

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

DANILO ANDRADE SANTOS

**ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE
BIOCHARS EM SOLOS DE PASTAGENS DEGRADADAS DO SUL DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

ALEGRE
2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

DANILO ANDRADE SANTOS

**ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE
BIOCHARS EM SOLOS DE PASTAGENS DEGRADADAS DO SUL DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

ALEGRE
2014

DANILO ANDRADE SANTOS

**ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE
BIOCHARS EM SOLOS DE PASTAGENS DEGRADADAS DO SUL DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos

ALEGRE
2014

A553e Santos, Danilo Andrade, 1987-
Estabilidade de agregados em resposta à aplicação de biochars em solo de pastagens degradadas do sul do Estado do Espírito Santo / Danilo Andrade Santos. – 2014.
66 f. : il.

Orientador: Renato Ribeiro Passos.

Coorientadores: Hugo Alberto Ruiz; Liovando Marciano da Costa.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Carvão Vegetal. 2. Solos – agregação. 3. Áreas degradadas. 4. Pastagens. I. Passos, Renato Ribeiro. II. Ruiz, Hugo Alberto. III. Costa, Liovando Marciano da. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

CDU: 63

DANILO ANDRADE SANTOS

**ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE
BIOCHARS EM SOLOS DE PASTAGENS DEGRADADAS DO SUL DO
ESTADO DO ESPÍRITO SANTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciência Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 28 de maio de 2014

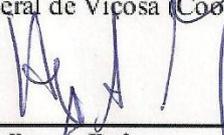
COMISSÃO EXAMINADORA



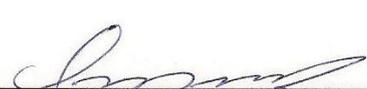
Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos
Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (Orientador)



Prof. Dr. Liovando Marciano da Costa
Universidade Federal de Viçosa (Coorientador)



Prof. Dr. Hugo Alberto Ruiz
Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (Coorientador)



Prof. Dr. Otacilio José Passos Rangel
Instituto Federal do Espírito Santo

Aos meus pais, Crescêncio Sales de Andrade (*in memoriam*) e Maria Elza dos Santos.

Aos meus irmãos e amigos, Patrícia Andrade Santos, José Antero Borges Andrade e José Aloisio Borges Andrade.

À minha princesa, Jéssica Lopes Tintori.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Dr. Renato Ribeiro Passos pela orientação e parceria, desde os tempos de graduação, e que com certeza é um grande responsável pela minha formação.

Aos meus Coorientadores, Prof. Dr. Liovando Marciano da Costa e Prof. Dr. Hugo Alberto Ruiz, pela parceria, sugestões e orientação.

Ao Prof. Dr. Felipe Vaz Andrade, pelas contribuições no desenvolvimento da pesquisa e por ter dado a oportunidade de iniciar os trabalhos no Laboratório de solo em meados de 2007.

Ao Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel, pela parceria iniciada no curso de Agroecologia e as importantes sugestões para finalização deste trabalho.

Aos amigos técnicos do laboratório de solos, Marcelo, Maraboti e Soninha, pela amizade e contribuição no andamento das atividades.

Aos amigos Celcino, Aymbire, João Ricardo, Matheus, Gabriel, Janice, pela amizade e disponibilidade em contribuir nas atividades.

Aos amigos de pós-graduação, que em nossas conversas também deram sua contribuição, em especial ao Paulo Henrique, Paulo Rocha, Caroline e o Fabricio.

Aos amigos do Laboratório de Rotina, Camila, Gêssica, Rayana, Liliane e Ana pela amizade e parceria.

Aos técnicos de laboratório do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Cláudio, Carlos Fonseca e Fernando.

Aos amigos, Natalia Figueiredo e ao Evair Siebeneichlerr, doutorandos do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa, pelo fornecimento do material de eucalipto.

À minha família, pelo apoio e ensinamentos.

À minha namorada, Jéssica Lopes Tintori, pela companhia, sugestões e os almoços tão saborosos enquanto estudávamos.

À Diretora do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES) de Alegre-ES, Sr^a Maria Valdete Santos Tannure, por ter disponibilizado veículo e motorista do IFES, viabilizando a vinda do Prof. Liovando Marciano da Costa da Universidade Federal de Viçosa para participação da banca de defesa de minha dissertação.

RESUMO

Materiais orgânicos parcialmente carbonizados, mais comumente conhecidos pela denominação biochars, têm chamado a atenção da Ciência do Solo para a compreensão dos seus efeitos sobre as propriedades dos solos. O presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da adição de doses de biochars de bagaço de cana-de-açúcar, colmo de capim-elefante e caule de eucalipto, sobre a estabilidade de agregados em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo e um Cambissolo Háplico de áreas de pastagens degradadas, sob dois intervalos de ciclos de umedecimento e secagem em um delineamento em blocos casualizados, com três repetições, em um arranjo fatorial $(2 \times 3 \times 5 \times 2) + 4$, cujos fatores foram: duas classes de solo (Cambissolo e Latossolo); três biochars de diferentes origens (caule de eucalipto, bagaço de cana-de-açúcar e colmo de capim-elefante); cinco doses de biochars: relações volume de solo por volume de biochar para um total de 200 cm^3 , equivalentes a: 160:1, 80:1, 40:1, 20:1, 10:1; e dois intervalos de tempo (42 e 84 dias) relativos aos ciclos de umedecimento e secagem. Adicionaram-se ainda quatro tratamentos sem a adição dos biochar: Cambissolo – 42 dias, Cambissolo – 84 dias; Latossolo – 42 dias e Latossolo – 84 dias, que serviram de testemunha, totalizando 192 unidades experimentais. Os tratamentos foram submetidos aos ciclos de umedecimento e secagem, com temperatura $\pm 25 \text{ }^\circ\text{C}$. A quantidade de água perdida em uma semana foi determinada por gravimetria e repostada até atingir os níveis, preestabelecidos no extrator de placa porosa em umidade equivalente à tensão de 20 kPa. Ao final dos 42 e 84 dias, as amostras foram analisadas quanto à distribuição dos agregados por classe de tamanho e a estabilidade de agregados, a partir dos índices de diâmetro médio geométrico (DMG) e do diâmetro médio ponderado (DMP) após separação em via úmida e seca. Os dados foram submetidos à análise de variância para obtenção da soma dos quadrados dos resíduos e posteriores cálculos dos contrastes para os fatores qualitativos e à análise de regressão para os fatores quantitativos. Os resultados experimentais mostraram que a agregação de ambos os solos foi favorecida com os ciclos de umedecimento e secagem, sendo as respostas em agregação dos solos diferenciada segundo a combinação solo, tipo e dose de biochar e tempo, segundo o método utilizado para a separação dos agregados. Em geral, há predominância de agregados nas classes de maior diâmetro médio. Na separação dos agregados pelo método via seca, o Cambissolo apresentou maior agregação em relação ao Latossolo, contudo, na separação via úmida, o Latossolo apresentou maior proporção de macroagregados. A utilização de biochar de bagaço de cana-de-açúcar proporcionou maior estabilidade de agregados separados por via seca em relação aos biochars de colmo de capim-elefante e caule

de eucalipto. A estabilidade de agregados separados por via úmida foi superior quando houve presença do biochar de caule de eucalipto em relação aos biochars de bagaço de cana-de-açúcar e colmo de capim-elefante. Foram obtidos ajustes de equações de regressão diferenciados para os valores de DMG e DMP dos agregados em função dos volumes de biochars, obtidos em ambos os solos e métodos de separação, sendo que o peneiramento via seco permitiu melhores ajustes.

Palavras-chave: carvão vegetal, agregação do solo, áreas degradadas, pastagens.

ABSTRACT

Partially charred organic materials, most commonly known as biochars, has attracted the attention of Soil Science to understanding its effects on soil properties. This study aimed to evaluate the effects of adding biochars eucalyptus, sugar cane bagasse and stalks of elephant grass on aggregate stability in samples of an Cambisol (Inceptisol) and an Latosolo (Oxisol) in two intervals, 42 days and 84 days, corresponding to cycles of wetting and drying. The experiment was conducted in the laboratory in a randomized complete block design with three replications in a factorial arrangement (2 x 3 x 5 x 2) + 4, whose factors were: two classes of soil (Cambisol and Latosol); three biochars from different sources (stem of eucalyptus, sugarcane bagasse, and stem of elephantgrass); five doses of biochar: relations soil volume per volume of biochar for a total of 200 cm³ equivalents: 160:1, 80:1, 40:1, 20:1, 10:1; and two time intervals (42 to 84 days), corresponding the cycles of wetting and drying. Added further four control treatments, without the addition of biochar: Cambisol - 42 days Cambisol - 84 days; Latosol - 42 days and Latosol - 84 days, totaling 192 experimental units. The treatments were subjected to cycles of wetting and drying with temperature +/- 25 ° C. The amount of water lost in one week was determined gravimetrically and reset to reach levels previously established on the porous plate extractor moisture equivalent to the tension of 20 kPa. At the end of 42 and 84 days samples were analyzed for aggregate stability, with the indices of geometric mean diameter (GMD) and mean weight diameter (MWD) after separation into wet and dry. Data were subjected to analysis of variance to obtain the sum of squared residuals and subsequent calculations of contrasts for qualitative factors and regression analysis for quantitative factors. The experimental results showed that the aggregation of both soils was favored with the cycles of wetting and drying and responses in soil aggregation differentiated according to combination between soil, type and volume of biochar, and time, according to the method used for the separation of aggregates. In general, there is a predominance of aggregates classes with higher diameter. In the separation of aggregates by dry method, the Cambisol showed greater aggregation in the Latosol, however, in separating wet method, the Latosol showed higher proportion of macroaggregates. The use of biochar from sugarcane bagasse provided greater stability of aggregates, in the method separated by dry, compared to biochars stem of elephantgrass and stem of eucalyptus. The stability of aggregates separated by wet was higher when there was presence of biochar stem of eucalyptus regarding biochars of sugarcane bagasse and stem of elephantgrass. Different adjustment equations was obtained for values of DMG and DMP of aggregates, about on the

volumes of biochars applied, in both soils and separation methods, while the better regression fits were obtained to method separated by dry.

Keywords: charcoal, soil aggregation, degraded areas, pastures.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Caracterização física ¹ dos solos	16
Tabela 2	Caracterização química ¹ dos solos.....	16
Tabela 3	Caracterização química elementar ¹ e razão atômica das concentrações de H/C e O/C dos biochars	17
Tabela 4	Valores de COT, relação COT/C, pH em H ₂ O e características físicas dos biochars ¹	18
Tabela 5	Massas equivalentes dos solos e biochars, em gramas, utilizados nos tratamentos para um total de 200 cm ³	19
Tabela 6	Conteúdo de água retida nos tratamentos ¹ sob tensão equivalente a 20 kPa.....	20
Tabela 7	Contrastes ortogonais ¹ usados na avaliação dos índices de agregação, considerando os diferentes solos, biochars e intervalos de tempo	22
Tabela 8	Conteúdo médio de água, em m ³ m ⁻³ , evaporada semanalmente, das amostras de Cambissolo sob doses de biochars, em dois períodos experimentais (42 e 84 dias) e proporção (%) de água evaporada em relação ao conteúdo de água equivalente a tensão de 20 kPa.....	23
Tabela 9	Conteúdo médio de água, em m ³ m ⁻³ , evaporada semanalmente, das amostras de Latossolo sob doses de biochars, em dois períodos experimentais (42 e 84 dias) e proporção (%) de água evaporada em relação ao conteúdo de água equivalente a tensão de 20 kPa.....	24
Tabela 10	Valores de diâmetro médio (DM) associados à proporção máxima (PM) de agregados, obtidos após a separação por via seca, das amostras de Cambissolo nas diferentes doses dos biochars, considerando o tempo de avaliação.....	37
Tabela 11	Valores de diâmetro médio (DM) associados à proporção máxima (PM) de agregados, obtidos após a separação por via seca, das amostras de Latossolo nas diferentes doses dos biochars, considerando o tempo de avaliação.....	38
Tabela 12	Valores médios dos índices de DMG e DMP do Cambissolo, considerando os diferentes tipos e doses de biochars, intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem e métodos de separação de agregados.....	40
Tabela 13	Valores médios dos índices de DMG e DMP do Latossolo, considerando os diferentes tipos e doses de biochars, intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem e métodos de separação de agregados.....	41

Tabela 14 Contrastes obtidos para os índices de agregação (DMG e DMP) e suas significâncias, considerando os diferentes solos, biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem.....	42
Tabela 15 Valores de pH em H ₂ O e Δ pH em Latossolo submetido à aplicação de diferentes tipos e volumes ¹ de biochars	51

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Distribuição do tamanho de partículas dos biochars..... 18
- Figura 2** Distribuição das classes de agregados, obtidas por separação via seca, em Cambissolo submetido à aplicação de diferentes tipos e doses de biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem.26
- Figura 3** Distribuição das classes de agregados, obtidas por separação via seca, em Latossolo submetido à aplicação de diferentes tipos e doses de biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem.....27
- Figura 4** Distribuição das classes de agregados, obtidas por separação via úmida, em Cambissolo submetido à aplicação de diferentes tipos e doses de biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem28
- Figura 5** Distribuição das classes de agregados, obtidas por separação via úmida, em Latossolo submetido à aplicação de diferentes tipos e doses de biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem29
- Figura 6** Proporção dos agregados obtidos por peneiramento via seca das amostras de Cambissolo + biochar de bagaço de cana-de-açúcar após 42 e 84 dias de incubação em relação ao diâmetro médio dos agregados 31
- Figura 7** Proporção dos agregados obtidos por peneiramento via seca das amostras de Cambissolo + biochar de colmo de capim-elefante após 42 e 84 dias de incubação em relação ao diâmetro médio dos agregados.32
- Figura 8** Proporção dos agregados obtidos por peneiramento via seca das amostras de Cambissolo + biochar de caule de eucalipto após 42 e 84 dias de incubação em relação ao diâmetro médio dos agregados.33
- Figura 9** Proporção dos agregados obtidos por peneiramento via seca das amostras de Latossolo + biochar de bagaço de cana-de-açúcar após 42 e 84 dias de incubação em relação ao diâmetro médio dos agregados. 34
- Figura 10** Proporção dos agregados obtidos por peneiramento via seca das amostras de Latossolo + biochar de colmo de capim-elefante após 42 e 84 dias de incubação em relação ao diâmetro médio dos agregados.35
- Figura 11** Proporção dos agregados obtidos por peneiramento via seca das amostras de Latossolo + biochar de caule de eucalipto após 42 e 84 dias de incubação em relação ao diâmetro médio dos agregados.36

Figura 12 Saldo de perdas e ganhos das classes de agregados, considerando diferentes solos e biochars, entre os intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem de 42 e 84 dias, obtidos por peneiramento via seca.....	45
Figura 13 Saldo de perdas e ganhos das classes de agregados, considerando diferentes solos e biochars, entre os intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem de 42 e 84 dias, obtidos por peneiramento via úmida.....	46
Figura 14 Diagrama de Van Krevelen para os biochars estudados.....	49
Figura 15 Valores de DMG dos agregados em função dos doses de biochars, obtidos por peneiramento via seca, para diferentes solos, biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem.....	54
Figura 16 Valores de DMP dos agregados em função de doses de biochars, obtidos por peneiramento via seca, para diferentes solos, biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem.....	55
Figura 17 Valores de DMG dos agregados em função dos doses de biochars, obtidos por peneiramento via úmida, para diferentes solos, biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem.....	57
Figura 18 Valores de DMP dos agregados em função dos doses de biochars, obtidos por peneiramento via úmida, para diferentes solos, biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	Matéria orgânica: papel e importância na formação e estabilidade de agregados do solo, com ênfase nos biochars	14
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1	Amostragem, preparo e caracterização das amostras dos solos.....	16
3.2	Preparo dos biochars	17
3.3	Montagem do experimento	18
3.4	Determinações experimentais	20
3.5	Determinações adicionais	21
3.6	Análises estatísticas	22
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1	Perdas de água durante os ciclos de umedecimento e secagem.....	23
4.2	Distribuição das classes de agregados por tamanho	25
4.3	Índices de agregação: diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP).....	39
5	CONCLUSÕES.....	59
6	REFERÊNCIAS	60
	APÊNDICE	65

1 INTRODUÇÃO

A associação da fração orgânica do solo com a fração mineral produz efeitos sobre os atributos químicos e físicos dos solos com importantes consequências à fertilidade do solo e à produtividade agrícola.

Em se tratando de estrutura e agregação do solo, a fração orgânica atua como componente importante na formação dos agregados, sendo então um agente importante nos diferentes modelos de agregados já propostos (EMERSON, 1959; EDWARDS & BREMNER, 1967; OADES, 1984; TISDALL & OADES, 1982; RESENDE, 1985; FERREIRA et al., 1999).

O efeito dos materiais orgânicos sobre a estrutura do solo tem sido avaliado tanto a partir de materiais mais específicos, como moléculas orgânicas isoladas (BASTOS et al., 2005), quanto o efeito de materiais menos específicos, como os diferentes materiais originados “*in situ*” (CASTRO FILHO et al., 1998).

Publicações recentes relatam importantes informações sobre a presença e incorporação de materiais orgânicos parcialmente carbonizados, mais comumente conhecidos pela denominação biochars, na estrutura dos agregados de diferentes solos, tanto com o intuito de entender melhor a interação com a fração mineral (GLASER et al., 2000; BRODOWSK et al., 2006; PRONK et al., 2012), quanto no intuito de verificar os efeitos que a adição desses materiais exercem sobre a estabilidade e agregação dos solos (BUSHER et al., 2010; AWAD et al., 2013; HERART et al., 2013; JIEN & WANG, 2013), além do efeito dessa associação sobre atributos e fenômenos relacionados com a estrutura do solo tais como: a densidade e porosidade do solo, a resistência à penetração e à retenção de água (TRYON, 1948; LEHMANN & JOSEPH, 2009; NOVAK et al., 2009; PEREIRA et al., 2012; MUHKERJEE & LAL, 2013; ABEL et al., 2013).

Os resultados em agregação nem sempre são coincidentes já que há uma complexa interação entre o tipo de solo avaliado, as características dos carvões (variáveis em função do tempo, taxa e temperatura de carbonização do material bem como o tipo e origem do mesmo), o tempo e os métodos empregados para avaliação.

Contudo, entende-se que para que haja agregação dos solos são necessários resumidamente dois processos: a aproximação e a cimentação das partículas envolvidas. Esses dois processos podem ser promovidos, dentre outros fatores, por ciclos de umedecimento e secagem e a adição de material orgânico.

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da adição de doses de biochars de caule de eucalipto, bagaço de cana-de-açúcar e colmo de capim-elefante sobre a distribuição e estabilidade de agregados em amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo e um Cambissolo Háplico de áreas de pastagens degradadas, sob dois intervalos de ciclos de umedecimento e secagem.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Matéria orgânica: papel e importância na formação e estabilidade de agregados do solo, com ênfase nos biochars

Diversos são os fatores que interferem na estabilidade e agregação do solo, destacando-se: o manejo do solo, os fatores climáticos, o tipo e teor de argila, a presença de cátions, carbonatos de cálcio, óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, além da matéria orgânica do solo (MOS) (BRONICK & LAL, 2005).

O grau de importância da MOS na estrutura do solo é determinado, não só pela sua inclusão como componente dos agregados, mas também devido a sua capacidade para agir como um agente cimentante, capacidade esta induzida pela interação com as partículas minerais ou ainda via promoção da aproximação e união das partículas, exercida pelas raízes das plantas e a fauna do solo (TISDALL & OADES, 1982; SIX et al., 2004; BRONICK & LAL, 2005). Cita-se ainda como mecanismo de estabilização, a presença de materiais orgânicos de caráter hidrofóbico, reduzindo então a velocidade de entrada da água nos poros dos agregados evitando a quebra destes pela expulsão instantânea do ar (SULLIVAN, 1990; BASTOS et al., 2005).

Em importante estudo em que avaliaram as relações entre os agregados e a MOS, Tisdall & Oades (1982) identificaram três grupos de agentes orgânicos envolvidos na estabilidade de agregados do solo, quanto à sua resistência à ação microbiana: os transicionais, os temporários e os persistentes.

