao seu mínimo revolvimento, como ocorre no plantio direto ou mínimo; a rotação e/ou o consorciamento de culturas e plantas de cobertura; o plantio em nível, dentre outros (SISTI et al., 2004; CASTRO FILHO et al., 1998).

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar os diferentes tipos de índices de agregação e teores de carbono nos agregados em diferentes usos do solo e identificar, por meio de estatística multivariada, os índices que melhor avaliam a qualidade da estrutura física do solo destas áreas, em uma microbacia do Norte Fluminense-RJ.

## Material e Métodos

A área de estudo corresponde à microbacia do córrego Brejo da Cobiça, localizada na bacia hidrográfica do Rio Guaxindiba (BHRG). Situada no Município de São Francisco de Itabapoana, no litoral Norte do Estado do Rio de Janeiro, esta microbacia totaliza aproximadamente 150 km<sup>2</sup> de extensão e possui um extenso fragmento de vegetação de Mata Atlântica denominado Mata do Carvão, que atualmente se trata de uma unidade de conservação do Estado do Rio de Janeiro (SCHULER, 2008).

A região foi caracterizada segundo os critérios propostos por Köppen (1948) por um clima tropical chuvoso com inverno seco, de tipologia AW. Esta região ocorre dentro do Tabuleiro Costeiro Fluminense, ambiente representado por extensas superfícies tabulares embasadas por sedimentos da Formação Barreiras, pouco dissecadas por uma rede de drenagem que converge diretamente para o oceano (KING, 1956). Predominam solos profundos e bem drenados (Argissolos Amarelos e Latossolos Amarelos) (FIDALGO et al., 2005).

Na microbacia foram coletadas amostras de solo em blocos indeformados na profundidade 0-20 cm, com três repetições que correspondem aos terços superior, médio e inferior da encosta, de cada uso, sob Latossolo Amarelo. Foram amostrados um plantio de sucessão abacaxi-aipim, um pastoreio-rotacionado e um remanescente de mata (referência), em estágio avançado de sucessão (Mata do Carvão). Os blocos retirados foram utilizados para a

avaliação da estabilidade de agregados em água. Os agregados foram homogeneizados com peneira de 4 mm, antes do tamisamento úmido, para ser determinada a distribuição das classes (2,0 – 1,0 – 0,5 – 0,25 – 0,125 e < 0,125 mm) de agregados por via úmida, utilizando o método de Yoder (CASTRO FILHO et al., 1998).

A partir da separação das diferentes classes de agregados, foram calculados índices que expressam a estabilidade dos agregados no solo, sendo eles: o diâmetro médio ponderado - DMP e o diâmetro médio geométrico - DMG (CESÁRIO; DONAGEMMA et al., 2010; KEMPER; ROSENAU, 1986); e Índice de Estabilidade de Agregados - IEA (CESÁRIO; DONAGEMMA et al., 2010; CASTRO FILHO; MUZILLI et al., 1998). Também foi calculada a percentagem de massa entre os macro e microagregados (Macro/Micro).

Ainda foram analisados, em cada classe de agregados separados, os teores de carbono por meio de combustão seca em CNH, modelo Perkim Elmer 2400, no Laboratório de Análise de Solo, Planta e Água da Embrapa Solos.

Os resultados dos índices de agregação e carbono nos agregados foram analisados estatisticamente com o auxílio do programa STATISTICA®. Os métodos estatísticos utilizados foram: estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação), teste de comparações múltiplas (Dunnett) e estatística multivariada (Análise de Função Discriminante), com o intuito de separar os usos e identificar quais variáveis são competentes nessa separação. Para todas as comparações, atribuiu-se como solo de melhor qualidade física o solo sob a mata, uma vez que a não perturbação do solo permite a formação e a estabilização de agregados maiores e maior estocagem de C.

