



Estabilidade de agregados em função do modo da adubação orgânica e mineral no sistema plantio direto.

André Carlos Auler⁽¹⁾; Jucimare Romaniw⁽¹⁾; João Carlos de Moraes Sá⁽²⁾; Luiz Fernando Pires⁽²⁾; Aline Lima Gomes⁽³⁾; Ataíde Kapp Neto⁽³⁾.

⁽¹⁾ Doutorando em Agronomia; Universidade Estadual de Ponta Grossa; Ponta Grossa, Paraná; aulerac@gmail.com; ⁽²⁾ Professor Adjunto; Universidade Estadual de Ponta Grossa; ⁽³⁾ Graduando em Agronomia; Estadual de Ponta Grossa.

RESUMO: A fertilização de culturas agrícolas atua sobre a estrutura do solo. O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito do uso isolado ou em combinação de resíduos orgânicos de abatedouro (ROA) e fertilizante mineral (FM), aplicados a lanço ou em linha, sobre a agregação do solo. Para isso avaliou-se o diâmetro médio ponderado (DMP) e geométrico (DMG) das camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m de um Cambissolo Háplico de textura franco argilo arenosa, manejado sob sistema de plantio direto. Ainda, foram determinados os teores de areia, silte e argila e o estoque de carbono orgânico total (COT). Foram aplicados aos dados a análise de componentes principais (ACP) e a análise de agrupamento (AA). Os dois primeiros componentes principais (CP 1 e CP 2) de ambas as camadas de solo explicaram a maior parte da variância total ($\geq 70\%$). Em ambos os casos, o CP 1 foi representado pelos teores de argila e areia e o estoque de COT. Do mesmo modo que o CP 2 foi proveniente exclusivamente da combinação do DMP e DMG. A AA demonstrou que os tratamentos exercem efeitos distintos sobre a agregação entre as camadas do solo. O uso combinado de ROA e FM, independente da proporção utilizada dos fertilizantes, aumenta o diâmetro dos agregados do solo. O modo de aplicação dos fertilizantes atua de modo distinto entre as camadas de solo. Sendo que a aplicação e linha favorece a camada de 0,10-0,20 m e reduz a agregação em 0-0,10 m.

Termos de indexação: agregação do solo, resíduos orgânicos, adubação de culturas agrícolas.

INTRODUÇÃO

A fertilização de culturas agrícolas constitui-se de umas das principais práticas de manejo realizadas no solo. Fertilizantes minerais (FM) são os produtos mais utilizados para tal finalidade. Contudo, pela ampla disponibilidade e baixo custo, o uso de resíduos orgânicos de abatedouros (ROA) podem ser uma alternativa viável para a fertilização de culturas agrícolas (Romaniw et al., 2015).

O uso de ROA pode beneficiar não apenas a produção agrícola, mas também pode beneficiar a agregação do solo, similarmente ao que ocorre com outros resíduos orgânicos (Dunjana et al., 2012). Analogamente, FM também podem

influenciar sobre a estrutura do solo (Hati et al., 2008).

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito do uso isolado ou em combinação de ROA e FM, aplicados a lanço ou em linha, sobre a agregação do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Fazenda Escola Capão da Onça – FESCON (25°05'26" S, 50°03'37" O e 990 m de altitude), da Universidade Estadual de Ponta Grossa, em Ponta Grossa-PR. O solo estudado é classificado com um Cambissolo Háplico (Santos et al., 2013), o qual apresentava por ocasião da instalação do experimento 14,8; 247; 88 e 665 g kg⁻¹ de carbono orgânico total (COT), argila, silte e areia e densidade do solo de 1,35 Mg m⁻³, na camada de 0-0,20 m.

A partir da conversão da área de vegetação natural de campos para agroecossistema (1994), o solo foi cultivado sob SPD. Inicialmente foi cultivada a cultura do arroz, sucedida pelas culturas do feijão, milho e soja no período de primavera-verão, e aveia-preta, azevém anual e trigo durante o outono-inverno. Para o presente estudo, a sucessão foi trigo-feijão (2014-15).