O grupo de agentes transicionais é composto por polissacarídeos de rápida decomposição e está associado à estabilidade dos macroagregados (>0,25 mm) pelos microrganismos (ANGERS & MEHUYS, 1989). O grupo de agentes temporários é composto pelas hifas de fungos e raízes, que permanecem no solo por poucas semanas ou até mesmo anos, e estão associados à macroagregação. Por último, o grupo dos agentes persistentes é composto pelos materiais orgânicos humificados, principalmente associados aos óxidos de Fe e Al, constituindo, segundo Tisdall & Oades (1982) a parte mais importante na formação de microagregados (<0,25 mm) do solo.

Enquanto a macroagregação é controlada pelo manejo do solo, a estabilidade dos microagregados depende, dentre outros fatores, da natureza da ligação com agentes persistentes da matéria orgânica (TISDALL & OADES, 1982).

As pesquisas, nos últimos quinze anos, também têm publicado importantes investigações sobre a presença de materiais parcialmente carbonizados, mais

comumente conhecidos como biochars, na estrutura e formação de agregados de diferentes solos (GLASER et al., 2000; BRODOWSK et al., 2006; BUSHER et al., 2010; PRONK et al., 2012; CHIA et al., 2011; HERART et al., 2013; AWAD et al., 2013; JIEN & WANG, 2013), sendo que a participação dos biochars na formação de agregados do solo depende da interação destes com as partículas minerais e orgânicas.

Tais mecanismos de interação ainda não são claros. Com base na literatura sobre a interação entre a fração mineral e orgânica do solo, Joseph et al. (2010) levantam como hipóteses destas possíveis ligações envolvendo biochars serem resultado de: reações ácido-base com superfícies de diferentes grupos funcionais (COOH, C-OH, C = O, CO e NC), troca de ligantes, complexos com grupos funcionais OH ou COOH desprotonados e complexação de ácidos orgânicos multidentados com os íons metálicos na superfície dos biochars.

Dessa forma, determinados biochars, devido a suas características de alta estabilidade, sobretudo em função do desenvolvimento de estruturas aromáticas (SIEBENEICHLER, 2011; FIGUEREDO, 2012) e do potencial de interagirem com a superfície dos minerais do solo, quando estes possuem cargas acessíveis (LIANG et al., 2006; JOSEPH et al., 2010; LIN et al. 2012; QIAN & CHEN 2014), semelhantemente aos materiais humificados, poderiam se enquadrar na classificação de agentes persistentes, descrita por Tisdall & Oades (1982).

Contudo, os resultados em agregação, até então reportados, ainda são divergentes quanto à presença e ausência de efeitos quando da adição de biochars, sobretudo devido à variabilidade de fatores que interferem nos possíveis processos de interação biochar-fração mineral-fração orgânica, bem como as diferentes características dos biochars, ainda mais daqueles produzidos em laboratório cujas características são condicionadas em função do tempo e taxa de carbonização, material de origem, granulometria dos materiais, tempo de avaliação, tipo de solo, método de obtenção de dados bem como as condições de oxidação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Com a finalidade de estudar alternativas na recuperação de solos sob pastagens degradadas, foi realizado um experimento, em condições de laboratório, para avaliar o efeito dos ciclos de umedecimento e secagem sobre a ação de doses de biochars na agregação de solos de áreas de pastagens.

3.1 Amostragem, preparo e caracterização das amostras dos solos

Foram escolhidas duas áreas de pastagens degradadas na bacia do Rio Alegre, em Alegre-ES, no terço médio da encosta, sendo uma sob Cambissolo Háplico (Cambissolo) e outra sob Latossolo Vermelho-Amarelo (Latossolo), no nível 4 de degradação de solo, segundo classificação de Spain & Gualdrón (1988). Nessas pastagens, foram coletadas amostras de solo na profundidade de 20-40 cm, visando minimizar o efeito da matéria orgânica presente no solo, cujo teor é superior na camada superficial dos solos.

As amostras coletadas foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA) e caracterização física e química (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1 - Caracterização física¹ dos solos

Solos	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	Ds	Dp	PT	θ (20 kPa)
	-----g kg ⁻¹ -----				kg dm ⁻³	kg dm ⁻³	m ³ m ⁻³	m ³ m ⁻³
Cambissolo	456,1	153,5	122,0	268,4	1,33	2,57	0,58	0,251
Latossolo	225,0	92,3	63,8	618,9	1,07	2,55	0,48	0,385

¹Silte e argila: Método da pipeta -agitação lenta (Almeida et al. 2012); Ds = Densidade do solo determinada pelo método da proveta e Dp = Densidade de partículas determinada pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997); PT=1-(Ds/Dp); θ = umidade em volume/volume equivalente a tensão de 20 kPa.

Tabela 2 - Caracterização química¹ dos solos

Solos	pH H ₂ O	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	T	COT
		-----mg dm ⁻³ -----			-----cmol _c dm ⁻³ -----					%
Cambissolo	5,35	5,70	32,78	2,67	0,59	0,22	0,51	3,83	4,74	1,06
Latossolo	4,83	5,58	8,89	3,00	0,00	0,02	0,91	7,27	7,33	1,56

¹pH em H₂O (relação 1:2,5); K, Na = potássio e sódio trocáveis por fotometria de chama, após extração com Mehlich 1; Ca, Mg = cálcio e magnésio trocáveis por extração com cloreto de potássio e determinação em absorção atômica; Al = alumínio trocável extraído com KCl e determinação por titulação; H + Al = acidez potencial por extração com cloreto de cálcio e determinação por titulação; P = fósforo por colorimetria após extração com Mehlich 1; T (Capacidade de troca de cátions potencial) = (K/390)+(Na/230)+Ca+Mg+(H+Al) (EMBRAPA, 1997) e COT: carbono orgânico total por oxidação da matéria orgânica via úmida (Yeomans & Bremmer, 1988).

3.2 Preparo dos biochars

Para este estudo, foram utilizados três materiais de biochars de diferentes origens (caule de eucalipto, bagaço de cana-de-açúcar e colmo de capim-elefante). Os materiais de bagaço de cana-de-açúcar e colmo de capim-elefante foram colocados em cadinhos de 250 cm³ com tampa, e levados para mufla a 500 °C por 20 min, visando à efetiva carbonização sob deficiência em oxigenação. Decorrido esse período, a mufla era desligada, e ainda fechada, deixada resfriar por uma noite (12 h) até cerca de 100 °C e somente então os cadinhos com os biochars eram retirados. O biochar de caule de eucalipto foi obtido na Universidade Federal de Viçosa (UFV), sendo a temperatura utilizada para sua obtenção (500 °C), a mesma dos outros dois materiais. Ao final do processo, os biochars foram triturados em almofariz e passados em peneira de 0,210 mm a fim de aumentar a superfície de contato com a matriz dos solos.

Separaram-se então amostras de cada um destes biochars para determinação dos teores totais de C, N, H e O (Tabela 3) em analisador elementar (PerkinElmer 2400 Series II CHNS/O). A partir das concentrações de C, H e O foram calculadas as relações atômicas entre H/C e O/C e então elaborado o diagrama de Van Krevelen (1950).

Tabela 3 - Caracterização química elementar¹ e razão atômica das concentrações de H/C e O/C dos biochars

Biochars	C	N	H	O	H/C	O/C	Cinzas
	-----%-----						kg kg ⁻¹
Bagaço de cana	59,09	1,06	1,12	38,73	0,23	0,49	0,212
Capim-elefante	68,53	1,34	1,17	28,96	0,20	0,32	0,121
Eucalipto	75,04	0,71	2,34	21,91	0,37	0,22	0,007

¹Via analisador elementar: PerkinElmer 2400 Series II CHNS/O.

Determinaram-se ainda nos biochars: o carbono orgânico total (COT) pelo método de Yeomans & Bremmer (1988); o pH em água, a densidade aparente e a densidade de partículas adaptando-se o método proposto por Embrapa (1997) para solos. Calcularam-se então a proporção do carbono orgânico total em relação ao carbono elementar (COT/C) e a porosidade total (PT) (Tabela 4).

Tabela 4 – Valores de COT, relação COT/C, pH em H₂O e características físicas dos biochars¹

Biochars	COT	COT/C	pH H ₂ O	Db	Dp	PT
	-----%-----			kg dm ⁻³	kg dm ⁻³	m ³ m ⁻³
Bagaço de cana	43,2	73,2	7,94	0,33	1,50	0,78
Capim-elefante	35,8	52,3	5,79	0,50	1,69	0,70
Eucalipto	57,0	76,0	4,63	0,51	1,59	0,68

Yeomans & Bremmer (1988); pH em H₂O (relação 1:2,5); Db=densidade dos biochars utilizando o método da proveta e Dp=densidade de partículas dos biochars utilizando o método do balão volumétrico, ambos métodos adaptados de Embrapa (1997); PT=1-(Db/Dp).

Para avaliar a distribuição das partículas por tamanho, 50 gramas de cada material de biochar, passado em peneira de 0,210 mm, foram submetidas ao vibrador Produtest (Figura 1).

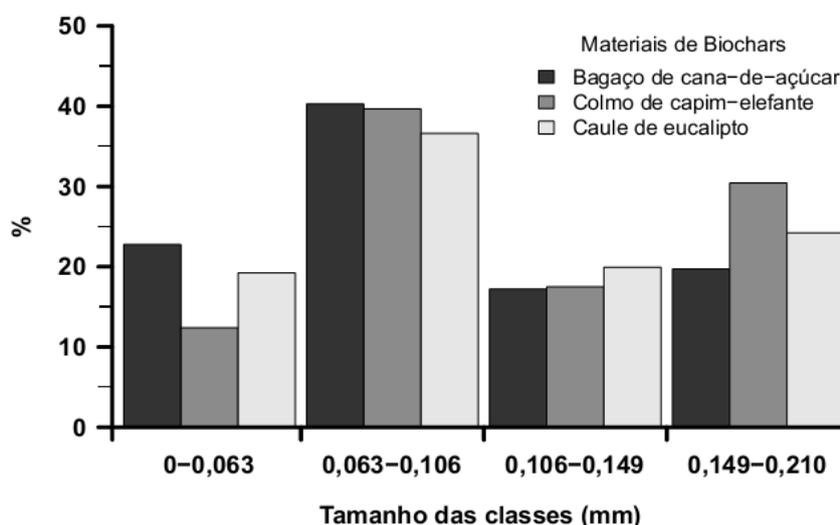


Figura 1 - Distribuição do tamanho de partículas dos biochars

3.3 Montagem do experimento

O experimento foi conduzido em laboratório em um delineamento em blocos casualizados, com três repetições, em um arranjo fatorial (2 x 3 x 5 x 2) + 4, cujos fatores foram: duas classes de solo (Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho-Amarelo); três materiais de biochar de diferentes origens (caules de eucalipto, bagaço de cana-de-açúcar e colmo de capim elefante); e cinco doses de biochar segundo as relações volume de solo por volume de biochar para um total de 200 cm³ equivalentes à 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1, e por último, dois intervalos de tempo (42 e 84 dias) relativos aos ciclos de umedecimento e secagem. Adicionaram-se ainda quatro tratamentos sem a adição dos biochar: Cambissolo – 42 dias, Cambissolo – 84 dias;

Latossolo – 42 dias e Latossolo – 84 dias, que serviram de testemunha, totalizando 192 unidades experimentais.

Os biochars, passados em peneira de 0,210 mm, foram homogeneizados na TFSA. A aplicação dos biochars nas amostras dos solos foi feita com base nas relações preestabelecidas de volume de solo por volume de biochars, a partir das respectivas densidades de cada solo (Tabela 1) e de cada biochar (Tabela 4), segundo os respectivos volumes preestabelecidos para cada nível (Tabela 5), num volume total de 200 cm³, utilizando-se recipientes plásticos de 250 cm³.

Tabela 5 - Massas equivalentes dos solos e biochars, em gramas, utilizados nos tratamentos para um total de 200 cm³

Partes (v/v)¹	Solo¹	160	80	40	20	10	200
	Biochar¹	1	1	1	1	1	0
		-----g-----					
Massa dos solos	Cambissolo	265,470	263,831	260,614	254,409	242,845	267,129
	Latossolo	212,690	211,377	208,799	203,828	194,563	214,019
		-----g-----					
Massa dos biochars	Bagaço de cana-de-açúcar	0,413	0,820	1,620	3,163	6,039	-----
	Colmo de capim-elefante	0,630	1,251	2,472	4,826	9,214	-----
	Caule de eucalipto	0,645	1,282	2,533	4,946	9,442	-----

¹Partes em volume de solo por parte em volume de biochar.

Adicionalmente, amostras desses tratamentos foram submetidas a uma tensão de 20 kPa, utilizando-se para isso um extrator de placa porosa, visando determinar a quantidade de água retida sob essa tensão em cada tratamento (Tabela 6).

Tabela 6 – Conteúdo de água retida nos tratamentos¹ sob tensão equivalente a 20 kPa

	Solo		Cambissolo					Latossolo				
	Partes (v/v) ¹	160:1	80:1	40:1	20:1	10:1	160:1	80:1	40:1	20:1	10:1	
Biochars	-----m ³ m ⁻³ -----											
Bagaço de cana-de-açúcar	0,267	0,261	0,280	0,287	0,293	0,410	0,422	0,413	0,398	0,408		
Colmo de capim-elefante	0,259	0,266	0,276	0,287	0,300	0,351	0,353	0,357	0,370	0,421		
Caule de eucalipto	0,288	0,296	0,295	0,314	0,350	0,402	0,402	0,405	0,395	0,417		

¹v/v = Partes em volume de solo por parte em volume de biochar em que 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1 são as proporções equivalentes à: 0,621 %; 1,235 %; 2,439 %; 4,762 %; 9,091 %, respectivamente, de doses de biochars aplicadas.

Os tratamentos foram submetidos a ciclos de umedecimento e secagem semanais à temperatura de ± 25 °C. Os recipientes plásticos de 250 cm³ contendo os tratamentos foram mantidos abertos para que houvesse a perda de umidade. A quantidade de água perdida semanalmente era determinada por gravimetria, registrada em planilha e repostada até atingir os níveis preestabelecidos no extrator de placa porosa de água retida sob tensão equivalente à 20 kPa para cada tratamento (Tabela 6). Ao final de cada intervalo de tempo (42 ou 84 dias), o re-umedecimento era suspenso e, após 15 dias (tempo necessário para que as amostras atingissem o equilíbrio com a umidade atmosférica), as amostras eram analisadas quanto às características físicas e de tamanho dos agregados do solo.

3.4 Determinações experimentais

Ao final de cada sequência de ciclos de umedecimento e secagem (42 dias e 84 dias), os tratamentos (solo + biochar) foram avaliados quanto à estabilidade de agregados pelo método indireto de peneiramento a seco. Para tanto, foram utilizadas cinco peneiras (2,00; 1,00; 0,5; 0,25 e 0,106 mm) mais o fundo do conjunto e um vibrador Produtest, agitando-se a amostra durante 5 min na graduação nº 5 do aparelho. Esse procedimento foi realizado para a separação de cinco classes de agregado: 2,0-1,0; 1,0-0,5; 0,5-0,25; 0,25-0,106; e <0,106 mm (material retido no fundo do conjunto de peneiras). A seguir, uma porção de cada amostra de agregados foi seca em estufa a 105°C para correção de seu peso em função da umidade residual em equilíbrio com o ambiente. De posse dos dados, calcularam-se o diâmetro médio ponderado (DMP) e o

diâmetro médio geométrico (DMG), segundo as equações descritas por Kemper & Rosenau (1986).

$$\text{DMP} = \sum_{i=1}^n x_i d_i \quad \text{e} \quad \text{DMG} = 10^{\frac{\sum_{i=1}^n x_i \log d_i}{n}}$$

em que,

x_i = quociente da massa de agregados retidos na peneira i sobre a massa total

d_i = diâmetro médio da fração (mm)

O outro método indireto de avaliação da estabilidade dos agregados utilizado foi o peneiramento por via úmida, ou estabilidade de agregados via úmida. Nessa análise, foi utilizada uma amostra de 25 g de agregados retidos previamente nas peneiras de 1,00; 0,5 e 0,25 mm, obtidos na separação via seca. A amostra de 25 g de agregados foi obtida, levando-se em consideração o peso ponderado de cada classe dos agregados (2,0-1,0 mm; 1,0-0,5 mm e 0,5-0,25 mm) em relação ao somatório total da massa dessas três classes. As amostras foram então pré-umedecidas, segundo as recomendações de umedecimento lento descritas por Kemper & Rosenau (1986), mantidas em repouso sob temperatura ambiente, por 15 min, permitindo-se a penetração lenta de água nos agregados, minimizando assim sua destruição pela rápida expulsão do ar quando imerso na água. Na sequência, a amostra pré-umedecida foi colocada num aparelho de oscilação vertical sobre um conjunto de peneiras de 1,00; 0,50; 0,25 e 0,106 mm de diâmetro, conforme descrito por Yoder (1936). Transcorridos 15 min de oscilação a 32 rotações por minuto, as amostras retidas em cada peneira foram transferidas para cápsulas de alumínio com o auxílio de jatos de água, as quais foram secas em estufa a 105 °C por um período de 48 h para posterior pesagem. A partir dos valores das massas obtidos para cada classe foram novamente calculados os índices de agregação: DMP e DMG.

3.5 Determinações adicionais

A fim de integrar informações que subsidiassem a discussão dos resultados, foram feitas determinações de pH em H₂O e pH em KCl e o cálculo de ΔpH nos tratamentos antes dos mesmos serem submetidos a ciclos de umedecimento e secagem.

3.6 Análises estatísticas

Os dados referentes aos índices de agregação DMG e DMP, obtidos por via seca e via úmida, foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o Software R 3.0 (2013), para obtenção da soma dos quadrados dos resíduos e posterior cálculo dos contrastes para os fatores qualitativos (Tabela 7). Os contrastes para comparações entre os biochars foram desenvolvidos tomando por base o conteúdo de carbono elementar destes (Tabela 3), em que o teor de carbono do biochar de caule eucalipto > biochar de colmo de capim-elefante > biochar de bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 7 - Contrastes ortogonais¹ usados na avaliação dos índices de agregação, considerando os diferentes solos, biochars e intervalos de tempo

Solo	Biochar ²	Tempo	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
Latossolo	B1	42 dias	1	1	-	2		-	-	-	-	-	-
Latossolo	B2	42 dias	1	1	-	-1	1	-	-	-	-	-	-
Latossolo	B3	42 dias	1	1	-	-1	-1	-	-	-	-	-	-
Cambissolo	B1	42 dias	-1	-	1	-	-	2	-	-	-	-	-
Cambissolo	B2	42 dias	-1	-	1	-	-	-1	1	-	-	-	-
Cambissolo	B3	42 dias	-1	-	1	-	-	-1	-1	-	-	-	-
Latossolo	B1	84 dias	1	-1	-	-	-	-	-	2	-	-	-
Latossolo	B2	84 dias	1	-1	-	-	-	-	-	-1	1	-	-
Latossolo	B3	84 dias	1	-1	-	-	-	-	-	-1	-1	-	-
Cambissolo	B1	84 dias	-1	-	-1	-	-	-	-	-	-	2	-
Cambissolo	B2	84 dias	-1	-	-1	-	-	-	-	-	-	-1	1
Cambissolo	B3	84 dias	-1	-	-1	-	-	-	-	-	-	-1	-1

¹C1 = Latossolo vs Cambissolo; C2 = 42 dias (Latossolo) vs 84 dias; C3 = 42 dias (Cambissolo) vs 84 dias; C4 = Bagaço de cana-de-açúcar vs Colmo de capim-elefante + Caule de eucalipto (42 dias – Latossolo); C5 = Colmo de capim-elefante vs Caule de eucalipto (42 dias – Latossolo); C6 = Bagaço de cana-de-açúcar vs Colmo de capim-elefante + Caule de eucalipto (42 dias – Cambissolo); C7 = Colmo de capim-elefante vs Caule de eucalipto (42 dias – Cambissolo); C8 = Bagaço de cana-de-açúcar vs Colmo de capim-elefante + Caule de eucalipto (84 dias – Latossolo); C9 = Colmo de capim-elefante vs Caule de eucalipto (84 dias – Latossolo); C10 = Bagaço de cana-de-açúcar vs Colmo de capim-elefante + Caule de eucalipto (84 dias – Cambissolo); C11 = Colmo de capim-elefante vs Caule de eucalipto (84 dias – Cambissolo).