## **Resultados e Discussão**

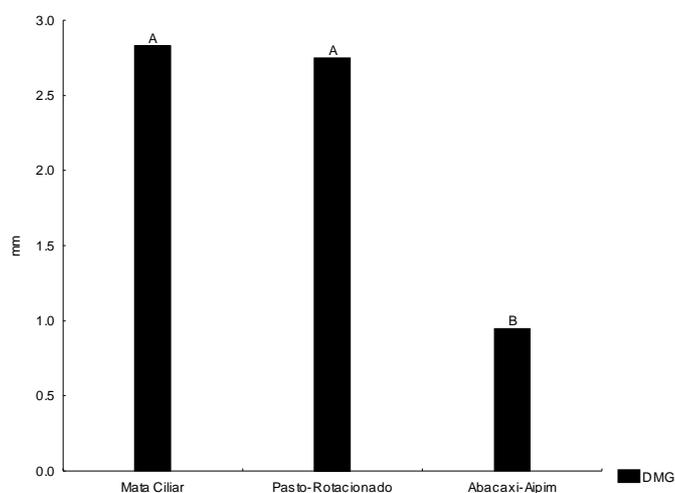
### **Índices de agregação (DMP, DMG e IEA) e percentagem de macro e microagregados**

De acordo com os resultados obtidos, observou-se que, dentre as áreas amostradas, o DMG da mata não diferiu significativamente do pastoreio rotacionado, 2,8 e 2,7 mm respectivamente (Figura 1). O cultivo de abacaxi-aipim apresentou o menor valor de DMG (0,95 mm) e foi diferente significa-

tivamente em relação aos outros usos pelo teste de médias Dunnett a 5% (Figura 1).

Segundo Castro Filho (2002), o DMG é uma estimativa do tamanho da classe de agregado mais frequente no solo. Os baixos valores de DMG do uso abacaxi-aipim podem estar relacionados ao tipo de manejo empregado. Este uso apresenta um manejo tradicional do solo utilizando aração e gradagem, contribuindo assim para uma perda da qualidade física do solo em relação aos outros usos, embora sejam formações vegetais bem distintas sob o ponto de vista ecológico.

O uso pastoreio-rotacionado e mata também apresentaram os maiores valores para todos os outros índices analisados, apesar de não apresentarem diferença significativa como o DMG (Tabela 1).



**Figura 1.** Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados nos diferentes usos do solo. Barras correspondem à média. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Dunnett a 5%.

**Tabela 1.** Índices de estabilidade de agregados sob diferentes usos na região de São Francisco de Itabapoana-RJ.

Índices de agregação	Mata (Referência)	Pastoreio Rotacionado	Abacaxi-Aipim
DMP (mm)	2,94	2,92	2,22
Macroagregados (%)	98,47	97,75	77,76
Microagregados (%)	1,53	2,25	22,24
IEA (%)	92,28	91,11	58,75

Nota: os valores representam as médias dos usos. Para os índices apresentados na tabela não houve diferença significativa pelo teste de comparações múltiplas (Dunnnett).

A aproximação dos valores dos índices de agregação entre mata e pastoreio-rotacionado pode ser explicada, pois na mata há o incremento de matéria orgânica que, segundo Tisdall e Oades (1982), atua na formação e estabilização de agregados por meio de polímeros orgânicos que se ligam às superfícies inorgânicas por intermédio de cátions polivalentes e polímeros hidroximetálicos, formando complexos organominerais. No pasto, a associação do binômio adição de matéria orgânica via renovação do sistema radicular e a ação mecânica das raízes fasciculadas contribuem positivamente para a estrutura física do solo (SILVA; MIELNICZUK, 1997).

Agregação do solo e acúmulo de carbono orgânico são dois fenômenos intrinsecamente ligados. Solos sob vegetação natural e sistemas de manejo de conservação geralmente possuem maiores índices de agregação e carbono orgânico total (COT) nas camadas superficiais em relação aos solos sob manejo intenso ou cultivos convencionais. Segundo Fontana et al. (2010), num estudo sobre índices de agregação e substâncias húmicas, sob os usos de mata, pasto e cana, em Latossolo Amarelo e Argissolo Amarelo de tabuleiros costeiros, tanto o DMP quanto o COT tendem a diminuir da mata para a cana, independentemente do solo.