Tratamentos e amostragens

O experimento foi instalado em novembro de 2009, em blocos ao acaso com três repetições. Os tratamentos foram o uso isolado ou em combinação de ROA e FM, com aplicação na superfície do solo, para a adubação de culturas agrícolas, mais um tratamento controle (T1), isto é, sem fertilização das culturas. Os tratamentos com o uso isolados dos fertilizantes doravante serão designados como T2 (100 % de FM) e T3 (100 % de ROA). As combinações entre ROA e FM foram: 25% ROA + 75% FM (T4); 50% ROA + 50% FM (T5) e 75% ROA + 25% FM (T6).

A dose de FM utilizada foi baseada na recomendação para cada cultura em cada ano, enquanto que as doses de ROA foram calculadas com a dose máxima de 2 Mg ha⁻¹. O ROA utilizado, proveniente da empresa Focan Indústria e Comércio (Carambeí – PR), foi derivado de um composto de



resíduos oriundos do abate e processamento de aves e suínos, lodos biológicos das lagoas de tratamento de resíduos líquidos e cinzas de caldeiras.

A partir de maio de 2013, as parcelas (40 m²) foram subdivididas. Nas subparcelas foram distribuídos os modos de aplicação dos fertilizantes: a lanço (lç) ou em linha (lh). Deste modo, passou-se a adotar o delineamento em blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas (5+1x2). Os sulcos para deposição dos tratamentos foram abertos, manualmente, paralelos à linha de semeadura.

Previamente a semeadura da cultura do feijão (janeiro de 2015), foram coletados monólitos de solo ($\approx 0,20 \times 0,15 \times 0,10$ m – largura, comprimento e espessura), nas camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, para o estudo da estabilidade de agregados em água.

Em laboratório, ainda úmidos, os monólitos de solo foram manualmente desagregados, seguindo os planos de fraqueza do solo, e passados entre as peneiras de 19 e 8 mm de abertura de malha. A separação das classes de agregados (8–19, 4–8, 2–4, 1–2, 0,5–1, 0,25–0,5 e 0,053–0,25 mm) foi realizada por tamisamento úmido. As massas e proporções de cada classe de agregados foram utilizadas para a determinação do diâmetro médio geométrico (DMG, mm) e do diâmetro médio ponderado (DMP, mm) (Castro Filho et al., 1998).

Alíquotas de solo dos monólitos foram secas (40 °C), destorroadas, moídas e peneiradas em malha de 2 mm. Posteriormente determinaram-se: os teores de areia, silte e argila pelo método da pipeta (Dane et al., 2002); e o teor COT (g kg⁻¹), pelo método da oxidação seca, utilizando um analisador elementar de C e N (modelo TruSpec CN, LECO®). Os dados de teor de TOC foram transformados para estoque de COT (Mg ha⁻¹).

Análise estatística

Aplicou-se aos dados de ambas as camadas de solo a análise de componentes principais (ACP) e análise de agrupamento (AA) (Manly, 2008). Atendidas as pressuposições de normalidade dos resíduos e homocedasticidade, os dados foram padronizados (média zero e variância um). A ACP e a AA foram realizadas com base nas matrizes de correlações e de distâncias de Mahalanobis das variáveis padronizadas, respectivamente. Utilizou-se como critério para seleção do número de componentes principais (CP) a proporção da variância acumulada (≥ 70 %) das novas variáveis geradas. Para a AA, considerou-se uma linha de corte em 60 % da dissimilaridade total dos dendrogramas como critério para o agrupamento. As análises estatísticas foram processadas com auxílio do software R, versão 3.0.2 (R Core Team,

2013).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em ambas as camadas de solo os tratamentos com aplicação dos fertilizantes a lanço foram os que obtiveram maiores valores de DMP e DMG (**Tabela 1** e **Figura 1**). Este efeito pode ser atribuído a maior mobilização do solo para a abertura da linha de deposição dos fertilizantes. Tal perturbação no solo pode desencadear dois fatores que contribuem para a redução da agregação do solo: (i) a ruptura de grandes macroagregados e (ii) a oxidação do COT que pode reduzir os agentes cimentantes no solo (Castro Filho et al. 1998; Bronick & Lal, 2005).