²B1 = biochar de bagaço de cana-de-açúcar; B2= biochar de colmo de capim-elefante; B3 = biochar de caule de eucalipto.

Foram realizadas análises de regressão para os fatores quantitativos. Os modelos foram escolhidos com base na soma dos quadrados dos modelos completos, pelo coeficiente de determinação (R^2) e significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste t de Student.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Perdas de água durante os ciclos de umedecimento e secagem

A partir dos dados registrados referentes às perdas semanais de água foram elaboradas as Tabelas 8 e 9, em que são apresentadas as perdas médias de água por evaporação dos tratamentos estudados, nos períodos de 42 dias (seis semanas) e 84 dias (12 semanas), em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, e sua respectiva equivalência em percentagem com relação ao conteúdo de água retido à tensão de 20 kPa de cada tratamento (Tabela 6).

Tabela 8 - Conteúdo médio de água, em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, evaporada semanalmente, das amostras de Cambissolo sob doses de biochars, em dois períodos experimentais (42 e 84 dias) e proporção (%) de água evaporada em relação ao conteúdo de água equivalente a tensão de 20 kPa

Partes (v/v) ¹	42 dias						84 dias					
	160:1	80:1	40:1	20:1	10:1	Test	160:1	80:1	40:1	20:1	10:1	Test
-----Bagaço de cana-de-açúcar-----												
θ ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	0,112	0,118	0,111	0,119	0,115	0,105	0,112	0,116	0,117	0,124	0,126	0,101
%	42	45	40	41	39	42	42	44	42	43	43	40
-----Colmo de capim-elefante-----												
θ ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	0,106	0,115	0,118	0,104	0,113	0,105	0,12	0,114	0,11	0,115	0,107	0,101
%	41	43	43	36	38	42	46	43	40	40	36	40
-----Caule de eucalipto-----												
θ ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	0,110	0,104	0,121	0,129	0,135	0,105	0,113	0,091	0,109	0,098	0,11	0,101
%	38	35	41	41	39	42	39	31	37	31	32	40

¹v/v = Partes em volume de solo por parte em volume de biochar em que 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1 são as proporções equivalentes à: 0,621 %; 1,235 %; 2,439 %; 4,762 %; 9,091 %, respectivamente, de doses de biochar aplicada

Tabela 9 – Conteúdo médio de água, em $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$, evaporada semanalmente, das amostras de Latossolo sob doses de biochars, em dois períodos experimentais (42 e 84 dias) e proporção (%) de água evaporada em relação ao conteúdo de água equivalente a tensão de 20 kPa

Partes (v/v) ¹	42 dias						84 dias					
	160:1	80:1	40:1	20:1	10:1	Test	160:1	80:1	40:1	20:1	10:1	Test
	-----Bagaço de cana-de-açúcar-----											
θ ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,108	0,108	0,115	0,127	0,112	0,110	0,125	0,156	0,136	0,172	0,137	0,160
%	26	26	28	32	27	29	30	37	33	43	34	41
	-----Colmo de capim-elefante-----											
θ ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,113	0,108	0,122	0,126	0,111	0,110	0,160	0,167	0,148	0,178	0,193	0,160
%	32	31	34	34	26	29	46	47	42	48	46	41
	-----Caule de eucalipto-----											
θ ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	0,107	0,124	0,113	0,105	0,123	0,110	0,154	0,120	0,177	0,166	0,151	0,160
%	27	31	28	27	29	29	38	30	44	42	36	41

¹v/v = Partes em volume de solo por parte em volume de biochar em que 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1 são as proporções equivalentes à: 0,621 %; 1,235 %; 2,439 %; 4,762 %; 9,091 % respectivamente de doses de biochar aplicada

Observa-se que essas perdas variaram, em termos relativos, entre 26 e 47 %, sendo que os tratamentos sob Latossolo apresentaram menores perdas percentuais, em relação aos tratamentos sob Cambissolo, no primeiro período de avaliação (42 dias) e perdas percentuais semelhantes ao Cambissolo no segundo período de avaliação (84 dias).

Para a água evaporada em termos absolutos, verifica-se uma semelhança entre os solos nas primeiras semanas de avaliação (42 dias). Contudo, ao final da 12ª semana de avaliação (84 dias), é possível verificar maior perda absoluta de água nos tratamentos com Latossolo. Percebe-se, ainda, que o Latossolo apresentou maior conteúdo de água retido sob tensão de 20 kPa em relação ao Cambissolo, observado em sua caracterização física (Tabela 1) e quando recebeu a aplicação de diferentes doses de biochars (Tabela 6). Esse comportamento pode estar associado ao maior conteúdo de argila do Latossolo (Tabela 1), favorecendo maior retenção de água, mesmo a tensões mais baixas, quando prevalece o efeito de capilaridade (BEUTLER et al., 2002) Além disso, a estrutura granular dos latossolos pode favorecer a retenção de água intra-agregados. Ruiz & Carvalho (1998), avaliando a retenção de água em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico, observaram, que, em média, 79% da água encontrava-se no interior dos agregados e os restantes 21%, no espaço poroso interagregados.

4.2 Distribuição das classes de agregados por tamanho

Nas Figuras 2, 3, 4 e 5 percebe-se, independentemente do solo, da dose e tipo de biochar utilizado, do método de separação dos agregados (via seca ou via úmida), bem como do intervalo de tempo em que os tratamentos foram submetidos aos ciclos de umedecimento e secagem, que houve uma predominância de massa na classe de agregados de 0,5-1,0 mm.

Cambissolo

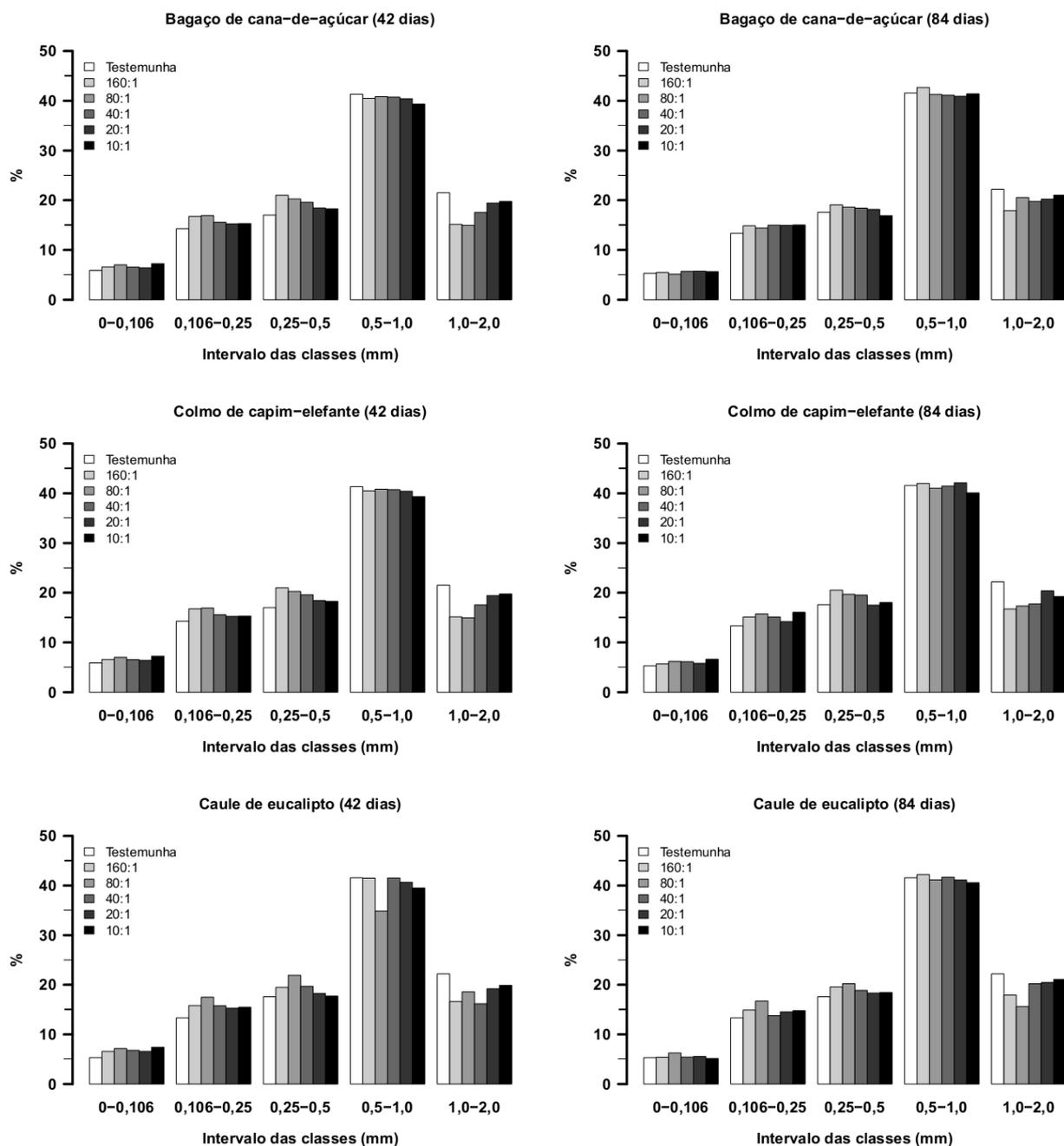


Figura 2 - Distribuição das classes de agregados, obtidas por separação via seca, em Cambissolo submetido à aplicação de diferentes tipos e doses de biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem.

Testemunha = Cambissolo sem adição de biochar; 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1 são as proporções em volume de solo por volume de biochar equivalentes à: 0,621 %; 1,235 %; 2,439 %; 4,762 %; 9,091 %, respectivamente, de doses de biochar aplicada.

Latossolo

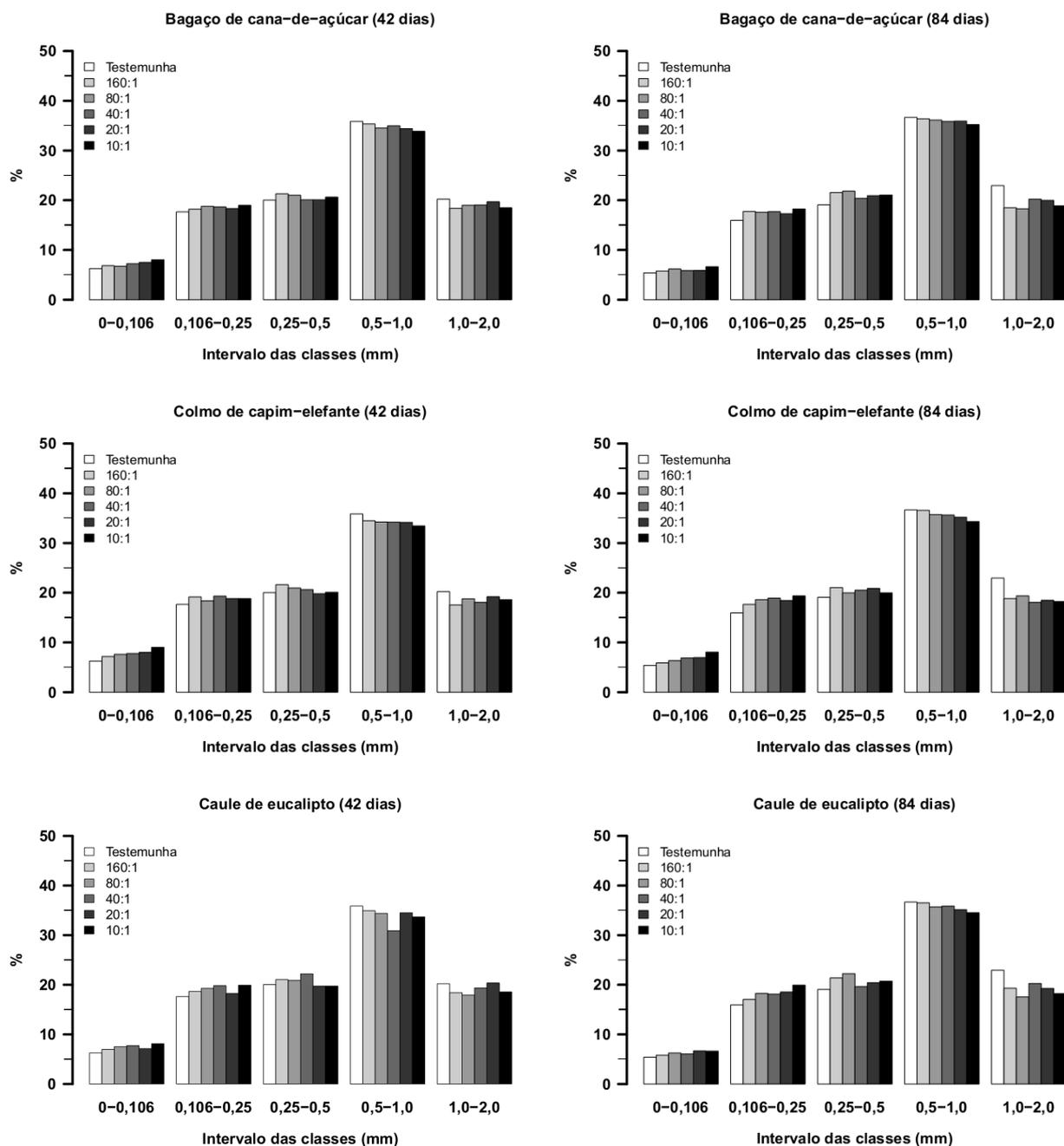


Figura 3 - Distribuição das classes de agregados, obtidas por separação via seca, em Latossolo submetido à aplicação de diferentes tipos e doses de biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem

Testemunha = Latossolo sem adição de biochar; 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1 são as proporções em volume de solo por volume de biochar equivalentes à: 0,621 %; 1,235 %; 2,439 %; 4,762 %; 9,091 %, respectivamente, de doses de biochar aplicada.

Cambissolo

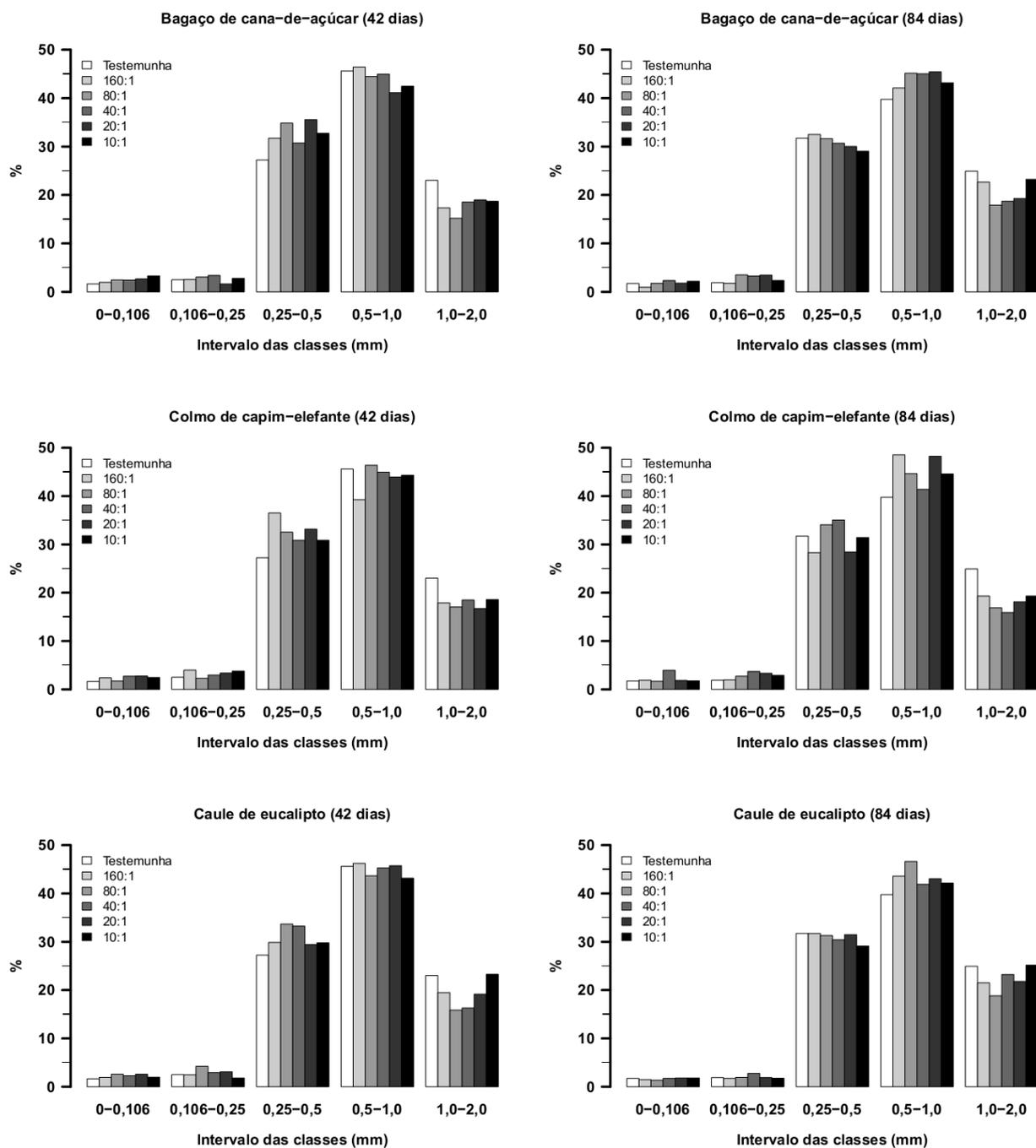


Figura 4 - Distribuição das classes de agregados, obtidas por separação via úmida, em Cambissolo submetido à aplicação de diferentes tipos e doses de biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem

Testemunha = Cambissolo sem adição de biochar; 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1 são as proporções em volume de solo por volume de biochar equivalentes à: 0,621 %; 1,235 %; 2,439 %; 4,762 %; 9,091 %, respectivamente, de doses de biochar aplicada.