Nesse sentido, a sequência (abacaxi-aipim > pastoreio-rotacionado > mata) sugere uma diminuição da intensidade de perturbação do solo. Este resultado contrasta com o encontrado por Fontana et al. (2010), quando o sistema perturbado (canavial) apresentou maiores valores de DMG. De forma inversa, a porcentagem de microagregados tendeu a aumentar, sobretudo em solo de

cultivo de abacaxi-aipim em função da ruptura dos macroagregados. Um modelo conceitual sugerindo um “ciclo de vida” dos macroagregados foi sugerido por Six et al. (2000), que inclui a proteção física, matéria orgânica particulada intra-agregado e a formação de microagregados dentro dos macroagregados.

Os processos que estabilizam os macroagregados, ou os que promovem a sua desagregação e a consequente formação de microagregados, podem ser de certa forma sintetizados na relação macro/microagregados. Na Figura 2, os dados mostram que a mata apresenta altos valores em comparação à sucessão abacaxi-aipim, tendo o pastoreio-rotacionado numa situação intermediária. Evidenciando assim que a perturbação do solo pode ser significativamente influenciada pelo manejo ou tipo de cultura, salientando aqui na relação macro/micro com diferença significativa (Figura 2).

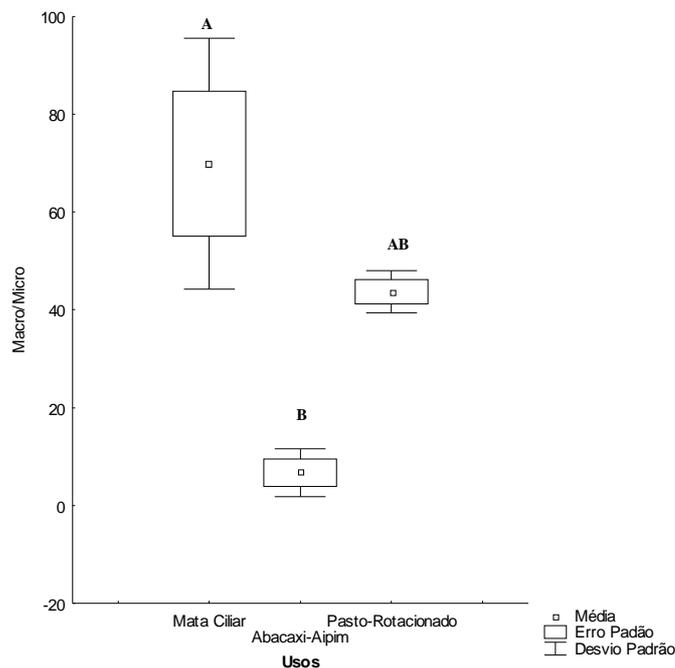


Figura 2. Relação entre macro e microagregados nos diferentes usos. Box seguidos de mesma letra não diferem entre si pelo teste Dunnett a 5%.

## Distribuição do carbono orgânico nas classes de agregados

Na Tabela 2 são apresentados os valores do carbono orgânico nos agregados (COARG). Os agregados de maior diâmetro em geral apresentaram os maiores valores de COARG. Entretanto, a mata foi exceção, sobretudo em relação à classe 0,25 - 0,125 mm que apresentou valores de COARG maiores do que todas as outras classes. Na mata, a classe 0,25 - 0,125 mm apresentou valores de COARG 27% maiores do que a classe > 2 mm. Ainda, a classe de microagregados (0,5 - 0,25 mm) foi apenas 0,5% menor do que a maior classe (> 2 mm). Estes resultados mostram a capacidade da mata em manter a estabilização do carbono nos diferentes compartimentos, devido ao não revolvimento do solo e a atividade de microrganismos (BARRETO et al., 2009).

No uso abacaxi-aipim, os maiores valores de COARG estão atrelados às maiores classes, 8,4 e 11,1 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente classes > 2 e 2-1 mm. Já para a classe de microagregados (0,25 - 0,125 mm), o COARG foi 40% menor do que as maiores classes.