Tabela 1 – Diâmetro médio ponderado (DMP) e geométrico (DMG), carbono orgânico total (COT) e teores de areia, silte e argila das camadas 0-0,10 e 0,10-0,20 m de um Cambissolo Háplico em função do uso isolado ou em combinação de resíduos orgânicos de abatedouro e fertilizantes minerais

| Trat | DMP ----- mm | DMG ----- mm | COT Mg ha ⁻¹ | Areia ----- g kg ⁻¹ | Silte ----- g kg ⁻¹ | Argila ----- g kg ⁻¹ |
|------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| <i>Camada de 0-0,10 m</i> | | | | | | |
| T1 ⁽¹⁾ | 12,35 | 9,76 | 20,49 | 652 | 163 | 185 |
| T2(lç) | 12,83 | 11,60 | 20,47 | 665 | 155 | 180 |
| T2(lh) | 12,66 | 11,01 | 21,30 | 658 | 149 | 193 |
| T3(lç) | 12,88 | 11,51 | 23,52 | 652 | 168 | 180 |
| T3(lh) | 12,80 | 11,32 | 21,43 | 656 | 134 | 210 |
| T4(lç) | 12,91 | 11,64 | 21,13 | 668 | 129 | 203 |
| T4(lh) | 12,33 | 10,29 | 22,96 | 674 | 123 | 203 |
| T5(lç) | 13,36 | 12,87 | 21,19 | 662 | 143 | 195 |
| T5(lh) | 12,47 | 10,68 | 22,09 | 649 | 154 | 197 |
| T6(lç) | 12,09 | 9,63 | 22,14 | 669 | 138 | 193 |
| T6(lh) | 12,82 | 11,39 | 22,38 | 656 | 126 | 218 |
| <i>Camada de 0,10-0,20 m</i> | | | | | | |
| T1 | 11,83 | 9,17 | 18,50 | 708 | 86 | 206 |
| T2(lç) | 12,08 | 9,77 | 18,77 | 659 | 140 | 201 |
| T2(lh) | 12,53 | 10,77 | 19,13 | 675 | 125 | 200 |
| T3(lç) | 12,03 | 9,67 | 19,77 | 622 | 153 | 225 |
| T3(lh) | 12,17 | 9,89 | 18,86 | 672 | 108 | 220 |
| T4(lç) | 11,35 | 8,25 | 18,18 | 680 | 112 | 208 |
| T4(lh) | 12,30 | 10,22 | 18,95 | 669 | 130 | 201 |
| T5(lç) | 11,46 | 8,66 | 20,09 | 661 | 156 | 182 |
| T5(lh) | 12,16 | 9,98 | 18,63 | 654 | 158 | 188 |
| T6(lç) | 11,60 | 8,84 | 18,63 | 669 | 131 | 200 |
| T6(lh) | 12,32 | 10,29 | 18,36 | 676 | 122 | 202 |

⁽¹⁾T1 = tratamento controle (sem fertilização); T2 = 100 % de fertilizante mineral (FM); T3 = 100 % de resíduo orgânico de abatedouro (ROA); T4 = 25% ROA + 75% FM; T5 = 50% ROA + 50% FM; T6 = 75% ROA + 25% FM; lç = aplicação a lanço; lh = aplicação em linha adjacente a linha de semeadura.

Os dois primeiros CP explicaram 70,13 e 73,95 % da variância total das camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m, respectivamente (**Tabela 1** e **Figura 1**). De acordo com a direção dos vetores, a angulação entre eles e os coeficientes de correlação entre as



variáveis e os CP (**Tabela 2**), pode-se observar que em ambas as camadas de solos, o primeiro CP representa os efeitos sinérgicos do teor de argila e de COT, principalmente, e em menor proporção do teor de areia sobre o comportamento do solo. Já o segundo CP demonstra a combinação das variáveis relacionadas com a estrutura do solo (DMP e DMG). Tal organização em CP corrobora com as informações disponíveis a respeito dos mecanismos de agregação do solo (Tisdall & Oaedes, 1982).