Latossolo

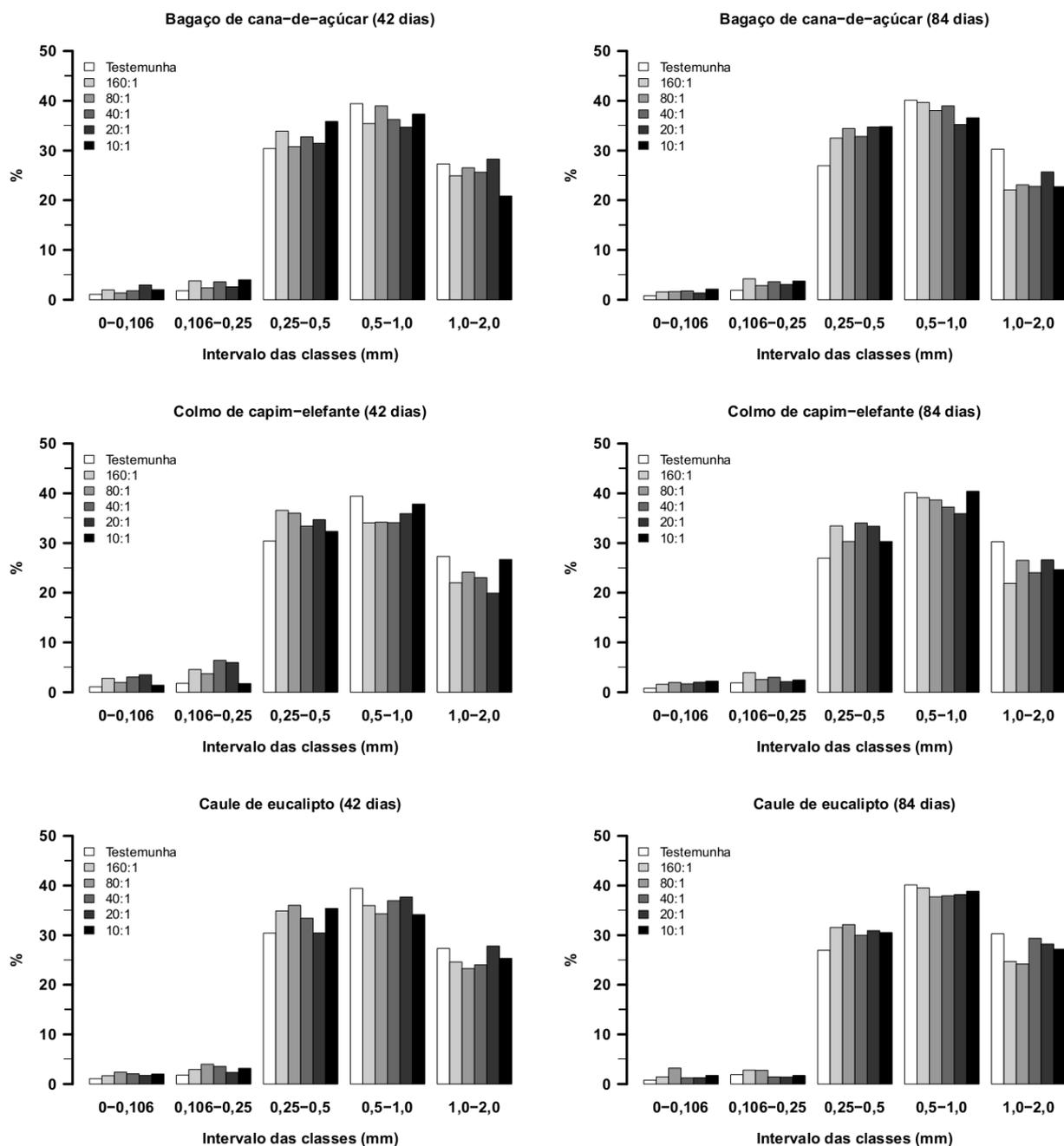


Figura 5 - Distribuição das classes de agregados, obtidas por separação via úmida, em Latossolo submetido à aplicação de diferentes tipos e doses de biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem

Testemunha = Latossolo sem adição de biochar; 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1 são as proporções em volume de solo por volume de biochar equivalentes à: 0,621 %; 1,235 %; 2,439 %; 4,762 %; 9,091 %, respectivamente, de doses de biochar aplicada.

A distribuição do tamanho de agregados em uma amostra de solo pode ser evidenciada ajustando equações de regressão. Para representar essa relação de forma contínua, a variável qualitativa classe de agregados, foi transformada na variável

quantitativa diâmetro médio da classe de agregados, para os agregados separados por via seca, conforme realizado por Carvalho (1998).

Nas Figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11, em ambos os solos, observa-se maior proporção de agregados nas classes de maior tamanho, evidenciado pelo deslocamento à direita das curvas ajustadas entre as proporções dos agregados e os diâmetros médios de cada classe.

Bagaço de cana-de-açúcar

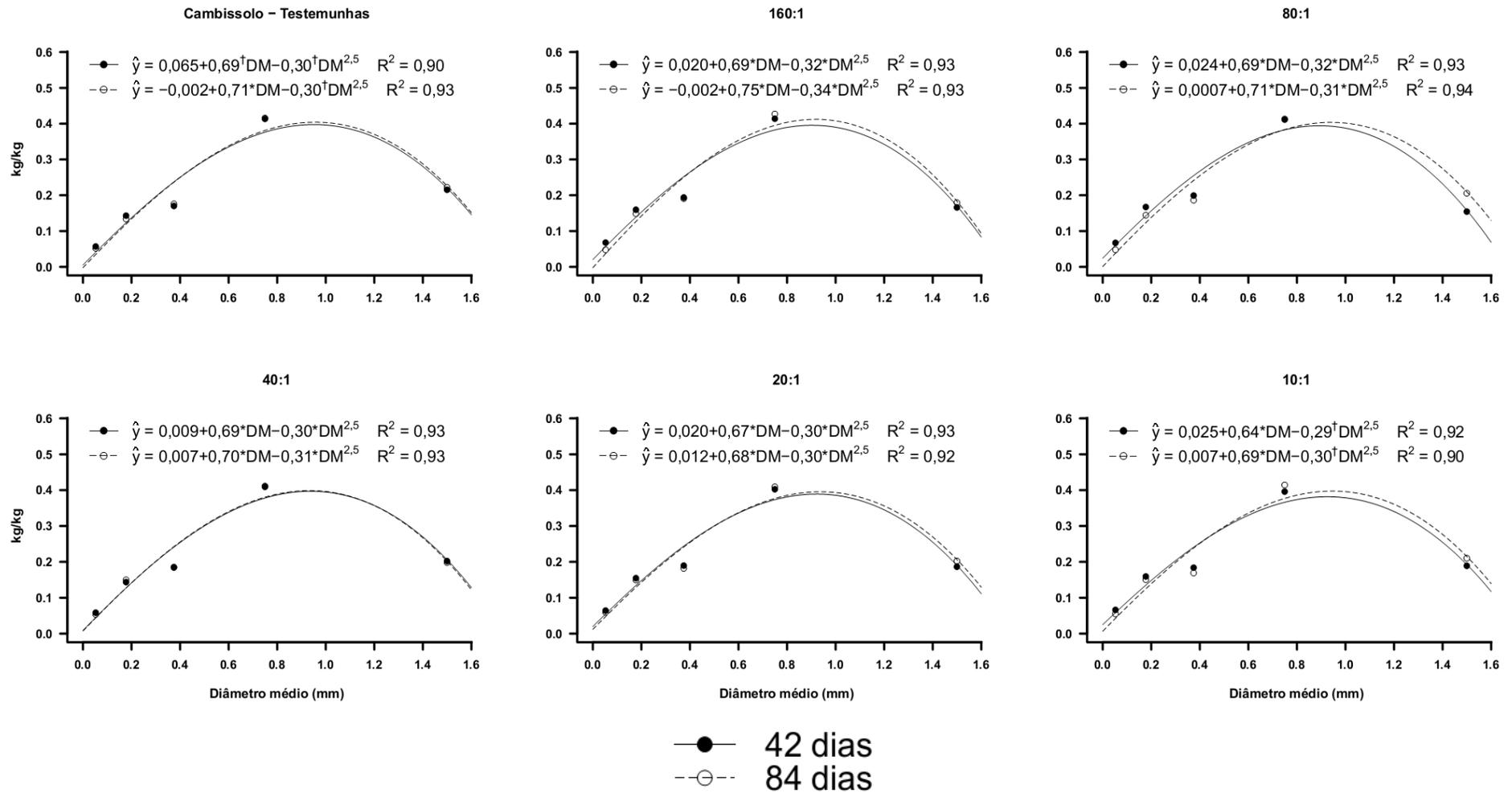


Figura 6 - Proporção dos agregados obtidos por peneiramento via seca das amostras de Cambissolo + biochar de bagaço de cana-de-açúcar após 42 e 84 dias de incubação em relação ao diâmetro médio dos agregados. (* significativo a 5 % pelo teste t e † significativo a 10 % pelo teste t)

Colmo de capim-elefante

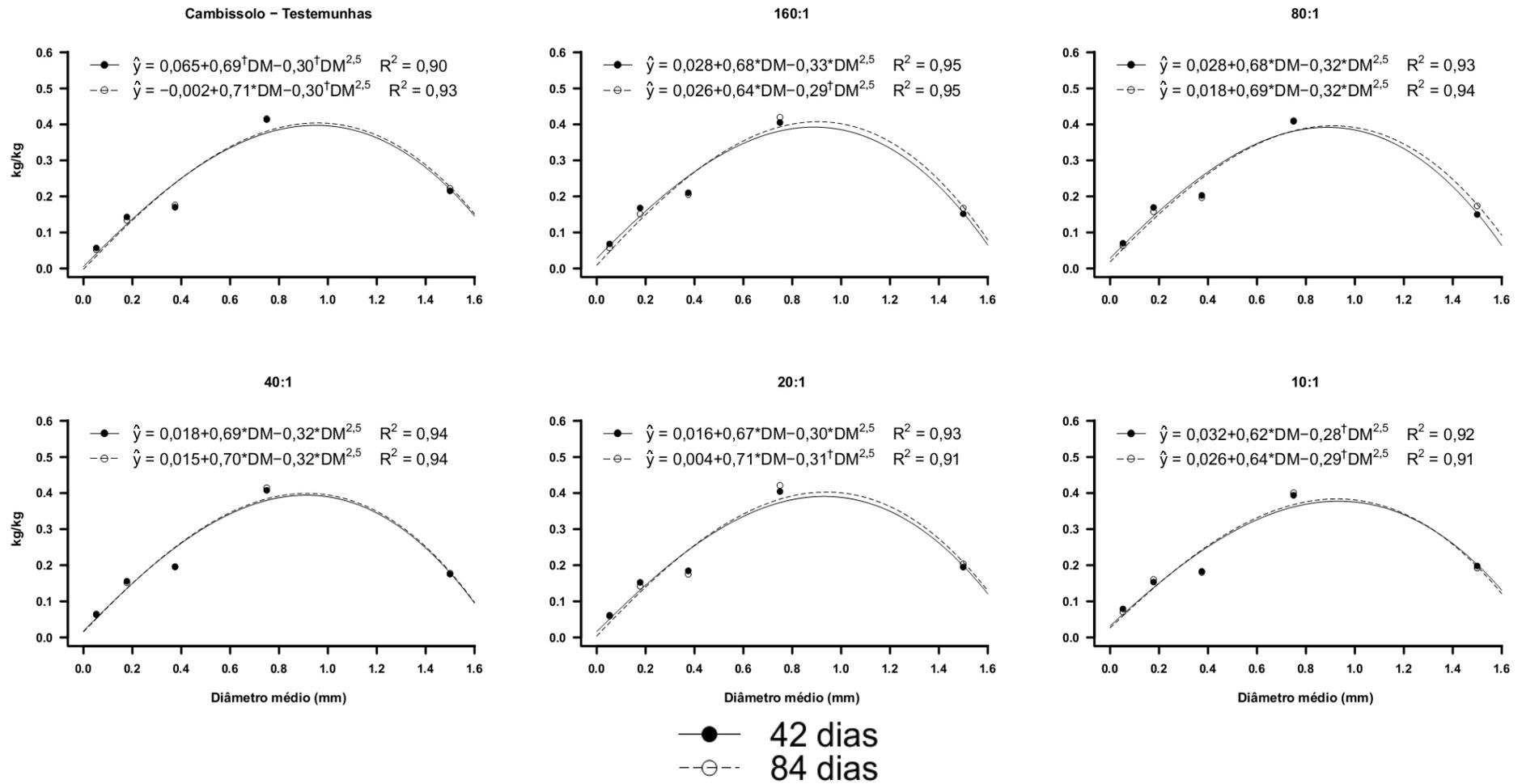


Figura 7 - Proporção dos agregados obtidos por peneiramento via seca das amostras de Cambissolo + biochar de colmo de capim-elefante após 42 e 84 dias de incubação em relação ao diâmetro médio dos agregados. (* significativo a 5 % pelo teste t e † significativo a 10 % pelo teste t)

Caule de eucalipto

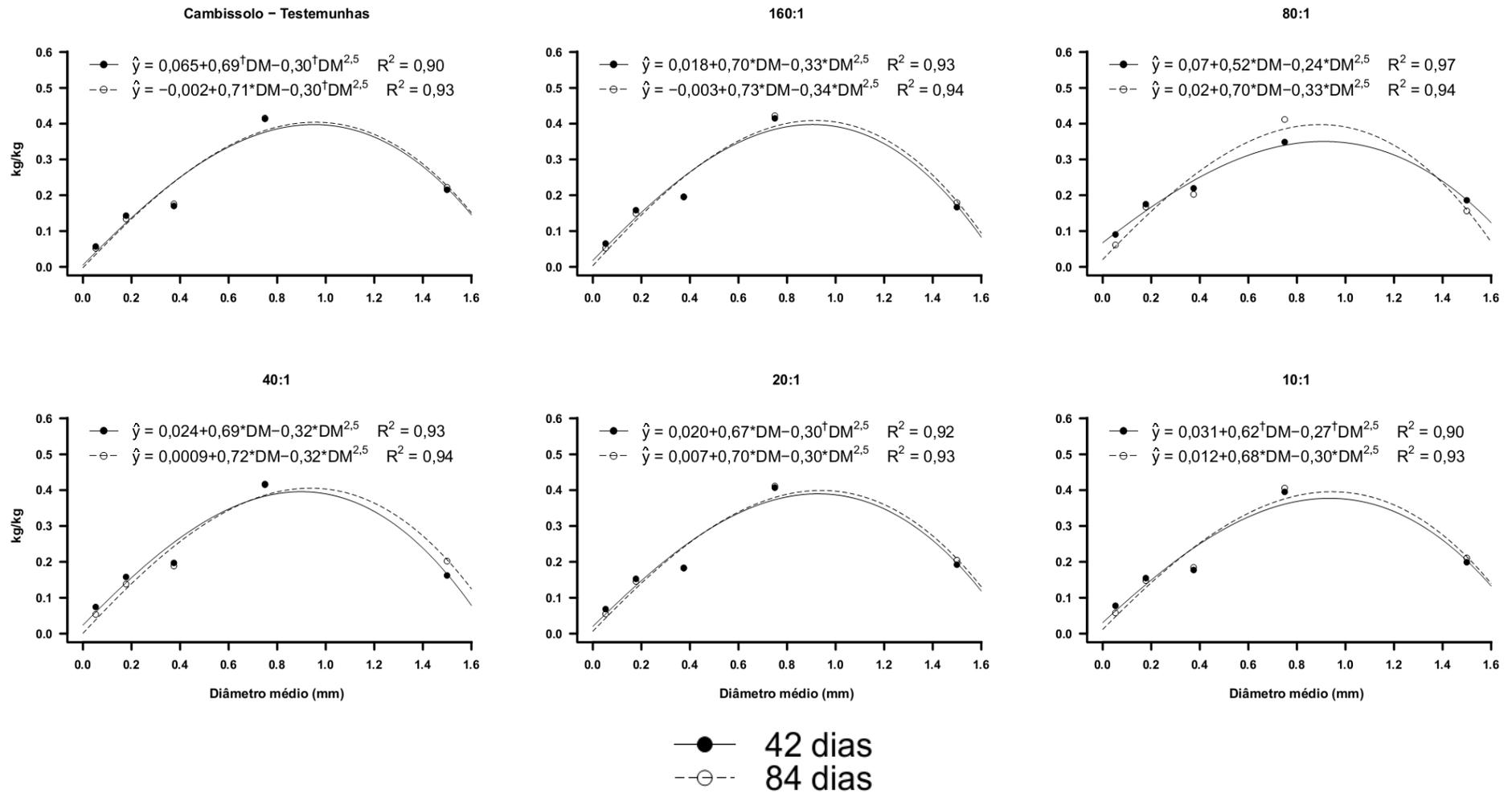


Figura 8 - Proporção dos agregados obtidos por peneiramento via seca das amostras de Cambissolo + biochar de caule de eucalipto após 42 e 84 dias de incubação em relação ao diâmetro médio dos agregados. (* significativo a 5 % pelo teste t e † significativo a 10 % pelo teste t)

Bagaço de cana-de-açúcar

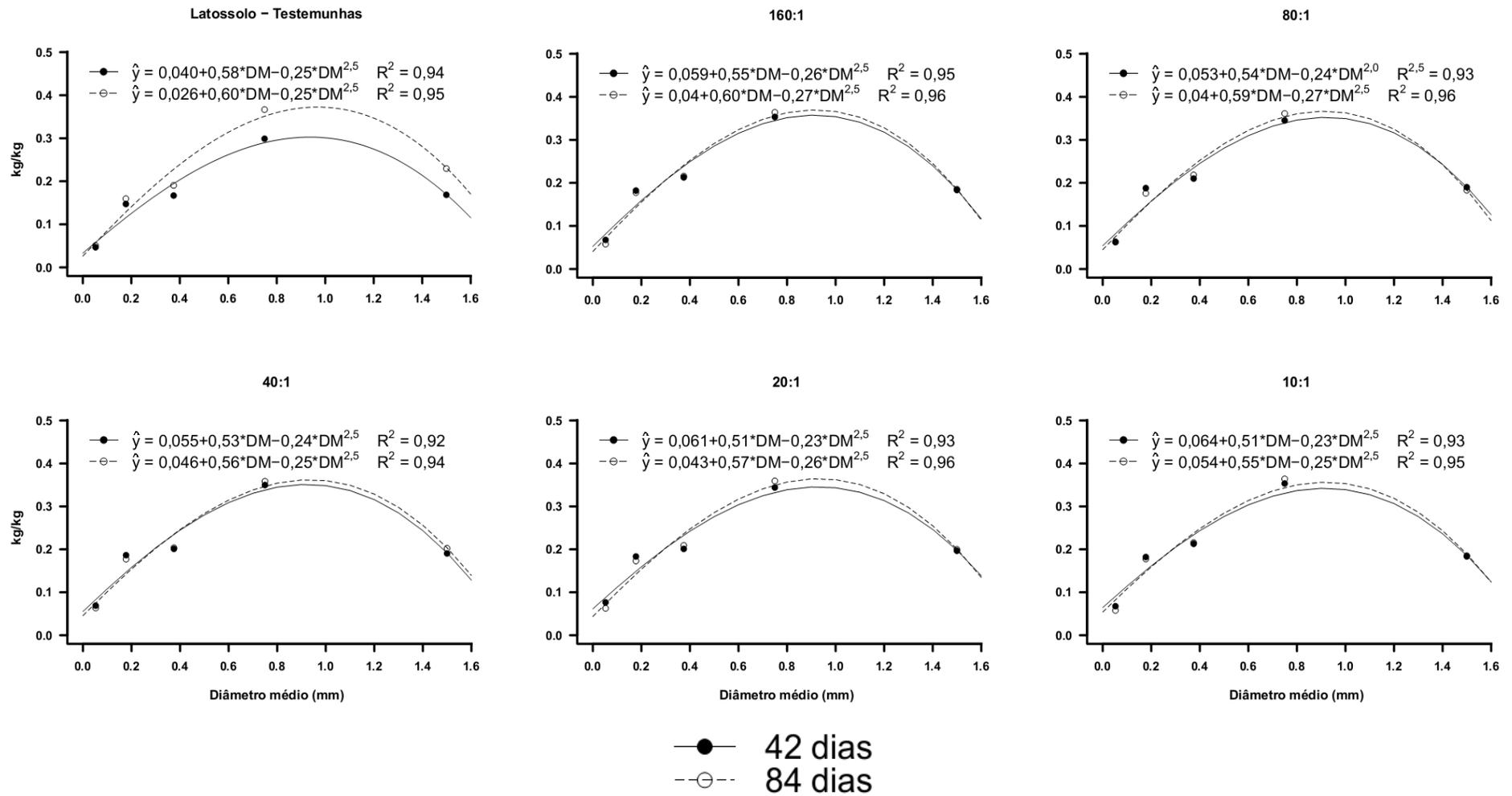


Figura 9 - Proporção dos agregados obtidos por peneiramento via seca das amostras de Latossolo + biochar de bagaço de cana-de-açúcar após 42 e 84 dias de incubação em relação ao diâmetro médio dos agregados. (* significativo a 5 % pelo teste t)