O uso de pastoreio-rotacionado apresentou o maior valor de COARG entre todas as áreas para a maior classe (> 2 mm). Esse valor da maior classe foi 49% maior do que a classe de microagregado.

Para a classe de microagregados (0,25 - 0,125mm), a sequência de COARG seguiu a tendência: mata > pastoreio-rotacionado > abacaxi-aipim. Já para a maior classe de agregados (> 2 mm) essa tendência não foi verificada.

**Tabela 2.** Médias dos teores de carbono orgânico em (g kg<sup>-1</sup>) nas classes de agregados nos diferentes usos.

Classes de agregados em (mm)	Mata (Referência)	Pastoreio-Rotacionado	Abacaxi-Aipim
> 2	12,1	15,8	8,4
2 - 1	12,3	10,9	11,1
1 - 0,5	9,7	9,6	4,9
0,5 - 0,25	11,6	6,6	5,6
0,25 - 0,125	16,6	8,1	6,6

Nota: não houve diferença significativa pelo teste de comparações múltiplas (Dunnnett) a 5%.

Os maiores teores de COARG nos microagregados da mata e menor no uso abacaxi-aipim podem evidenciar hipóteses já assumidas em alguns trabalhos, onde a formação dos microagregados aconteceria dentro dos macroagregados através da ação da matéria orgânica fina e da proteção física proporcionada pelos macroagregados (SIX et al., 2000; TISDALL; OADES, 1982). Segundo Deneff et al. (2007), em um estudo avaliando a importância da estabilização preferencial do carbono nos microagregados que estão retidos dentro dos macroagregados em sistemas naturais ou aperfeiçoados num Latossolo, evidenciaram que a estabilização não está relacionada à grande quantidade de microagregados, mas sim à sua grande estabilidade e baixo turnover quando dentro dos macroagregados. Desta maneira, os dados mostram que houve redução geral dos teores de COARG em função do turnover de agregados, que impede a estabilização do C nos diferentes compartimentos em sistemas com muita interferência na estrutura do solo.

Por conseguinte, o valor médio mais alto de COARG apresentado na classe 0,25–0,125 mm, no uso abacaxi-aipim, pode estar evidenciando que mesmo com a ruptura dos macroagregados pela aragem, gradagem ou uso inapropriado do solo, os microagregados que estão livres, mas que possivelmente foram formados dentro dos macroagregados, ainda conseguem estocar carbono. Por isso, a classe 0,25–0,125 mm da floresta apresenta valores mais altos de carbono em relação à classe > 2 mm, provavelmente devido ao não revolvimento do solo florestal que favorece a estabilização do carbono nos microagregados internos aos macroagregados aumentando o “ciclo de vida”.

Finalizando, para usos com pouca interferência na estrutura do solo, como agroecossistemas sob plantio direto, ou pastagens bem manejadas, é amplamente difundido que há uma maior estocagem de carbono em diferentes compartimentos (MARTINS et al., 2009; SILVA; MIELNICZUK, 1997). Nossos dados corroboram com esses achados, na medida em que os teores de C nos agregados aumentaram na seguinte ordem: abacaxi-aipim > pastoreio-rotacionado > mata.

Estudos comparando floresta nativa com plantio convencional e direto evidenciaram que embora não haja diferença de COT entre os usos na profundidade de 0 - 20 cm, os estoques do carbono orgânico nos microagregados são sempre superiores no plantio direto em comparação ao plantio convencional (DENEFF et al., 2007).

### Análise discriminante

A análise das variáveis de uma forma conjunta é uma das formas mais atuais de perceber, e conseguir visualizar, as nuances ambientais ou efeitos de tratamentos. A Tabela 3 apresenta as contribuições das respectivas variáveis para a discriminação dos grupos. Esses valores podem ser entendidos como um coeficiente de correlação parcial. Os valores de *Partial Lambda* que se aproximam de 0,0 representaram perfeitamente o poder discriminatório da respectiva variável. A partir da entrada de todas as variáveis de índice de agregação na análise, são escolhidas as variáveis que mais se aproximam de zero para compor o modelo.