Tabela 2 – Coeficientes de correlação entre as variáveis e os dois primeiros componentes principais (CP 1 e CP 2) das camadas de 0-0,10 e 0,10-0,20 m de um Cambissolo Háplico em função do uso isolado ou em combinação de resíduos orgânicos de abatedouro e fertilizantes minerais

| Variáveis | CP 1 | CP 2 | CP 1 | CP 2 |
|------------------------------|------------------|-------|-------------------|-------|
| | --- 0-0,10 m --- | --- | -- 0,10-0,20 m -- | --- |
| DMP ⁽¹⁾ | 0,09 | -0,99 | -0,31 | 0,94 |
| DMG ⁽²⁾ | 0,01 | -0,99 | -0,36 | 0,91 |
| COT ⁽³⁾ | -0,37 | 0,10 | -0,76 | -0,28 |
| Areia | -0,62 | 0,14 | 0,89 | 0,11 |
| Silte | 0,98 | 0,08 | 0,11 | 0,35 |
| Argila | -0,83 | -0,19 | -0,90 | -0,30 |
| Autovalor ⁽⁴⁾ | 2,40 | 2,22 | 2,66 | 2,22 |
| Variância ⁽⁵⁾ (%) | 36,34 | 33,69 | 40,35 | 33,60 |

⁽¹⁾DMP = diâmetro médio ponderado. ⁽²⁾DMG = diâmetro médio geométrico. ⁽³⁾COT = carbono orgânico total. ⁽⁴⁾Autovalor = autovalor do componente principal. ⁽⁵⁾Variância = porcentagem da variância total explicada pelo componente principal.

Visando a melhor distinção dos tratamentos, realizou-se complementarmente a ACP a análise de agrupamento (AA). Na camada de 0-0,10 m foram formados quatro grupos, em que três deles foram representados por três tratamentos específicos [T1, T2(lç) e T3(lç)] e o quarto grupo corresponde aos tratamentos com o uso combinado de ROA e FM, aplicados tanto a lanço como em linha, e os tratamentos com o uso isolado de ROA e FM aplicados em linha (**Figura 2a**).

Na camada de 0,10-0,20 m formaram-se cinco grupos em que quatro desses também representam tratamentos específicos [T1, T4 (lh), T5(lh) e T6(lh)] e o quinto grupo corresponde a todas as combinações de ROA e FM aplicados a lanço e os tratamentos com o uso isolado de ROA e FM aplicados tanto a lanço como em linha (**Figura 2b**).

Os grupos formados pela AA, em ambas as camadas de solo, demonstram que a hipótese levantada para a ACP é mais complexa. Para a camada de 0-0,10 m a distinção dos tratamentos com uso isolado de ROA e FM aplicados a lanço, demonstra que não apenas as variáveis da textura e do estoque de COT influenciam sobre a estrutura do solo (**Figura 2a**). Possivelmente, as alterações no pH e na atividade da iônica, na dinâmica do sistema radicular podem ser uma das variáveis que também

atuam sobre a agregação solo. Resultados similares a estes foram observados por Hati et al. (2008).

Porém, a distinção dos tratamentos com as combinações de ROA e FM aplicados em linha, os quais que proporcionaram maiores DMP e DMG na camada de 0,10-0,20 m (**Figura 2b** e **Tabela 1**), podem estar relacionados com um possível incremento na atividade microbiana do solo (Hati et al., 2008). Six et al. (2004) revisam sobre diferentes formas de como a atividade microbiana favorece a agregação do solo.

CONCLUSÕES

O uso combinado de ROA e FM, independente da proporção utilizada dos fertilizantes, aumenta o diâmetro dos agregados do solo.

O modo de aplicação dos fertilizantes atua de modo distinto entre as camadas de solo. Sendo que a aplicação e linha favorece a camada de 0,10-0,20 m e reduz a agregação em 0-0,10 m.

AGRADECIMENTOS

À CAPES e ao CNPq pela concessão das bolsas de estudos e de produtividade em pesquisa.