Colmo de capim-elefante

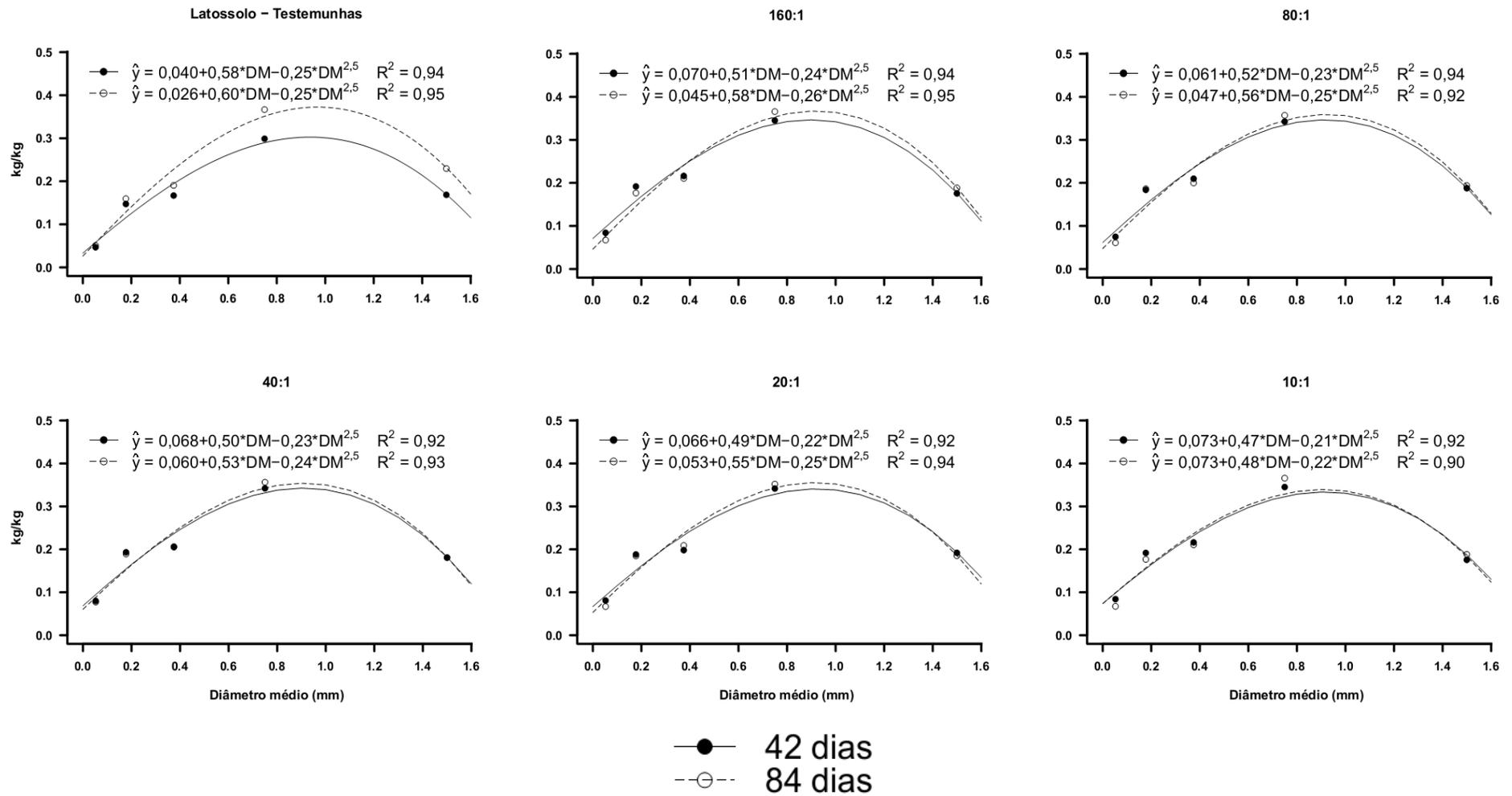


Figura 10 - Proporção dos agregados obtidos por peneiramento via seca das amostras de Latossolo + biochar de colmo de capim-elefante após 42 e 84 dias de incubação em relação ao diâmetro médio dos agregados. (* significativo a 5 % pelo teste t)

Caule de eucalipto

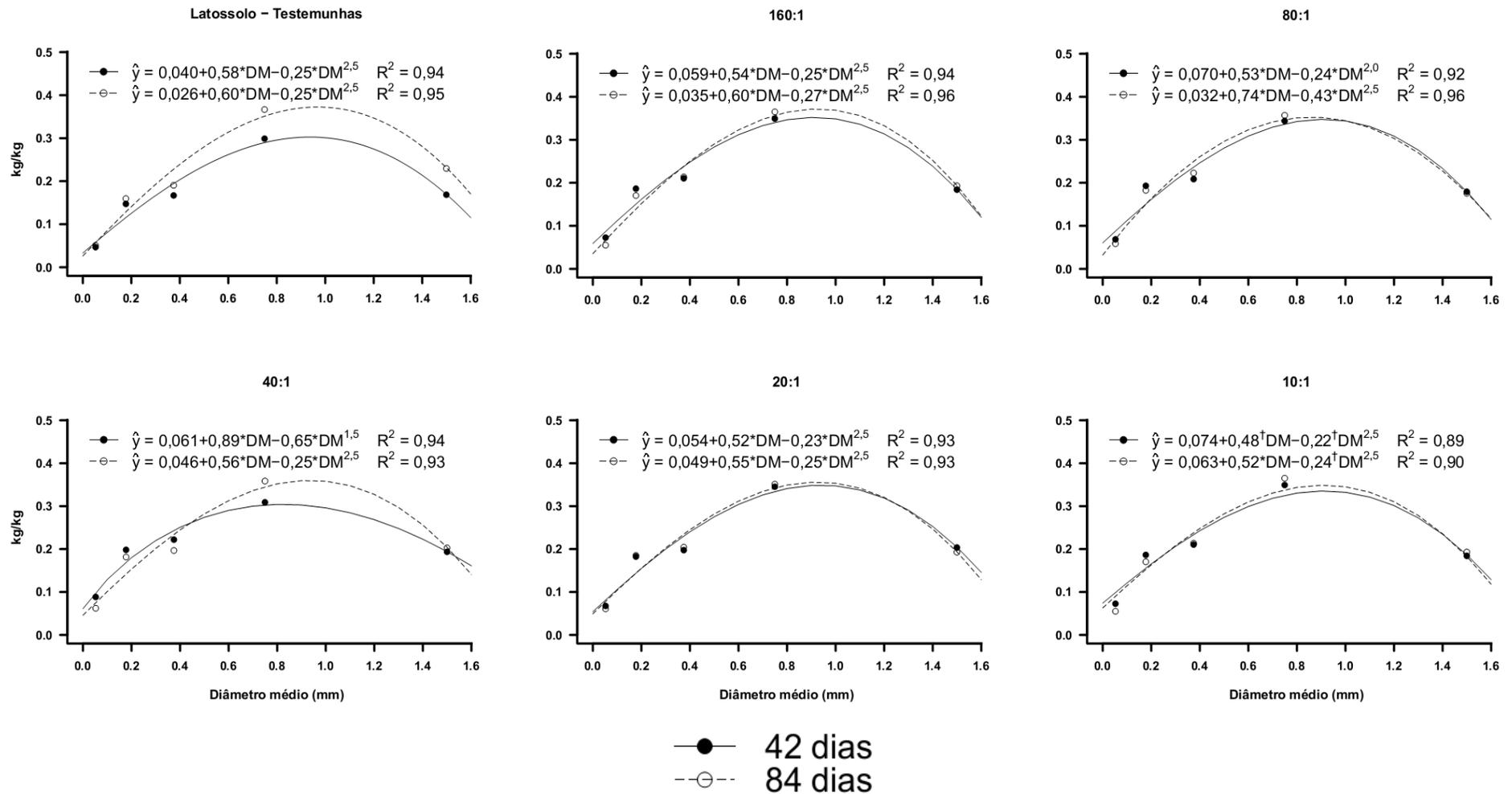


Figura 11 - Proporção dos agregados obtidos por peneiramento via seca das amostras de Latossolo + biochar de caule de eucalipto após 42 e 84 dias de incubação em relação ao diâmetro médio dos agregados. (* significativo a 5 % pelo teste t e † significativo a 10 % pelo teste t)

A determinação dos diâmetros médios associados à proporção máxima de agregados (Tabelas 10 e 11), a partir das equações de regressão (Figuras 6, 7, 8, 9, 10 e 11), mostra que o Latossolo apresentou maior amplitude de variação do diâmetro médio em relação ao Cambissolo. Para o Cambissolo, os valores de diâmetro médio variaram de 0,879 a 0,964 mm (Tabela 10). Por sua vez, para o Latossolo os valores de diâmetro médio variaram de 0,779 a 1,125 mm, (Tabela 11). Contudo, a proporção máxima de agregados associada aos diâmetros médios para ambos os solos variaram pouco entre os tratamentos (Tabelas 10 e 11).

Tabela 10 – Valores de diâmetro médio (DM) associados à proporção máxima (PM) de agregados, obtidos após a separação por via seca, das amostras de Cambissolo nas diferentes doses dos biochars, considerando o tempo de avaliação

Partes (v/v) ¹	-----42 dias-----						-----84 dias-----					
	160:1	80:1	40:1	20:1	10:1	Test	160:1	80:1	40:1	20:1	10:1	Test
	-----Bagaço de cana-de-açúcar-----											
DM (mm)	0,906	0,906	0,945	0,927	0,920	0,946	0,920	0,943	0,934	0,936	0,946	0,964
PM (kg kg ⁻¹)	0,395	0,399	0,400	0,393	0,378	0,457	0,412	0,402	0,399	0,394	0,399	0,409
	-----Colmo de capim-elefante-----											
DM (mm)	0,879	0,897	0,906	0,928	0,922	0,946	0,92	0,906	0,915	0,943	0,92	0,964
PM (kg kg ⁻¹)	0,387	0,394	0,393	0,389	0,375	0,457	0,379	0,393	0,399	0,405	0,379	0,409
	-----Caule de eucalipto-----											
DM (mm)	0,896	0,909	0,906	0,927	0,945	0,946	0,903	0,892	0,932	0,955	0,936	0,964
PM (kg kg ⁻¹)	0,394	0,354	0,399	0,393	0,383	0,457	0,393	0,396	0,404	0,408	0,394	0,409

¹v/v = Partes em volume de solo por parte em volume de biochar em que 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1 são as proporções equivalentes à: 0,621 %; 1,235 %; 2,439 %; 4,762 %; 9,091 %, respectivamente, de doses de biochar aplicada; Test = Cambissolo sem biochar

Tabela 11 – Valores de diâmetro médio (DM) associados à proporção máxima (PM) de agregados, obtidos após a separação por via seca, das amostras de Latossolo nas diferentes doses dos biochars, considerando o tempo de avaliação

Partes (v/v) ¹	-----42 dias-----						-----84 dias-----					
	160:1	80:1	40:1	20:1	10:1	Test	160:1	80:1	40:1	20:1	10:1	Test
-----Bagaço de cana-de-açúcar-----												
DM (mm)	0,894	1,125	0,921	0,923	0,923	0,973	0,925	0,914	0,929	0,916	0,918	0,951
PM (kg kg ⁻¹)	0,354	0,356	0,348	0,343	0,346	0,376	0,373	0,363	0,358	0,356	0,357	0,371
-----Colmo de capim-elefante-----												
DM (mm)	0,897	0,935	0,911	0,925	0,929	0,973	0,927	0,929	0,921	0,918	0,913	0,951
PM (kg kg ⁻¹)	0,344	0,353	0,341	0,338	0,335	0,376	0,367	0,359	0,352	0,356	0,336	0,371
-----Caule de eucalipto-----												
DM (mm)	0,907	1,104	0,833	0,935	0,913	0,973	0,925	0,779	0,929	0,918	0,909	0,951
PM (kg kg ⁻¹)	0,353	0,362	0,308	0,346	0,337	0,376	0,368	0,378	0,358	0,352	0,347	0,371

¹v/v = Partes em volume de solo por parte em volume de biochar em que 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1 são as proporções equivalentes à: 0,621 %; 1,235 %; 2,439 %; 4,762 %; 9,091 %, respectivamente, de doses de biochar aplicada; Test = Latossolo sem biochar

4.3 Índices de agregação: diâmetro médio geométrico (DMG) e diâmetro médio ponderado (DMP)

A partir da distribuição das classes de agregados por tamanho (Figuras 2, 3, 4 e 5), também foram calculados os índices de agregação DMG e DMP (Tabelas 12 e 13).

A predominância de agregados na segunda classe de maior tamanho reflete sobre a amplitude dos resultados encontrados para o DMG e DMP (Tabelas 12 e 13). Como observado por Castro Filho et al. (1998), o DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes retidos nas peneiras de malhas maiores, observação que está de acordo com os valores encontrados entre 0,588 e 0,759 mm e 0,632 e 0,877 mm, obtidos pelos peneiramentos via seca e via úmida, respectivamente. Já o DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência, cujos resultados encontrados neste trabalho foram entre 0,413 e 0,567 mm quando separados por via seca e entre 0,502 e 0,750 mm quando separados por úmida.

É possível verificar, para ambos os solos, que aos 84 dias a maioria das médias dos valores de DMG e DMP dos tratamentos é superior às médias obtidas aos 42 dias de avaliação (Tabelas 12 e 13). Constata-se também que os valores médios dos índices de agregação avaliados, obtidos por separação a seco, são inferiores aos valores obtidos por via úmida, tanto para o Latossolo quanto para o Cambissolo, ocorrência essa atribuída ao fato de que para avaliação da distribuição de agregados pelo método via seca foram utilizados os volumes totais das parcelas (200 cm^3) de cada tratamento e na avaliação feita pelo método via úmida foram utilizados 25 g de agregados maiores que 0,25 mm, inicialmente separados pelo método via seca, o que pode ter favorecido a ocorrência dos maiores valores de DMP e DMG pelo método via úmida, em relação ao método via seca.

Nota-se ainda que a agregação nas amostras de ambos os solos que não receberam biochars (testemunhas) são superiores aos tratamentos que receberam diferentes doses de biochars, considerando cada solo e época de avaliação. Atribuem-se esses resultados, além da influência dos ciclos de umedecimento e secagem, ao fato que as testemunhas não sofrem a substituição de parte de seu volume de solo, cujas partículas são inicialmente menores que 2 mm (TFSA), por volume de biochars cujas partículas são menores que 0,210 mm, substituição esta que tende a reduzir os valores de DMG e DMP.

Tabela 12 - Valores médios dos índices de DMG e DMP do Cambissolo, considerando os diferentes tipos e doses de biochars, intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem e métodos de separação de agregados

Partes (v/v) ¹	Bagaço de cana-de-açúcar		Colmo de capim-elefante		Caule de eucalipto	
	42 dias	84 dias	42 dias	84 dias	42 dias	84 dias
Separação via seca						
DMG (mm)						
160:1	0,489	0,520	0,475	0,506	0,492	0,520
80:1	0,477	0,539	0,471	0,500	0,474	0,484
40:1	0,527	0,525	0,497	0,507	0,488	0,537
20:1	0,502	0,528	0,512	0,535	0,509	0,533
10:1	0,494	0,536	0,502	0,504	0,501	0,539
Test	0,540	0,555	0,540	0,555	0,540	0,555
DMP (mm)						
160:1	0,664	0,690	0,643	0,672	0,665	0,688
80:1	0,648	0,716	0,641	0,673	0,657	0,652
40:1	0,708	0,704	0,673	0,681	0,660	0,714
20:1	0,683	0,708	0,695	0,716	0,692	0,713
10:1	0,681	0,719	0,692	0,689	0,693	0,718
Test	0,730	0,737	0,730	0,737	0,730	0,737
Separação via úmida						
DMG (mm)						
160:1	0,634	0,631	0,590	0,630	0,641	0,665
80:1	0,680	0,638	0,623	0,669	0,611	0,628
40:1	0,650	0,635	0,588	0,645	0,634	0,709
20:1	0,654	0,652	0,567	0,659	0,683	0,698
10:1	0,607	0,618	0,678	0,657	0,635	0,684
Test	0,696	0,731	0,696	0,731	0,696	0,731
DMP (mm)						
160:1	0,774	0,759	0,732	0,755	0,775	0,791
80:1	0,810	0,767	0,761	0,807	0,750	0,773
40:1	0,787	0,765	0,740	0,774	0,770	0,841
20:1	0,808	0,786	0,711	0,798	0,819	0,829
10:1	0,735	0,754	0,809	0,792	0,775	0,818
Test	0,823	0,860	0,823	0,860	0,823	0,860

¹v/v = Partes em volume de solo por parte em volume de biochar em que 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1 são as proporções equivalentes à: 0,621 %; 1,235 %; 2,439 %; 4,762 %; 9,091 %, respectivamente, de doses de biochar aplicada; Test = Cambissolo sem biochar

Tabela 13 - Valores médios dos índices de DMG e DMP do Latossolo, considerando os diferentes tipos e doses de biochars, intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem e métodos de separação de agregados

Partes (v/v) ¹	Bagaço de cana-de-açúcar		Colmo de capim-elefante		Caule de eucalipto	
	42 dias	84 dias	42 dias	84 dias	42 dias	84 dias
Separação via seca						
DMG (mm)						
160:1	0,472	0,488	0,459	0,491	0,468	0,496
80:1	0,473	0,483	0,464	0,483	0,456	0,474
40:1	0,470	0,498	0,454	0,469	0,451	0,495
20:1	0,471	0,497	0,460	0,471	0,480	0,478
10:1	0,455	0,477	0,446	0,453	0,451	0,465
Test	0,494	0,531	0,494	0,531	0,494	0,531
DMP (mm)						
160:1	0,656	0,666	0,641	0,670	0,654	0,677
80:1	0,660	0,662	0,654	0,670	0,643	0,650
40:1	0,660	0,683	0,644	0,653	0,645	0,682
20:1	0,665	0,681	0,656	0,656	0,675	0,666
10:1	0,647	0,662	0,644	0,645	0,645	0,649
Test	0,682	0,722	0,682	0,722	0,682	0,722
Separação via úmida						
DMG (mm)						
160:1	0,622	0,666	0,588	0,652	0,673	0,666
80:1	0,587	0,622	0,622	0,615	0,640	0,656
40:1	0,619	0,621	0,616	0,565	0,586	0,646
20:1	0,610	0,633	0,594	0,637	0,603	0,657
10:1	0,599	0,658	0,614	0,633	0,628	0,651
Test	0,696	0,731	0,696	0,731	0,696	0,731
DMP (mm)						
160:1	0,733	0,781	0,708	0,764	0,756	0,772
80:1	0,699	0,733	0,730	0,722	0,700	0,753
40:1	0,737	0,740	0,737	0,689	0,715	0,782
20:1	0,731	0,749	0,713	0,748	0,748	0,772
10:1	0,729	0,787	0,735	0,748	0,789	0,807
Test	0,795	0,795	0,795	0,795	0,795	0,795

¹v/v = Partes em volume de solo por parte em volume de biochar em que 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1 são as proporções equivalentes à: 0,621 %; 1,235 %; 2,439 %; 4,762 %; 9,091 %, respectivamente, de doses de biochar aplicada; Test = Latossolo sem biochar

Analisando os resultados obtidos via contrastes, fica claro o efeito diferenciado entre os solos segundo os métodos de peneiramento utilizados (Tabela 14). O contraste C1, em que se faz a comparação entre os solos, apresentou diferença significativa em ambas as avaliações (via seca e via úmida) para ambos os índices de agregação (DMG e DMP), sendo que o Cambissolo é superior ao Latossolo na avaliação por via seca. Por sua vez, quando os agregados foram separados por via úmida, o Latossolo apresentou valores superiores em relação ao Cambissolo (Tabela 14).