A variável macro/micro foi a que mais contribuiu, seguido do COARG, nas classes de agregado > 2 e 1 - 0,5 mm, finalmente temos o COARG na classe de 0,25 - 0,125 mm como as variáveis, entre todas, que tiveram seu *Partial Lambda* mais próximo de zero e contribuíram no total da discriminação (Tabela 3).

**Tabela 3.** Variáveis e coeficientes canônicos da função discriminante.

<i>Índices de Agregação</i>	Wilks' Lambda	Partial Lambda	Raiz 1	Raiz 2
macro/micro	0,114	0,300	-2,266	1,058
<i>Carbono Intra-Agregado</i>				
0,25- 0,125mm	0,057	0,604	2,094	-1,312
> 2mm	0,068	0,506	0,279	-3,041
1 - 0,5mm	0,059	0,581	-1,294	3,458
Auto Valores			9,651	1,725
Variância Explicada (%)			0,848	1,00

A partir das variáveis discriminadas na Tabela 3, foram calculados os coeficientes canônicos que vão compor as raízes da função discriminante que irão nortear a separação dos grupos (usos) a partir das variáveis do modelo.

Desta maneira, a primeira função discriminante é marcada pelas variáveis macro/micro e COAGR na classe de 0,25–0,125 mm, respectivamente - 2,26 e 2,09. A segunda função discriminante possui um forte peso na variável COARG nas classes de > 2 e 1–0,5 mm dos agregados do solo, respectivamente -3,04 e 3,45 (Tabela 3).

Com os valores do coeficiente canônico foi possível confeccionar a Figura 3, onde a raiz 2, representada pelo COARG nas classes de > 2 e 1–0,5 mm, foi capaz de separar o uso pastoreio-rotacionado dos outros usos.

A separação do pastoreio-rotacionado, em relação à mata pelo eixo da raiz 2 (Figura 3) possivelmente está relacionada com o conteúdo de matéria orgânica nos macroagregados, pois o pastoreio-rotacionado apresenta médias maiores que a mata para os teores de carbono na classe de agregados de > 2 mm e teores similares para a classe de 1–0,5 mm, conforme discutido anteriormente.

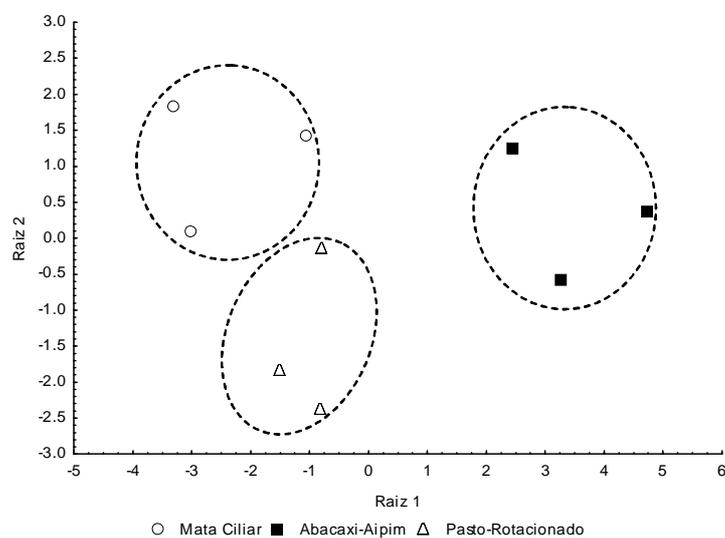


Figura 3. Distribuição dos usos em função da análise discriminante estimada (Tabela 3).

Teores mais altos de carbono nos agregados  $> 2$  mm podem estar relacionados ao grande aporte de matéria orgânica que possui áreas de pastoreio-rotacionado e a dinâmica das raízes, principalmente nos primeiros centímetros do solo, uma vez que os fungos micorrízicos arbusculares e a glomalina são os grandes responsáveis pela estabilidade dos agregados (TRUBER; FERNANDES, 2014; VIANA; SANTOS, 2010).