REFERÊNCIAS

BRONICK, C. J. & LAL, R. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124:3-22, 2005.

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*, 22:527-538, 1998.

DANE, J. H.; TOPP, C. G.; CAMPBELL, G. S. (Eds). *Methods of soil analysis: Part 4 – Physical methods*. 3.ed. Madison: Soil Science Society of America, 2002. 1692p.

DUNJANA, N.; NYAMUGAFATA, P.; SHUMBA, A. et al. Effects of cattle manure on selected soil physical properties of smallholder farms on two soils of Murewa, Zimbabwe. *Soil Use and Management*, 28:221-228, 2012.

HATI, K. M.; SWARUP, A.; MISHRA, B. et al. Impact of long-term application of fertilizer, manure and lime under intensive cropping on physical properties and organic carbon content of an Alfisol. *Geoderma*, 148:173-179, 2008.

MANLY, B. F. J. *Métodos estatísticos multivariados: uma introdução*. 3.ed. Porto Alegre: Bookman, 2008. 229p.

R Core Team. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria, 2013.



ROMANIW, J.; SÁ, J. C. M.; PADILHA, A. P. et al. Carbon dynamics in no-till soil due to the use of industrial organic waste and mineral fertilizer. *Revista Ciência Agrônômica*, 46:477-487, 2015.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S. et al. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil and Tillage Research*, 79:7-31, 2004.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. et al. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. 353 p.

TISDALL, J. M. & OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *Journal of Soil Science*, 33:141-163, 1982.