Tabela 14 - Contrastes obtidos para os índices de agregação (DMG e DMP) e suas significâncias, considerando os diferentes solos, biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem

Contrastes ¹	Via seca		Via Úmida	
	DMG (mm)	DMP (mm)	DMG (mm)	DMP (mm)
C1	-0,215***	-0,158***	0,211***	0,102*
C2	-0,057***	-0,037*	-0,050 ⁽²⁰⁾	-0,069*
C3	-0,081***	-0,072***	-0,078*	-0,080*
C4	0,019	0,015	0,0372	0,04
C5	-0,005	-0,005	-0,027 ⁽²⁰⁾	-0,032 ⁽²⁰⁾
C6	0,012	0,012	-0,015	-0,016
C7	-0,002	-0,005	-0,017	-0,017
C8	0,023 ⁽¹⁰⁾	0,019	-0,063*	-0,060 ⁽²⁰⁾
C9	-0,008 ⁽¹⁰⁾	-0,006	-0,025 ⁽²⁰⁾	-0,025 ⁽¹⁰⁾
C10	0,027	0,032*	0,005	0,002
C11	-0,012 ⁽²⁰⁾	-0,011	-0,043*	-0,038*

¹C1 = Latossolo vs Cambissolo; C2 = 42 dias (Latossolo) vs 84 dias; C3 = 42 dias (Cambissolo) vs 84 dias; C4 = Bagaço de cana-de-açúcar vs Colmo de capim-elefante + Caule de eucalipto (42 dias – Latossolo); C5 = Colmo de capim-elefante vs Caule de eucalipto (42 dias – Latossolo); C6 = Bagaço de cana-de-açúcar vs Colmo de capim-elefante + Caule de eucalipto (42 dias – Cambissolo); C7 = Colmo de capim-elefante vs Caule de eucalipto (42 dias – Cambissolo); C8 = Bagaço de cana-de-açúcar vs Colmo de capim-elefante + Caule de eucalipto (84 dias – Latossolo); C9 = Colmo de capim-elefante vs Caule de eucalipto (84 dias – Latossolo); C10 = Bagaço de cana-de-açúcar vs Colmo de capim-elefante + Caule de eucalipto (84 dias – Cambissolo); C11 = Colmo de capim-elefante vs Caule eucalipto (84 dias – Cambissolo).

***significativo a 0,1% pelo teste t; ** significativo a 1% pelo teste t; e * significativo a 5% pelo teste t. Valores entre parênteses referentes a significâncias iguais a 10% ou 20% pelo teste t.

A superioridade do Cambissolo em relação ao Latossolo na avaliação feita por peneiramento via seca pode estar relacionada à maior dureza dos agregados desse solo quando secos, resistindo mais à abrasão na malha das peneiras superiores em relação ao Latossolo, contribuindo assim para o incremento das classes de agregados de maior

tamanho e, conseqüentemente, para o aumento dos valores de DMG e DMP. Além disso, provavelmente, o fenômeno de expansão e contração observado neste solo, durante os ciclos de umedecimento e secagem, foi superior, notando-se também uma redução do volume do mesmo quando seco e aumento do volume após re-umedecimento. Os fenômenos de expansão e contração resultam na quebra da massa do solo por estresse mecânico, sendo mais comum para Vertisolos (DEXTER, 1988), fragmentando massa de maior tamanho em agregados mais estáveis de menor tamanho.

Na separação dos agregados feita pelo método via úmida, o comportamento foi contrário, com superioridade para o Latossolo. Os resultados então obtidos demonstram que cerca de 90% dos agregados concentram-se nas classes referentes aos macroagregados do solo, sendo que o Latossolo demonstrou maior estabilidade de macroagregados em relação ao Cambissolo. Esse comportamento pode estar associado ao maior teor de argila dos Latossolos (62 % de argila) em contraste com o maior teor de areia do Cambissolo (61% de areia), reduzindo a estabilidade de agregados deste último. Além disso, o re-umedecimento rápido pode surtir em desagregação pelo aprisionamento de bolha de ar e conseqüente variação brusca de volume (KEMPER & ROSENAU, 1986).

Chama-se ainda a atenção para as diferenças apresentadas para ambos os índices de agregação, tendo o DMG apresentado maior diferença que o DMP, pelo método de separação por via úmida, a esse comportamento atribui-se novamente às características intrínsecas de cada índice, influenciadas pela distribuição dos agregados entre as classes, com evidente maior predomínio dos agregados do Cambissolo na classe de 0,5-1 mm, o que contribui para que o DMP desse solo se aproxime do DMP do Latossolo.

Os intervalos de tempo de avaliação permitiram diferenças significativas (contrastes C2 e C3) para ambos os índices de agregação avaliados por peneiramento via seca e uma tendência (contraste C2), referente ao DMG por peneiramento via úmida) em ambos os solos estudados.

O maior intervalo de tempo (84 dias) proporcionou maior agregação em relação ao menor intervalo de tempo (42 dias). As diferenças significativas observadas nos contrastes para os tempos avaliados em ambos os solos (C2 e C3) evidenciam a importância do tempo e do efeito dos ciclos de umedecimento e secagem sobre o desenvolvimento da agregação nos tratamentos.

Para melhor observar os efeitos do tempo, foram elaborados gráficos de saldo de ganhos e perdas (Figuras 12 e 13), com o intuito de observar graficamente o efeito dos

intervalos de tempo nas diferentes classes de agregados. Para elaboração da Figura 13, tornou-se mais conveniente, para observação do fenômeno, desenvolver os gráficos em apenas duas classes distintas, macro ($>0,25\text{mm}$) e microagregados ($<0,25\text{ mm}$), haja vista que o peneiramento via úmida foi efetuado sobre os agregados maiores que $0,25\text{ mm}$ (macroagregados).

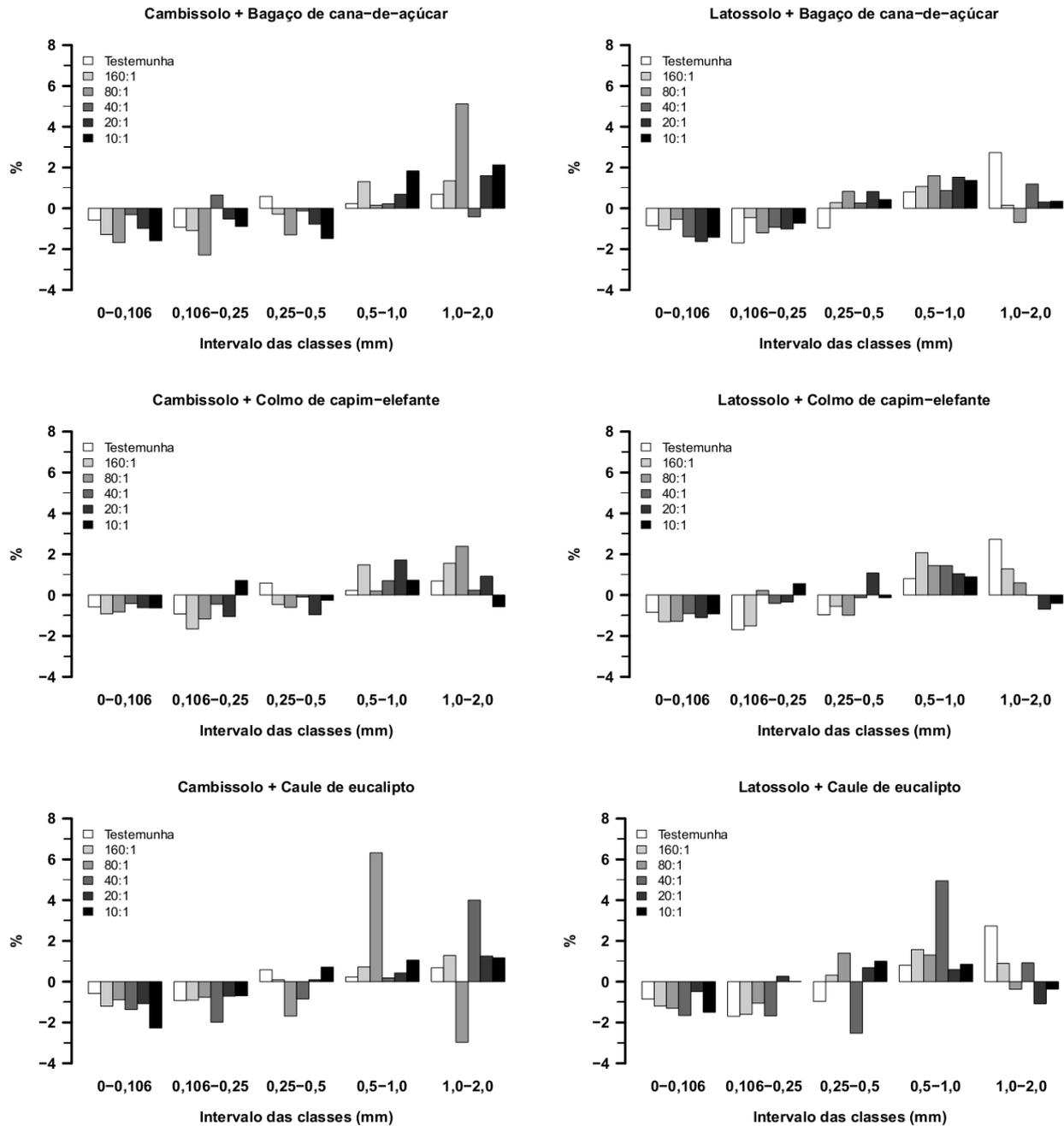


Figura 12 - Saldo de perdas e ganhos das classes de agregados, considerando diferentes solos e biochars, entre os intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem de 42 e 84 dias, obtidos por peneiramento via seca

Testemunha = Cambissolo (esquerda) e Latossolo (direita) sem adição de biochar; 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1 são as proporções em volume de solo por volume de biochar equivalentes à: 0,621 %; 1,235 %; 2,439 %; 4,762 %; 9,091 %, respectivamente, de doses de biochar aplicada.

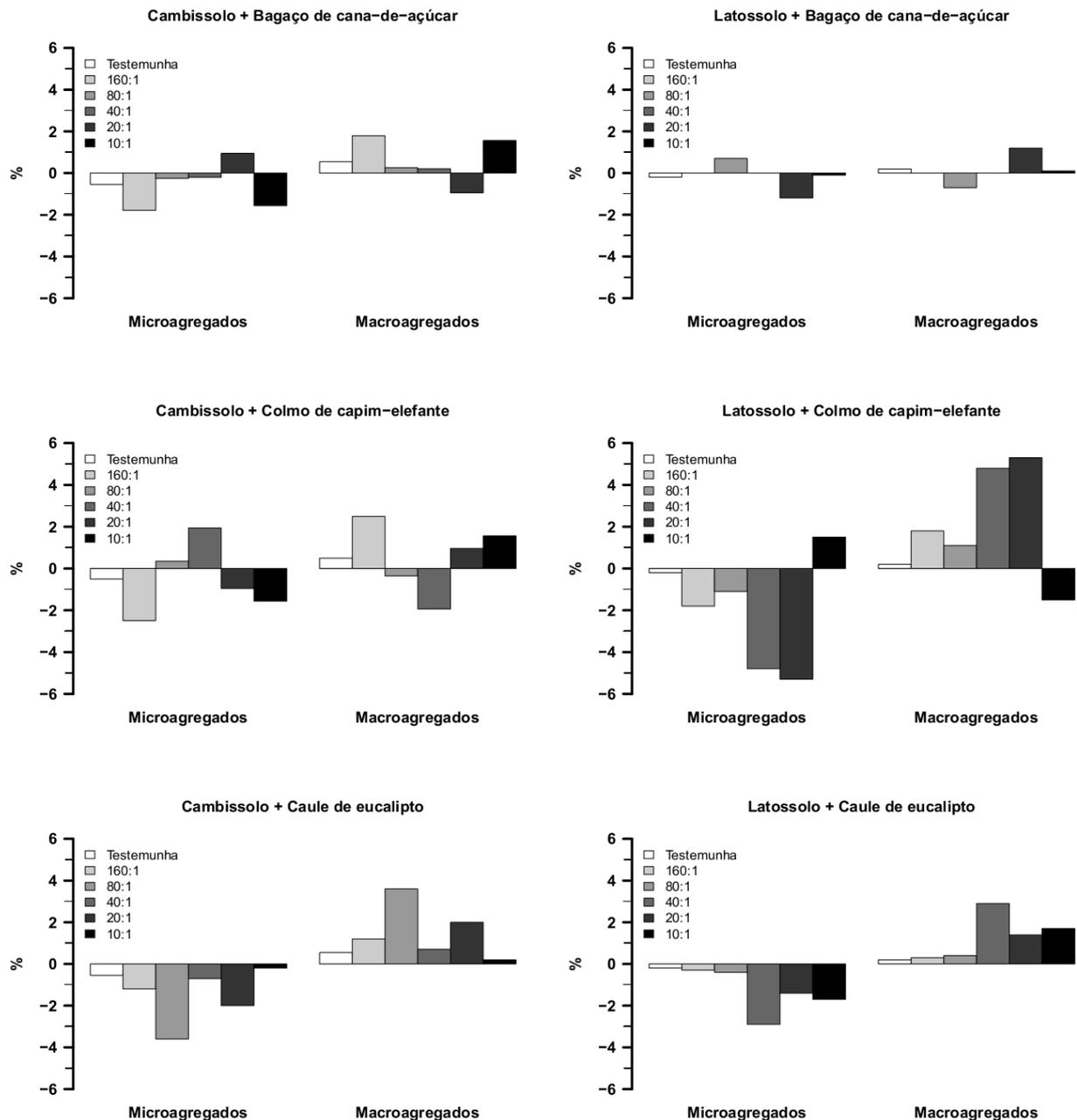


Figura 13 - Saldo de perdas e ganhos das classes de agregados, considerando diferentes solos e biochars, entre os intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem de 42 e 84 dias, obtidos por peneiramento via úmida

Testemunha = Cambissolo (esquerda) e Latossolo (direita) sem adição de biochar; 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1 são as proporções em volume de solo por volume de biochar equivalentes à: 0,621 %; 1,235 %; 2,439 %; 4,762 %; 9,091 %, respectivamente, de doses de biochar aplicada.

Pela Figura 12, é possível verificar que, em geral, por peneiramento a seco, classes de menor diâmetro apresentaram saldo negativo em detrimento do saldo positivo para as classes de maior diâmetro. Efeito semelhante pode ser observado na Figura 13, mais evidentemente nos tratamentos sob adição do biochar de caule de eucalipto, o que

se relaciona com a superioridade desse biochar em relação aos demais, quando a avaliação foi efetuada pelo peneiramento via úmida.

Herart et al. (2013), após incubação de dois solos (tipos de solo) com biochars por 295 dias, relataram a não formação de microagregados. Os autores argumentaram que essa ausência de efeito pode ser em função do curto espaço de tempo e à maior granulometria dos biochars usados que apresentaram uma predominância granulométrica de partículas maiores que cinco milímetros, o que dificultaria os mecanismos de interação solo-biochar-microorganismos. Já Hua et al. (2013) relataram ganhos em microagregados do solo após aplicação e incubação por 180 dias com biochars (cujo tamanho médio das partículas foram iguais a 0,063 mm) e em doses entre 60 e 160 t/ha. De forma semelhante, Sun e Lu et al. (2014) obtiveram resultados positivos na formação de macroagregados ao final de 180 dias de incubação de um Vertisol (USDA Soil Taxonomy), trabalhando com biochars cujas partículas apresentavam tamanho médio entre 0,25 e 5 mm e com doses relativamente altas, em torno de 90 a 135 t/ha, o que contrasta com as doses aplicadas por Herart et al. (2013) que não ultrapassaram as 20 t/ha.

Deve-se ressaltar a importância de se levar em consideração a interferência do tamanho das partículas dos biochars, em que o acúmulo de massa de partículas desses materiais de determinado tamanho poderia mascarar a ausência de efeitos reais em termos de agregação, sobretudo quando aplicadas elevadas doses, pois desse modo, a massa de partículas de biochars que não interagisse com os sólidos do solo para a formação de agregados, poderia contribuir equivocadamente para o incremento da proporção de agregados de determinada classe do solo.

Six (2000) destaca que solos altamente intemperizados com tendência de maiores teores de argilas 1:1 e óxidos passam a não ter dependência da matéria orgânica como agente agregante devido à atração eletrostática entre esses componentes da fração argila, em razão da presença simultânea e cargas positivas e negativas. Contudo, o presente estudo demonstra que há ganhos relativamente maiores em agregação, quando houve adição dos biochars no Latossolo, o que é evidenciado no saldo de ganhos e perdas entre as classes de agregados e as doses aplicadas em relação ao tratamento testemunha (Figuras 12 e 13). Na Figura 12, é possível verificar uma concentração maior de agregados na classe de 0,5-1 mm, de saldos positivos maiores das amostras de Latossolo que receberam aplicação de biochar em comparação à testemunha. Na Figura 13, relativa ao saldo de perdas e ganhos dos macro e microagregados obtidos por

peneiramento via úmida, percebe-se um aumento de ganho de magroagregados no Latossolo, que recebeu adição de biochar de colmo de capim-elefante. O mesmo pode ser observado no Cambissolo e no Latossolo quando houve adição do biochar caule de eucalipto.

As Figuras 12 e 13 demonstram o que também é relatado por Tisdall & Oades (1982), em que ocorre a associação de partículas menores e/ou microagregados entre si e/ou com macroagregados já existentes, formando agregados de maior tamanho, elevando então os valores obtidos para os índices de DMG e DMP, ao final dos 84 dias sob os ciclos de umedecimento e secagem.

Awad (2013), utilizando o método proposto por Dorodnikov et al. (2009) para separação dos agregados a seco e visualização da distribuição dos agregados após 80 dias de condução, obteve ganho em macroagregados ao aplicar materiais de biochar em solo muito arenoso (90% de areia) em conjunto com resíduos de plantas de milho. Ouyang & Zhang (2013), utilizando o método proposto por Tang et al. (2011) para peneiramento via úmida, observaram ganhos em macroagregados do solo nos primeiros dias de avaliação (5 e 15 dias). Em ambos os trabalhos, os autores atribuem os ganhos em macrogregação em função da presença de material orgânico facilmente disponível à atividade microbiana.

Os contrastes entre os biochars ao final do primeiro intervalo de tempo, relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem (42 dias) (C4, C5, C6 e C7), para os índices de agregação DMG e DMP, obtidos por peneiramento via seca, não foram significativos. Para os agregados separados via úmida neste mesmo tempo (42 dias), observou-se uma tendência (20%) de superioridade do biochar de caule de eucalipto em relação ao biochar de colmo de capim-elefante (contraste C5).

Já os contrastes C8, C9, C10 e C11 referentes aos biochars ao final do segundo intervalo de tempo relacionado aos ciclos de umedecimento e secagem (84 dias) apresentaram tanto significâncias quanto tendências. Na separação dos agregados por via seca, o biochar de bagaço de cana-de-açúcar proporcionou maior valor de DMG para o Latossolo em relação aos demais biochars e de DMP para o Cambissolo (contraste C8). Na separação dos agregados via úmida, houve comportamento contrário para este contraste (C8), para o DMG e DMP do Latossolo, não se observou diferença significativa no Cambissolo.

Para os contrastes C10 e C11, referentes à comparação do biochar de colmo de capim-elefante e o biochar de caule de eucalipto no Latossolo (C10) e Cambissolo

(C11), respectivamente, foram observadas superioridade do biochar de caule de eucalipto em relação ao de colmo de capim-elefante.

A ausência de significância para ambos os índices de agregação (DMG e DMP) em alguns contrastes avaliados deve-se às particularidades, mencionadas no tópico sobre a distribuição das classes de agregados (4.2), que cada índice produz em função das suas equações.

Para permitir inferências sobre a composição elementar dos biochars estudados, foi elaborado o diagrama de Van Krevelen (Figura 14), o qual consiste em um método gráfico elaborado a partir da razão atômica H/C em função da razão atômica O/C (Van Krevelen, 1950).

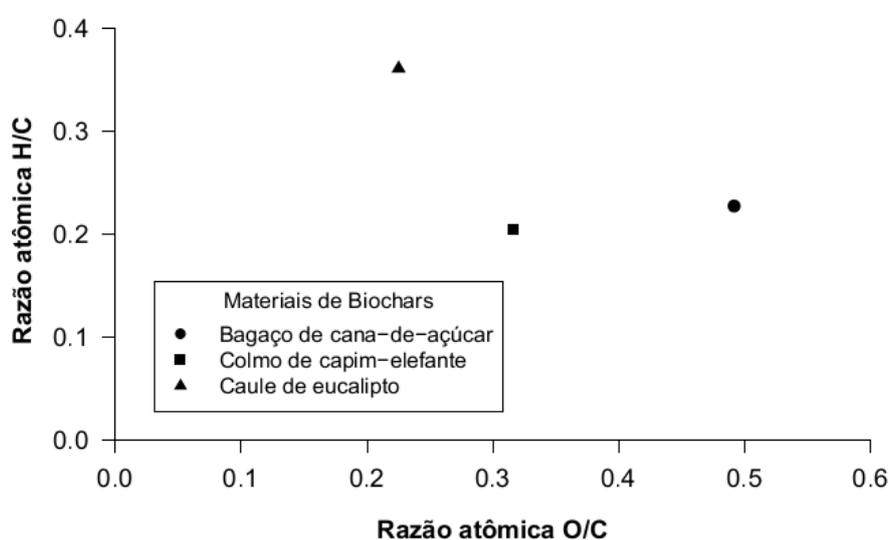


Figura 14 - Diagrama de Van Krevelen para os biochars estudados

As publicações sobre biochars têm comumente utilizado esse gráfico para fazer o comparativo entre o material não carbonizado com os seus respectivos carvões e entre carvões produzidos sob diferentes condições de temperatura (KRULL et al., 2009).