Essa característica do pastoreio-rotacionado, neste caso, parece estar agindo diretamente na classe de macroagregados, e possibilitando um incremento de carbono nos agregados, similar ao da mata, além de possibilitar sua preservação, uma vez que a natureza e as propriedades dos agregados são determinadas pela quantidade e qualidade dos resíduos grosseiros, das substâncias húmicas e pelo grau de interação com as partículas do solo (WEI, 2006).

Por outro lado, a raiz 1, representada pelas variáveis macro/microagregados e COARG nos agregados de 0,25 - 0,125 mm, foi capaz de separar o uso abacaxi-aipim dos demais usos (Figura 3). Este fato pode estar atrelado ao tipo de manejo empregado no cultivo.

O teor de COARG na classe 0,25 - 0,125 mm discriminada nesta análise pode estar refletindo o pouco incremento de matéria orgânica no solo pelo cultivo, uma vez que a matéria orgânica não foi suficiente para estabilizar agregados maiores, como foi o caso dos outros dois usos. Ademais, evidencia o quão sensível é o COARG associado a essa classe para o uso abacaxi-aipim e sua importância na avaliação de sistemas de manejo diferenciados do solo.

## Conclusões

Os índices de agregação foram influenciados pelos usos. Dentre todos os índices analisados, o mais sensível ao efeito dos usos na qualidade da estrutura física do solo foi a relação macro/micro.

A ordem de qualidade na estrutura solo foi: mata > pastoreio-rotacionado > abacaxi-aipim.

A estatística multivariada se mostrou uma ferramenta adequada em distinguir o efeito dos usos na qualidade e estrutura do solo, permitindo avaliar quais variáveis de agregação e teores de carbono foram importantes e merecem destaque em outros estudos.

Dentre as variáveis mais importantes, podemos destacar a relação entre a massa de macro e microagregados e os teores de COARG nas classes de macroagregados (> 2 e 1–0,5 mm). E na menor classe de microagregados (0,25 - 0,125 mm).

## Agradecimentos

Ao projeto “Manejo Sustentável de Recursos Naturais em Microbacias do Norte-Noroeste Fluminense” coordenado pela Secretaria de Agricultura do Estado do Rio de Janeiro e ao Global Environment Facility (GEF), pelo suporte de logística e financeiro. Assim como ao apoio em campo do técnico da Embrapa Solos, Fabiano Araújo e dos técnicos locais, João das Posses (EMATER) e do técnico agrícola Carlos André Ribeiro.

## Referências

- BARRETO, R. C.; MADARI, B. E.; MADDOCK, J. E. L.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES, E.; FRANCHINI, J.; COSTA, A. R. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO<sub>2</sub> in the surface layer of a rhodic ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 132, n. 3/4, p. 243-251, Aug. 2009.
- CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. de F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 65, n. 1, p. 45-51, Apr. 2002.
- CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 22, p. 527-538, 1998.
- CESÁRIO, F. V.; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BALIEIRO, F. de C. **Estabilidade de agregados em água: análise crítica e padronização**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. 7 p. (Comunicado técnico, 57).
- CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. e atual. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).
- DARAGHMEH, O. A.; JENSEN, J. R.; PETERSEN, C. T. Soil structure stability under conventional and reduced tillage in a sandy loam. **Geoderma**, v. 150, n. 1/2, p. 64-71, Apr. 2009.
- DENEFF, K.; SIX, J. Clay mineralogy determines the importance of biological versus abiotic processes for macroaggregate formation and stabilization. **European Journal of Soil Science**, v. 56, n. 4, p. 469-479, Aug. 2005.
- DENEFF, K.; SIX, J.; BOSSUYT, H.; FREY, S. D.; ELLIOTT, E. T.; MERCKX, R.; PAUSTIAN, K. Influence of dry-wet cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, n. 12/13, p. 1599-1611, Oct. 2001.