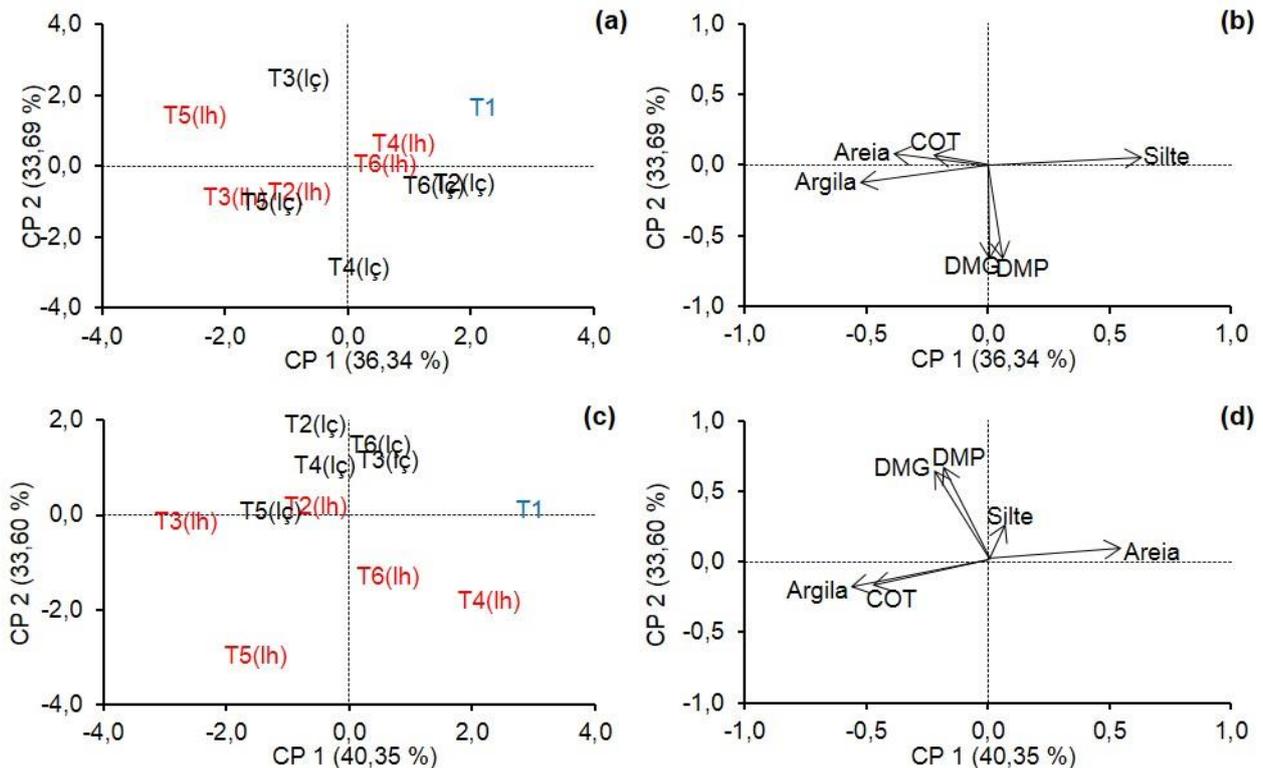


Figura 1 – Biplots dos dois primeiros componentes principais (CP 1 e/ CP 2) das camadas de 0-0,10 (a, b) e 0,10-0,20 m (c, d) de um Cambissolo Háplico em função do uso isolado ou em combinação de resíduos orgânicos de abatedouro e fertilizantes minerais, considerando variáveis relacionadas com a estrutura do solo: diâmetro médio ponderado (DMP) e geométrico (DMG), teores de areia, silte e argila e estoque de carbono orgânico total (COT). T1 = tratamento controle (sem fertilização); T2 = 100 % de fertilizante mineral (FM); T3 = 100 % de resíduo orgânico de abatedouro (ROA); T4 = 25% ROA + 75% FM; T5 = 50% ROA + 50% FM; T6 = 75% ROA + 25% FM; lç = aplicação a lanço; lh = aplicação em linha adjacente a linha de semeadura.

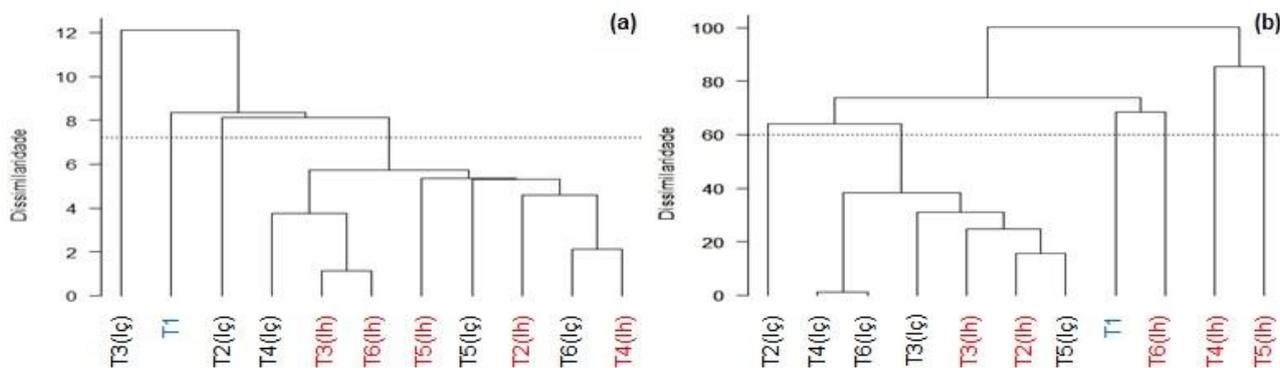


Figura 2 – Dendrogramas das camadas de 0-0,10 (a) e 0,10-0,20 m (b) de um Cambissolo Háplico em função do uso isolado ou em combinação de resíduos orgânicos de abatedouro e fertilizantes minerais, considerando variáveis relacionadas com a estrutura do solo: diâmetro médio ponderado e geométrico, teores de areia, silte e argila e estoque de carbono orgânico total. T1 = tratamento controle (sem fertilização); T2 = 100 % de fertilizante mineral (FM); T3 = 100 % de resíduo orgânico de abatedouro (ROA); T4 = 25% ROA + 75% FM; T5 = 50% ROA + 50% FM; T6 = 75% ROA + 25% FM; lç = aplicação a lanço; lh = aplicação em linha adjacente a linha de semeadura. Linha tracejada indica o critério de agrupamento em 60% da dissimilaridade.