Segundo Canellas et al. (2005), a magnitude da relação H/C pode também ser usada para avaliação indireta das propriedades estruturais de substâncias húmicas, em que, por exemplo, um grau mais elevado de aromaticidade ou de insaturação conduz a valores relativos de H/C menores o que também é observado sobre as propriedade estruturais de biochars produzidos em diferentes temperaturas (TROMPOWSKY et al., 2005).

A maior relação O/C apresentada pelo biochar de bagaço de cana-de-açúcar (Figura 14) sugere maior presença de grupos funcionais oxigenados, tais como

hidroxilas e carboxilas, que ligados às estruturas aromáticas sugere a possível formação de radicais desprotonados (ambas as suposições também devido à sua baixa relação H/C). Esse comportamento pode tornar o biochar ativo, que associado a seu maior teor de cinzas, pode contribuir para elevar o pH em H₂O dos tratamentos via captura de prótons (H⁺), bem como aumentar a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, como pode ser verificado pelos baixos valores negativos de ΔpH (Tabela 15), à medida que se aumentam os doses desse biochar.

Tabela 15 - Valores de pH em H₂O e Δ pH em Latossolo submetido à aplicação de diferentes tipos e volumes¹ de biochars

Biochars	Cambissolo				
	Partes (v/v) ¹				
	160:1	80:1	40:1	20:1	10:1
	² pH H ₂ O				
Bagaço de cana-de-açúcar	5,11	5,1	5,13	5,21	5,22
Colmo de capim-elefante	5,07	5,1	5,26	5,55	6,11
Caule de eucalipto	5,05	5,05	5,04	4,99	4,94
	³ pH em KCl				
Bagaço de cana-de-açúcar	4,28	4,36	4,29	4,32	4,35
Colmo de capim-elefante	4,32	4,41	4,48	4,7	5,25
Caule de eucalipto	4,28	4,36	4,28	4,29	4,3
	⁴ Δ pH				
Bagaço de cana-de-açúcar	-0,83	-0,74	-0,84	-0,89	-0,87
Colmo de capim-elefante	-0,75	-0,69	-0,78	-0,85	-0,86
Caule de eucalipto	-0,77	-0,69	-0,76	-0,7	-0,64
	Latossolo				
	² pH H ₂ O				
Bagaço de cana-de-açúcar	4,75	4,79	4,85	4,97	5,03
Colmo de capim-elefante	4,81	4,8	5,11	5,32	5,79
Caule de eucalipto	4,82	4,74	4,72	4,71	4,67
	³ pH em KCl				
Bagaço de cana-de-açúcar	4,36	4,37	4,38	4,38	4,39
Colmo de capim-elefante	4,39	4,42	4,49	4,61	4,98
Caule de eucalipto	4,37	4,37	4,36	4,37	4,37
	⁴ Δ pH				
Bagaço de cana-de-açúcar	-0,39	-0,42	-0,47	-0,59	-0,64
Colmo de capim-elefante	-0,42	-0,38	-0,62	-0,71	-0,81
Caule de eucalipto	-0,45	-0,37	-0,36	-0,34	-0,3

¹v/v = Partes em volume de solo por parte em volume de biochar em que 160:1, 80:1, 40:1, 20:1 e 10:1 são as proporções equivalentes à: 0,621 %; 1,235 %; 2,439 %; 4,762 %; 9,091 %, respectivamente, de doses de biochar aplicada; ²pH em H₂O (relação 1:2,5), ³pH em KCl (relação 1:2,5), ⁴ Δ pH (pH em KCl - pH em H₂O) (Embrapa 1997).

Essas cargas negativas tenderiam a estar mais prontamente livres, devido à sua desprotonação, antes mesmo do material ser aplicado ao solo, permitindo então aos mesmos efetuarem ligações com as superfícies minerais positivas do solo ou mesmo interagirem com cátions metálicos formando pontes catiônicas entre os biochars e outras partículas (LIN et al. 2012).

Verifica-se ainda, que o biochar de caule de eucalipto apresenta maior relação H/C comparativamente aos outros biochars (Figura 14), o que pode estar relacionado com seus valores de pH em H₂O mais baixos (Tabela 15), efeito este reproduzido com aplicação de doses crescentes desse biochar, promovendo aumento da acidez em ambos os solos. Maiores doses desse biochar também proporcionaram aumento no balanço de cargas do solo como pode ser observado nos resultados do Δ pH (Tabela 15) dos tratamentos que receberam esse biochar, favorecendo a floculação, que é um dos mecanismos que favorecem a aproximação das partículas e a agregação dos solos. Isso é corroborado pelos valores superiores dos índices de agregação (DMG e DMP) observados para os agregados que receberam esse biochar, após separação via úmida (Contrastes C5, C8, C9 e C11) (Tabela 14).

Analisando o biochar de colmo de capim-elefante, pode-se verificar uma menor relação H/C em relação ao biochar de caule de eucalipto e uma menor relação O/C em relação ao biochar de bagaço de cana-de-açúcar (Figura 14), o que sugere uma maior aromaticidade e conseqüentemente maior recalcitrância desse material em comparação aos outros dois biochars. Esse comportamento pode ter influenciado a agregação dos solos, resultando em efeito reduzido sobre os valores de DMG e DMP observados para os agregados que receberam esse biochar, após separação via seca (Contrastes C8, C9, C10 E C11) (Tabela 14).

Ganhos em macroagregados com o incremento dos doses de biochar de colmo de capim-elefante podem estar relacionados com o aumento do pH em água de ambos os solos (Tabelas 15), elevando a atividade biológica (CAMPOS et al., 1995), contribuindo então para a agregação, o que se relaciona com a observação feita por Ouyang & Zhang (2012) e Awad (2013).

Foram ajustadas equações de regressão para os valores do DMG e DMP dos agregados, obtidos por peneiramento via seca (Figuras 15 e 16) e via úmida (Figuras 17 e 18), em função de doses de biochars.

Pelas Figuras 15 e 16, percebe-se que o Latossolo, quando submetido à aplicação de doses crescentes de biochar de bagaço de cana-de-açúcar, apresentou um

aumento de ambos os índices de agregação (DMG e DMP) até a dose de 4,762% (relação solo: biochar de 20:1), com posterior redução da agregação para doses de biochar mais elevadas; à exceção do DMG no intervalo de tempo de 42 dias, em que houve redução linear dos valores com o aumento do dose de biochar aplicado. Para o biochar de colmo de capim-elefante, observa-se uma redução da agregação com o incremento do dose de biochar adicionado ao Latossolo. Para o biochar de caule de eucalipto, não houve ajuste de modelos de regressão com coeficientes significativos para ambos índices de agregação do Latossolo.

Para o Cambissolo, não houve ajuste de equações de regressão para o DMG e DMP em função da aplicação dos doses crescentes de biochar de bagaço de cana-de-açúcar, na separação de agregados por via seca. Porém, para o biochar de colmo de capim-elefante, percebe-se que ambos índices de agregação aumentam até o dose de 4,762% (Relação solo: biochar de 20:1), reduzindo posteriormente os valores para doses de biochars mais elevados. Na presença de biochar de caule de eucalipto, só houve ajuste para DMP aos 42 dias, com incremento dos valores desse índice com o aumento dose de biochar aplicado (Figuras 15 e 16).

A redução dos valores de DMP e DMG observados com a aplicação de doses crescentes de biochar ou para os maiores doses de biochar (relação solo: biochar de 10:1), no peneiramento via seca, pode estar relacionado a três fatores: (i) a substituição dos volumes de materiais menores que 2 mm (solos) em detrimento dos volumes de partículas menores que 0,210 mm (biochars), substituição essa que foi maior para doses crescentes de biochars aplicados; (ii) tempo insuficiente para reação das partículas menores e (iii) a baixa reatividade dos materiais.

Esse comportamento pode ser observado de forma semelhante para a distribuição dos agregados separados por via seca, em que classes de menor tamanho apresentaram aumento percentual com maiores doses de biochars e classes de maior tamanho tiveram redução percentual com maiores doses dos biochars (Figuras 15 e 16).

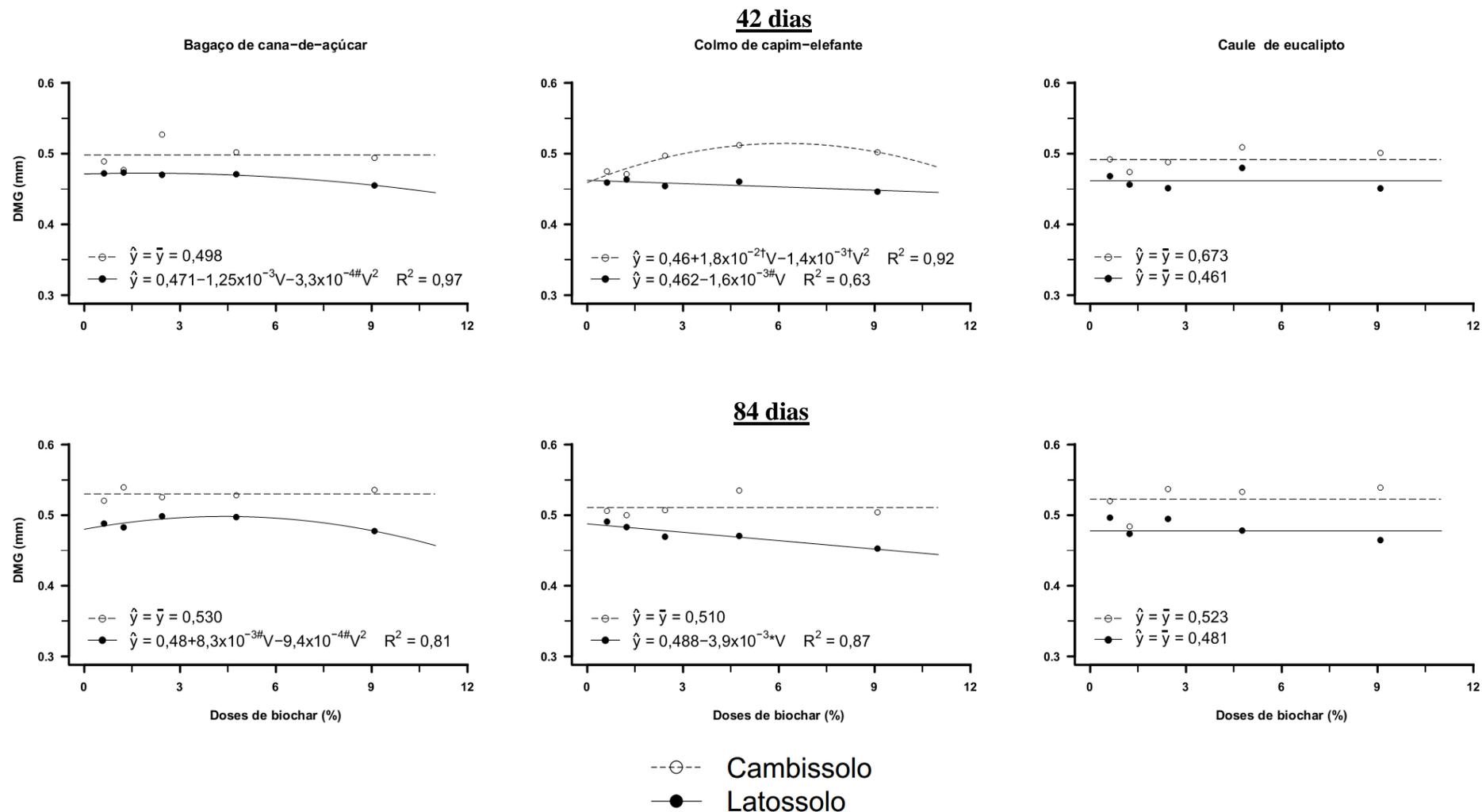
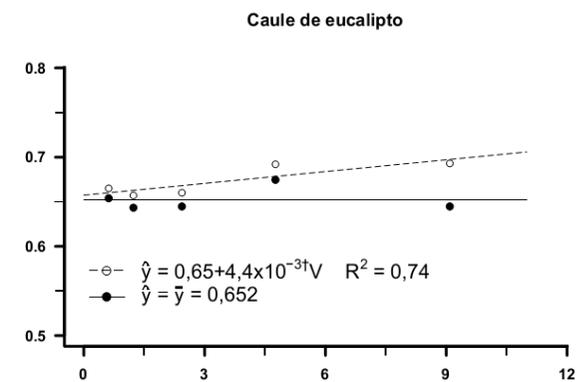
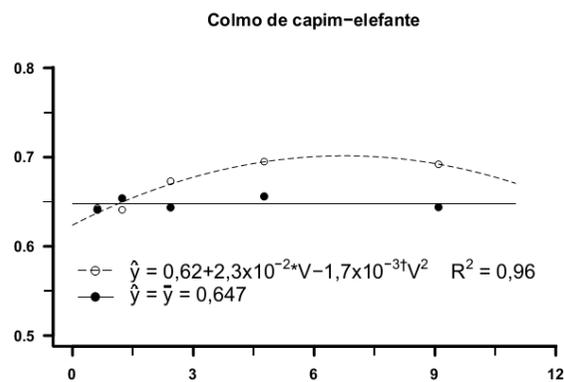
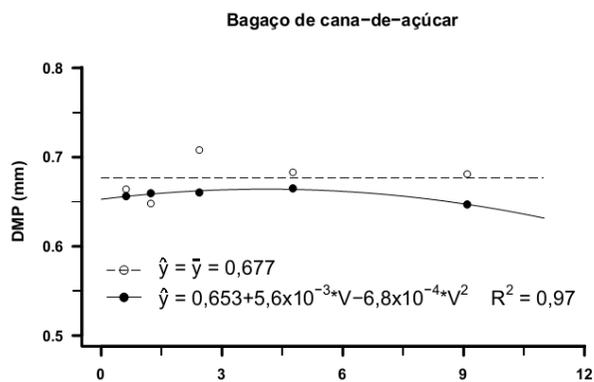
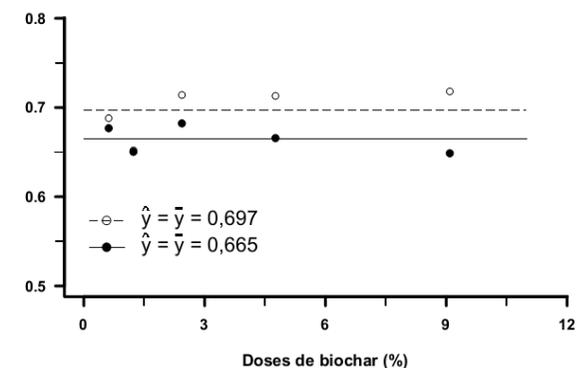
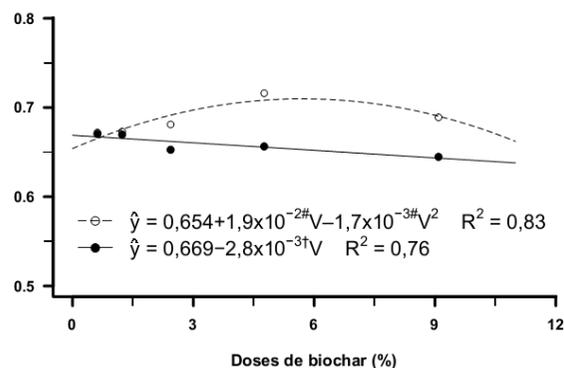
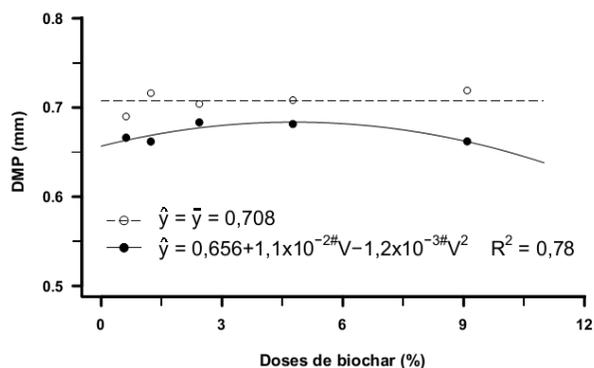


Figura 15 - Valores de DMG dos agregados em função dos doses de biochars, obtidos por peneiramento via seca, para diferentes solos, biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem (* significativo a 5 % pelo teste t; † significativo a 10 % pelo teste t e # significativo a 15 % pelo teste t)

42 dias



84 dias



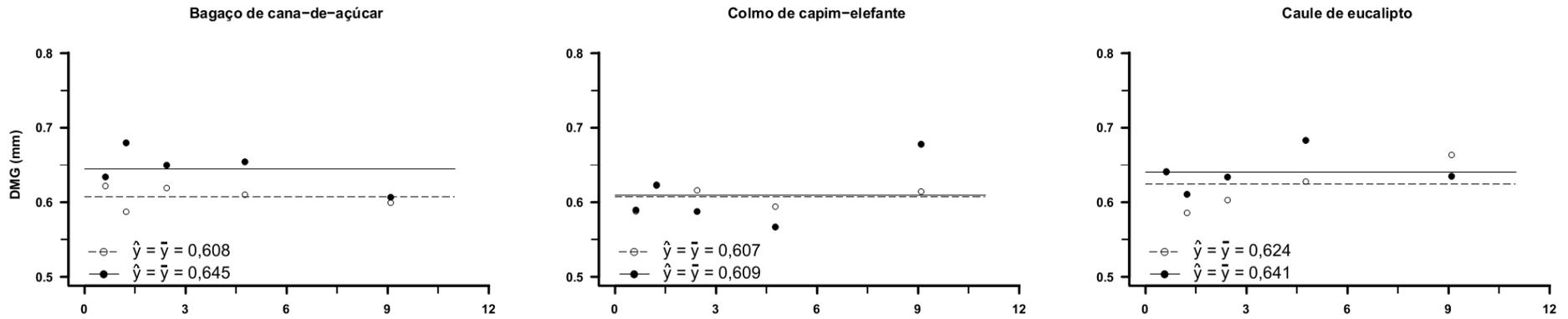
---○--- Cambissolo
 ---●--- Latossolo

Figura 16 - Valores de DMP dos agregados em função de doses de biochars, obtidos por peneiramento via seca, para diferentes solos, biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem (* significativo a 5 % pelo teste t; † significativo a 10 % pelo teste t e # significativo a 15 % pelo teste t)

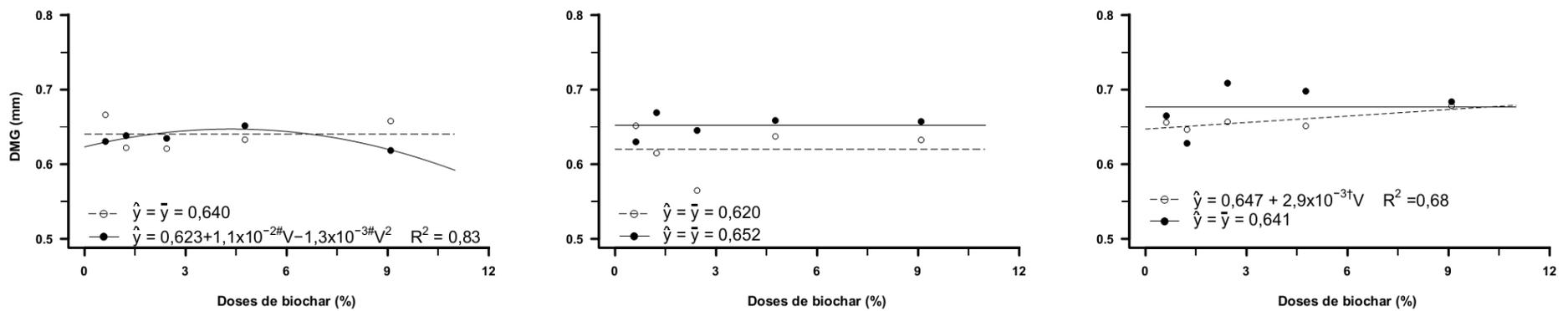
Para as avaliações realizadas pelo peneiramento via úmida, no intervalo de tempo de 42 dias não foram observados ajustes de modelos de regressão com coeficientes significativos em ambos os solos, diferente do comportamento observado no peneiramento via seco. Aos 84 dias, para o Latossolo, quando se utiliza biochar de bagaço de cana-de-açúcar, observa-se um incremento dos valores de ambos índices de agregação (DMG e DMP) até o dose de 4,762% (Relação solo: biochar de 20:1), com posterior redução da agregação para doses desse biochar mais elevados. Para o biochar de colmo de capim-elefante, semelhantemente aos 42 dias, não foram obtidos ajustes de modelos de regressão com coeficientes significativos em ambos os solos. Para o biochar de caule de eucalipto, só houve ajuste para DMG e DMP para o Cambissolo aos 84 dias, com incremento dos valores desses índices com o aumento dose de biochar aplicado (Figuras 17 e 18).