DENEF, K.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R. B.; SIX, J. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 39, n. 5, p. 1165-1172, May 2007.

ELMHOLT, S.; SCHJONNING, P.; MUNKHOLM, L. J.; DEBOSZ, K. Soil management effects on aggregate stability and biological binding. **Geoderma**, v. 144, n. 3/4, p. 455-467, Apr. 2008.

FIDALGO, E. C. C.; PRADO, R. B.; FERRAZ, R. P. D.; GONÇALVES, A. O.; DANTAS, M. E.; MANSUR, K. L.; MARTINS, A. D.; HISSA, H. R.; CALDEIRA, N. **Diagnóstico do meio físico das bacias hidrográficas do entorno da Mata do Carvão (BHMC), Noroeste do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 80 p. (Embrapa Solos. Documentos, 78).

FONTANA, A.; BRITO, R. J. de; PEREIRA, M. G.; LOSS, A. Índices de agregação e a relação com as substâncias húmicas em latossolos e argissolos de tabuleiros costeiros, Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 5, n. 3, p. 291-297, 2010.

HILLEL, D. Soil structure and aggregation. In: \_\_\_\_\_. **Introduction to environmental soil physics**. Burlington: Academic Press, 2003. p. 73-89.

HUSSAIN, I.; OLSON, K. R.; SIEMENS, J. C. Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil. **Soil Science**, v. 163, n. 12, p. 970-981, Dec. 1998.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy: Soil Science Society of America, 1986. pt. I, cap. 17, p. 425-442.

KING, L. C. A geomorfologia do Brasil oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p. 147-266, abr./jun. 1956.

MADARI, B. E. **Fracionamento de agregados**: procedimento para uma estimativa compartimentada do sequestro de carbono no solo. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004. 10 p. (Comunicado técnico, 22).

MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A.; TORRES, E.; ANDRADE, A. G. de; VALENCIA, L. I. O. No tillage and crop rotation effects on soil aggregation and organic carbon in a rhodic ferralsol from southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 80, n. 1/2, p. 185-200, Jan. 2005.

MARTINS, M. dos R.; CORÁ, J. E.; JORGE, R. F.; MARCELO, A. V. Crop type influences soil aggregation and organic matter under no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 104, n. 1, p. 22-29, Jun. 2009.

MACEDO, J. R. de; DONAGEMMA, G. K.; SCHULER, A.; PRADO, R. B.; POLI, R. de; SILVA, N. T. da; JUSTIN, R. **Caracterização da Adequação de usos Agrícolas em Solos Coesos na Microbacia do Brejo da Cobiça, Município de São Francisco de Itabapoana - RJ** In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 17., 2008, Rio de Janeiro. Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais. Rio de Janeiro: SBCS: Embrapa Solos: Embrapa Agrobiologia, 2008. (Embrapa Solos. Documentos, 101). Acompanha um CD com os trabalhos não acessíveis neste CD original. 4 p. (Embrapa Solos, Documentos, 101).

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 21, n. 1, p. 113-117, 1997.

SISTI, C. P. J.; SANTOS, H. P. dos; KOHHANN, R.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 76, n. 1, p. 39-58, Mar. 2004.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, n. 14, p. 2099-2103, Dec. 2000.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Soil Science American Journal**, v. 33, n. 2, p. 141-163, Jun. 1982.

TRUBER, P. V.; FERNANDES, C. Arbuscular mycorrhizal fungal communities and soil aggregation as affected by cultivation of various crops during the sugarcane fallow period. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 415-422, 2014.

VIANA, J. H. M.; SANTOS, E. D. dos. A fração glomalina e a estabilidade de agregados de diferentes Latossolos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 18., 2010, Teresina. **Novos caminhos para a agricultura conservacionista no Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte: Universidade Federal do Piauí, 2010. 1 CD-ROM.

WEI, C.; GAO, M.; SHAO, J.; SHIE, D.; PAN, G. Soil aggregate and its response to land management practices. **China Particuology**, v. 4, n. 5, p. 211-219, Oct. 2006.

**Embrapa**

---

**Solos**