Portanto, percebe-se para as condições experimentais deste trabalho que os melhores ajustes de equações de regressão para os valores de DMG e DMP dos agregados de ambos os solos em função dos doses de biochars aplicados foram obtidos pelo peneiramento via seco.

42 dias



84 dias



---○--- Cambissolo

—●— Latossolo

Figura 17 - Valores de DMG dos agregados em função dos doses de biochars, obtidos por peneiramento via úmida, para diferentes solos, biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem († significativo a 10 % pelo teste t e # significativo a 15 % pelo teste t)

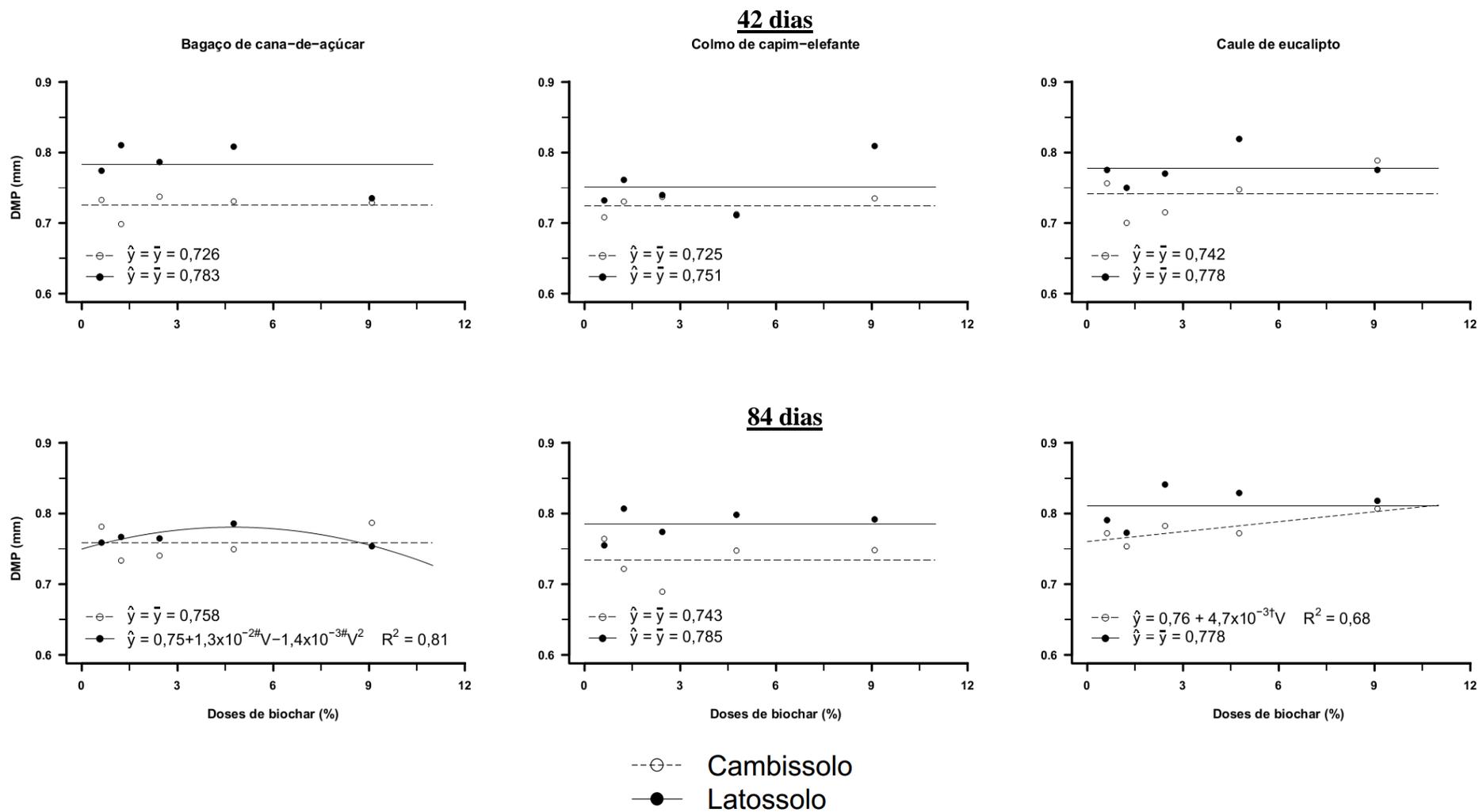


Figura 18 - Valores de DMP dos agregados em função dos doses de biochars, obtidos por peneiramento via úmida, para diferentes solos, biochars e intervalos de tempo relacionados aos ciclos de umedecimento e secagem († significativo a 10 % pelo teste t e # significativo a 15 % pelo teste t)

5 CONCLUSÕES

A agregação de ambos os solos foi favorecida com os ciclos de umedecimento e secagem, sendo as respostas em agregação diferenciadas segundo a combinação solo, tipo e dose de biochar, tempo e método de separação dos agregados.

De forma geral, há uma predominância de agregados nas classes de maior diâmetro médio. Para o Cambissolo, os valores de diâmetro médio associados à proporção máxima de agregados variaram de 0,879 a 0,964 mm e para o Latossolo de 0,779 a 1,125 mm .

O intervalo de 84 dias de ciclos de umedecimento e secagem apresentou maiores valores dos índices de agregação em relação ao intervalo de 42 dias, em ambos os solos.

Na separação dos agregados pelo método via seca, o Cambissolo apresentou maior agregação em relação ao Latossolo, contudo, na separação via úmida, o Latossolo apresentou maior proporção de macroagregados.

Os biochars apresentaram resposta diferenciada em agregação, conforme o solo, o intervalo de tempo relacionado aos ciclos de umedecimento e secagem e o método de separação dos agregados.

A utilização de biochar de bagaço de cana-de-açúcar proporcionou maior estabilidade de agregados separados por via seca em relação aos biochars de colmo de capim-elefante e de caule de eucalipto.

A estabilidade de agregados separados por via úmida foi superior quando se utilizou biochar de caule de eucalipto em relação aos biochars de bagaço de cana-de-açúcar e de colmo de capim-elefante.

Foram obtidos ajustes de equações de regressão diferenciados para os valores de DMG e DMP dos agregados em função dos volumes de biochars aplicados, obtidos em ambos os solos e métodos de separação, sendo o peneiramento via seco o que permitiu melhores ajustes.

6 REFERÊNCIAS

ABEL, S.; PETERS, A.; TRINKS, S.; SCHONSKY, H.; FACKLAM, M.; WESSOLEK, G.: Impact of biochar and hydrochar addition on water retention and water repellency of sandy soil, **Geoderma**, 202-203:183-191, 2013.

ALMEIDA, B. G. de; DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; BRAIDA, J. A.; VIANA, J. H. M.; REICHERT, J. M. M.; OLIVEIRA, L. B.; CEDDIA, M. B.; WADT, P. G. S.; FERNANDES, R. B. A.; PASSOS, R. R.; DECHEN, S. C. F.; KLEIN, V. A.; TEIXEIRA, W. G. Padronização de métodos para análise granulométrica no Brasil. Embrapa Solos, 2012. 11 p. (**Embrapa Solos: Comunicado Técnico, 66**).

ANGERS, D.A. & MEHUYS, G.R. Effects of cropping on carbohydrate content and water stable aggregation of a clay soil. **Canadian Journal of Soil Science**, 69:373-380, 1989.

AWAD, Y. M.; BLAGODATSKAYA, E.; OK, Y. S.; KUZYAKOV, Y. Effects of polyacrylamide, biopolymer and biochar on the decomposition of ¹⁴C-labelled maize residues and on their stabilization in soil aggregates. **European Journal of Soil Science**, 64:488-499, 2013.

BASTOS, R.S.; MENDONÇA, E.S.; ALVAREZ, V.H. CORRÊA, M. M. COSTA, L. M. da. Formação e estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 29:11-20, 2005.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I. & ROQUE, C.G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:829-834, 2002.

BRODOWSKI, S.; B. JOHN, H.; FLESSA, W.; AMELUNG, Aggregate occluded black carbon in soil. **European Journal of Soil Science**, 57:539–546, 2006.

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

BUSSCHER W.J.; NOVAK J.M.; EVANS D.E.; WATTS D.W.; NIANDOU M.A.S.; AHMEDNA M. Influence of pecan biochar on physical properties of a Norfolk loamy sand. **Soil Science**, 175:10-14, 2010.

CAMPOS, B.C.; REINERT, D.J. & NICOLODI, R. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 19:121-125, 1995.

CANELLAS, L.P; SANTOS, G. de A. **Humusfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes: UENF, 2005. 310p.

CARVALHO, M. A. de. Retenção de água e outros atributos físicos de agregados de um Latossolo Vermelho-Escuro. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1998. (**Tese de Doutorado**).

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O. & PODANOSCHI, A.L. Estabilidade de 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.

CHIA, C. H., MUNROE, P., JOSEPH, S. D., LIN, Y., LEHMANN, J., MULLER, D. A., XIN, H. L. NEVES, E. Analytical electron microscopy of black carbon and microaggregated mineral matter in Amazonian dark Earth, **Journal of Microscopy**, 245:29–139, 2011.

DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. **Soils & Tillage Research**, 11:199-238, 1988.

DORODNIKOV, M.; BLAGODATSKAYA, E.; BLAGODATSKY, S.; MARHAN, S.; FANGMAIER, A.; KUZYAKOV, Y. Stimulation of microbial extracellular enzyme activities by elevated CO₂ depends on aggregate size. **Global Change Biology**, 15:1603–1614, 2009.

EDWARDS, A P.; BREMER, J.M. Microaggregates in soil. **Journal of Soil Science**, 18:64-73, 1967.

EMERSON, W.W. The structure of soil crumbs. **Journal of Soil Science**, 10:235-244, 1959.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA — EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.

FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Mineralogia da fração argila e estrutura de Latossolos da região Sudestado Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:507-514, 1999.

FIGUEREDO, N. A. de. Caracterização química e mineralógica de carvões vegetais coletados em diferentes ambientes. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2012. 62 p. (**Dissertação de Mestrado**).

GLASER, B.; BALASHOV, E.; HAUMAIER, L.; GUGGENBERGER, G.; ZECH, W. Black carbon in density fractions of anthropogenic soils of the Brazilian Amazon region. **Organic Geochemistry**, 31:669-678, 2000.

HERATH, H.M.S.K.; CAMPS-ARBESTAIN, M.; HEDLEY, M. Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol. **Geoderma** 209:188–197, 2013.

HUA, L.; LU, Z.; MA, H.; JIN, S. Effect of biochar on carbon dioxide release, organic carbon accumulation, and aggregation of soil. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, 33:941-946, 2013.

JIEN, S.H.; WANG, C.S. Effects of biochar on soil properties and erosion potential in a highly weathered soil. **Catena**, 110:225–233, 2013.

JOSEPH, S.D., CAMPS-ARBESTAIN, M., LIN, Y., MUNROE, P., CHIA, C.H., HOOK, J., VAN ZWIETEN, L., KIMBER, S., COWIE, A., SINGH, B.P., LEHMANN, J., FOIDL, N., SMERNIK, R.J., AMONETTE, J.E., An investigation into the reactions of biochar in soil. **Australian Journal Soil Reseach**. 48:501–515, 2010.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy. Part 1: Physical and mineralogical methods, 1986. p. 425-443.

KRULL E.; J.A.; BALDOCK, J.; SKJEMSTAD, J. O.; SMERNIK, R. J. Characteristics of biochar: Organo-chemical properties. In: LEHMANN J., JOSEPH, S. Ed. **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. p. 53–66, 2009.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. **Biochar for Environmental Management: Science and Technology**. Earthscan, London. 416 p. 2009

LIANG, B.; LEHMANN, J.; SOLOMON, D.; KINYANGI, J.; GROSSMAN, J.; O'NEILL, B.; SKJEMSTAD, J.O.; THIES, J.; LUIZÃO, F.J.; PETERSEN, J. & NEVES, E.G. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. **Soil Science Society American Journal**, 70:1719-1730, 2006.

LIN, Y.; MUNROE, P.; JOSEPH, S.; KIMBER, S.; VAN ZWIETEN, L. Nanoscale organomineral reactions of biochars in ferrosol: an investigation using microscopy. **Plant Soil**, 357:369–380. 2012.

MUKHERJEE, A. LAL, R.: Biochar impacts on soil physical properties and greenhouse gas emissions, **Agronomy**, 3:313–339, 2013.

NOVAK, J.M., LIMA, I.M., XING, B., GASKIN, J.W., STEINER, C., DAS, K.C., AHMEDNA, M., REHRAH, D., WATTS, D.W., BUSSCHER, W.J., SCHOMBERG, H., Charcaterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. **Annals of Environmental Science**, 3: 195-206, 2009.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, 76:319-337, 1984.

OUYANG, L., ZHANG, R. Effects of biochars derived from different feedstocks and pyrolysis temperatures on soil physical properties. **Journal of Soils and Sediments**, 13:1561-1572, 2013.

PEREIRA, R. G.; HEINEMANN, A. B.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. M.; KLIEMANN, H. J.; AND DOSSANTOS, A. P.: Transpiration response of upland rice to water deficit changed by different levels of eucalyptus biochar, **Pesquisa Agropecuaria. Brasileira**, 47: 716–721, 2012.

PRONK, G.J.; HEISTER, K.; DING, G. C.; SMALLA, K.; KÖGEL-KNABNER, I.; Development of biogeochemical interfaces in an artificial soil incubation experiment; aggregation and formation of organo-mineral associations. **Geoderma**, 189-190: 585-594, 2012.

QIAN L.; CHEN, B. Interactions of Aluminum with Biochars and Oxidized Biochars: Implications for the Biochar Aging Process. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 62:373–380, 2014.

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

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, 11:3-18, 1985.

RUIZ, H.A.; CARVALHO, M.A. Retenção de água em agregados de um Latossolo Vermelho Escuro. In: BALBUENA, R.H.; BENEZ, S.H.; JORAJURIA, D. eds. **Avances en el manejo del suelo y agua en la ingeniería rural Latinoamericana**. La Plata-Argentina, Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, p.153-158, 1998.

SIEBENEICHLER, E. A. Características químicas e físicas de carvão de eucalipto (*Eucalyptus cloeziana*). Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2011. 54 p. (**Dissertação de Mestrado**).

SIX, J., PAUSTIAN, K., ELLIOTT, E.T., COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, 64:681–689, 2000.

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

SPAIN, J.M.; GUALDRÓN, R. Degradación y rehabilitación de pasturas. In: LASCANO, C.E.; SPAIN, J.M. (Eds.). **Establecimiento y renovación de pasturas**. CIAT. Cali. 269-283, 1988.

SULLIVAN, L.A. Soil organic matter, air encapsulation and water stable aggregation. **Journal of Soil Science**, 41:529-534, 1990.

SUN, F.; LU, S. Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, 177:26-33, 2014.

TANG J, MO Y, ZHANG J, ZHANG R. Influence of biological aggregating agents associated with microbial population on soil aggregate stability. **Applied Soil Ecology**, 47:153–159, 2011.

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

TROMPOWSKY, P.M.; BENITES, V.M.; MADARI, B.E.; PIMENTA, A.S.; HOCKADAY, W.C. & HATCHER, P.G. Characterization of humic like substances obtained by chemical oxidation of eucalyptus charcoal. **Organic Geochemistry**, 36:1480-1489, 2005.

TRYON, E. H.: Effect of charcoal on certain physical, chemical and biological properties of forest soils, **Ecological Society of America**, 18:81–115, 1948.

VAN KREVELEN, D.W. Graphical-statistical method for the study of structure and reaction processes of coal. **Fuel**, 29:269-284, 1950.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 19:1467-1476, 1988.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society Agronomy**, 28:337-351, 1936.

APÊNDICE

APÊNDICE A

Quadro 1 - Análise de variância do DMG e DMP obtidos por peneiramento via seca e peneiramento por via úmida

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		Peneiramento via seca		Peneiramento via úmida	
		DMG	DMP	DMG	DMP
Bloco	2	0,00038	0,00055	0,00080	0,00124
Tempo	1	0,02387***	0,01473***	0,02750**	0,02038**
Dose	4	0,00153*	0,03116***	0,00174	0,00295
Biochar	2	0,00265**	0,00252*	0,01190*	0,01229**
Solo	1	0,05765***	0,00297***	0,01288*	0,05579***
Tempo*Dose	4	0,00012	0,00150	0,00036	0,00012
Tempo*Biochar	2	0,00031	0,00022	0,00224	0,00258
Dose*Biochar	8	0,00043	0,00005	0,00334	0,00269
Tempo*Solo	1	0,00070	0,00021	0,00014	0,00100
Dose*Solo	4	0,00213**	0,00281**	0,00231	0,00370
Biochar*Solo	2	0,00000	0,00052	0,00001	0,00014
Tempo*Dose*Biochar	8	0,00051	0,00011	0,00216	0,00245
Tempo*Dose*Solo	4	0,00027	0,00027	0,00147	0,00090
Tempo*Biochar*Solo	2	0,00008	0,00073	0,00500	0,00530
Dose*Biochar*Solo	8	0,00027	0,00035	0,00203	0,00180
Tempo*Dose*Biochar*Solo	8	0,00031	0,00044	0,00118	0,00095
Cambissolo					
Dose/42 dias/Bagaço de cana	4	0,00102 ⁽¹⁰⁾	0,00155*	0,00062	0,00072
Dose/42 dias/Capim-elefante	4	0,00092	0,00200**	0,00068	0,00054
Dose/42 dias/Eucalipto	4	0,00054	0,00092	0,00281	0,00366
Cambissolo					
Dose/84 dias/Bagaço de cana	4	0,00018	0,0004	0,00131	0,00177
Dose/84 dias/Capim-elefante	4	0,00058	0,00094	0,0034	0,00258
Dose/84 dias/Eucalipto	4	0,00159*	0,00234**	0,00044	0,00114
Latossolo					
Dose/42 dias/Bagaço de cana	4	0,00017	0,00014	0,00218	0,00283
Dose/42 dias/Capim-elefante	4	0,00014	0,00014	0,00567 ⁽¹⁰⁾	0,00418 ⁽¹⁰⁾
Dose/42 dias/Eucalipto	4	0,00047	0,00052	0,00208	0,00192
Latossolo					
Dose/84 dias/Bagaço de cana	4	0,00025	0,00034	0,00044	0,00044
Dose/84 dias/Capim-elefante	4	0,00064	0,00037	0,00067	0,00129
Dose/84 dias/Eucalipto	4	0,00057	0,00069	0,00302	0,00237
Resíduo	118	0,00046	0,00057	0,00261	0,00249
CV %		6,53	4,72	8,21	7,02

*** Significativo a 0,1% pelo teste F; ** significativo a 1% teste F e * significativo a 5% pelo teste F. Valores entre parênteses referentes a significâncias iguais a 10 % teste F.