
CINZA DE CASCA DE ARROZ COMO ALTERNATIVA PARA MELHORAR A QUALIDADE ESTRUTURAL DE UM ARGISSOLO

Ivana Kruger Tuchtenhagen, Cláudia Liane Rodrigues de Lima, Eloy Antonio Pauletto
Ledemar Carlos Vahl e Lizete Stumpf

RESUMO

Argissolos franco-arenosos, frequentemente, encontram-se degradados devido ao uso e manejo inadequados. Considerando que a incorporação da cinza de casca de arroz (CCA) pode ser uma alternativa ao incremento da qualidade e da produtividade agrícola destes solos, objetivou-se avaliar a qualidade estrutural de um Argissolo Vermelho Amarelo sob diferentes doses de CCA. Em um experimento a campo, incorporou-se na camada superficial do solo (0-0,10m), doses de CCA equivalentes a 0, 20, 40, 80 e 120Mg-ha⁻¹. Quantificou-se a densidade (Ds), a porosidade total (Pt), a agregação, a resistência tênsil de agre-

gados (RT) e a friabilidade (F). Conclui-se que a Ds, a Pt e a macroporosidade (Ma) foram eficientes na avaliação da qualidade estrutural do solo. Os valores de Ds estiveram abaixo do limite crítico e, portanto, favoráveis ao crescimento radicular de plantas cultivadas em solos franco-arenosos. Doses >52Mg-ha⁻¹ podem proporcionar valor de Ma acima do considerado restritivo (10%) ao desenvolvimento radicular da maioria das culturas agrícolas. O diâmetro médio ponderado de agregados diminuiu linearmente com as doses de CCA, enquanto a RT e a F não foram influenciadas pela adição deste resíduo.

Introdução

A industrialização do arroz gera a casca de arroz que, devido ao seu alto poder calorífico (16,7MJ·kg⁻¹) e seu baixo custo é amplamente utilizada para produção de energia tér-

mica em processos de secagem e parboilização de grãos. A queima da casca de arroz origina a cinza de casca de arroz (CCA), que equivale, em média, a 15% da massa da casca utilizada no processo (Gonçalves e Bergmann, 2007). De

acordo com as normas da ABNT (NBR10004, 2004), a CCA pode ser classificada como um resíduo não inerte (classe II) e não perigoso ao ambiente.

Embora muitos produtores, de forma empírica, já utili-

zem este resíduo agroindustrial, estudos têm sido realizados na obtenção de maior conhecimento sobre o efeito e a viabilidade de sua incorporação principalmente em Argissolos (Islabão *et al.*, 2014). Os Argissolos são

PALAVRAS-CHAVE / Agregação / Densidade do Solo / Porosidade do Solo / Resistência Tênsil de Agregados /

Recebido: 27/04/2016. Aceito: 10/02/2017.

Ivana Kruger Tuchtenhagen. Tecnóloga em Saneamento Ambiental, Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSul), Brasil. Mestre e Doutoranda em Ciências, Universidade Federal de Pelotas (UFPel), Brasil. Endereço: UFPel, Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do

Solo e da Água, FAEM. Campus Universitário, s/n. Caixa Postal 354. CEP 96010-900 Pelotas (RS). Brasil. e-mail: ivanatuchtenhagen@gmail.com
Cláudia Liane Rodrigues de Lima. Engenheira Agrícola e Mestre em Agronomia, UFPel, Brasil. Doutora em Agronomia, Universidade de

São Paulo, (USP), Brasil. Professora, UFPel, Brasil.

Eloy Antonio Pauletto. Agrônomo, UFPel, Brasil. Mestre e Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Brasil. Professor, UFPel, Brasil.
Ledemar Carlos Vahl. Agrônomo, UFPel, Brasil. Mestre e Doutor

em Agronomia Solos, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (UFRGS). Professor, UFPel, Brasil.

Lizete Stumpf. Agrônoma, Mestre e Doutora em Agronomia, UFPel, Brasil. Professora, Universidade Federal de Rio Grande (UFRG), Brasil.

CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ COMO ALTERNATIVA PARA MEJORAR LA CALIDAD ESTRUCTURAL DE UM ARGISOL

Ivana Kruger Tuchtenhagen, Cláudia Liane Rodrigues de Lima, Eloy Antonio Pauletto Ledemar Carlos Vahl y Lizete Stumpf

RESUMEN

Argisoles franco arenosos, frecuentemente, se encuentran degradados debido al uso y manejo inadecuados. Considerando que la incorporación de la ceniza de cáscara de arroz (CCA) puede ser una alternativa al incremento de la calidad y de la productividad agrícola de estos suelos, se objetivó evaluar la calidad estructural de un Argisol Rojo Amarillo bajo diferentes dosis de CCA. En un experimento de campo, se incorporó en la capa superficial del suelo (0-0,10m), dosis de CCA equivalentes a 0, 20, 40, 80 y 120Mg-ha⁻¹. Se cuantificó la densidad (Ds), la porosidad total (Pt), la agregación, la resistencia tensil de agregados (RT) y

la friabilidad (F). Se concluye que la Ds, la Pt y la macro porosidad (Ma) fueron eficientes durante la evaluación de la calidad estructural del suelo. Los valores de Ds se ubicaron por debajo del límite crítico y, por lo tanto, favorables al crecimiento radicular de plantas cultivadas en suelos franco arenosos. Dosis >52Mg-ha⁻¹ pueden proporcionar valor de Ma por encima de lo considerado restrictivo (10%) al desarrollo radicular de la mayoría de las culturas agrícolas. El diámetro promedio ponderado de agregados disminuyó linealmente con las dosis de CCA, mientras que la RT y la F no fueron influenciadas por la adición de este residuo.

RICE HUSK ASH AS ALTERNATIVE TO IMPROVE THE STRUCTURAL QUALITY OF A TYPIC HAPLUDULT

Ivana Kruger Tuchtenhagen, Cláudia Liane Rodrigues de Lima, Eloy Antonio Pauletto Ledemar Carlos Vahl and Lizete Stumpf

SUMMARY

Typic Hapludult sandy loam is frequently degraded because of inadequate use and management. Considering that the incorporation of rice husk ash (RHA) may be an alternative to improve the quality and agricultural productivity of these soils, the objective of this study was to evaluate the structural quality of a Typic Hapludult under different rates of RHA incorporation. In a field experiment we applied on the soil superficial layer (0-0.10m) rates of RHA of 0, 20, 40, 80 and 120Mg-ha⁻¹. We quan-

tified the bulk density (Bd), total porosity (Tp), aggregation, tensile strength (TS) and friability (F). The results showed that Bd, Tp and macroporosity (Ma) were efficient in the evaluating the soil structural quality. The Bd results were below of critical value of root growth to sandy-loam soils. Rates >52Mg-ha⁻¹ provided Ma above that considered restrictive (10%) to crop root development. The mean diameter of aggregates decreased linearly with RHA rates, while TS and F were not influenced.

solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou alta conjugada com saturação de bases na maior parte do horizonte B (Embrapa, 2013). O horizonte A, normalmente possui textura franco-arenosa e não atinge mais que 0,30m. Em função destas características esses solos são altamente suscetíveis a degradação física pelo uso agrícola.

Teixeira *et al.* (2000) e Flores *et al.* (2008) demonstraram que a adição de resíduos culturais e a implementação do sistema de plantio direto apresentam efeitos benéficos à qualidade estrutural dos Argissolos. Lima *et al.* (2010) ainda indicam valores restritivos ao crescimento de culturas em estes solos sob plantio direto. Associado a este aspecto, foram evidenciados alguns efeitos positivos da incorporação da CCA em Argissolos como corretivo da acidez (Islabão *et al.*, 2014) e fonte de cálcio e magnésio (Nolla *et al.*, 2010). No entanto, é pouco

conhecido o impacto da incorporação deste residuo em diferentes parâmetros físicos principalmente associados à qualidade estrutural de Argissolos.

Estudos indicam que o conhecimento da qualidade estrutural tem sido originado da avaliação de atributos como densidade e porosidade (Cherubin *et al.*, 2015), distribuição de agregados estáveis em água e diâmetro médio ponderado dos agregados (Salton *et al.*, 2008), resistência tensil de agregados (RT) e friabilidade de solos agrícolas (Imhoff *et al.*, 2002; Reis *et al.*, 2014).

Na possibilidade de tornar este resíduo agroindustrial útil a sociedade e indicar dosagens específica para produtores rurais que possam incrementar a produtividade agrícola, objetivou-se avaliar a qualidade estrutural a partir da densidade, porosidade, agregação, resistência tensil de agregados e friabilidade, após 36 meses de incorporação de diferentes doses de CCA, na camada de superficial (0-0,10m) de um Argissolo Vermelho Amarelo.

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido no Centro Agropecuário da Palma, Universidade Federal de Pelotas, situado no município do Capão do Leão, Rio Grande do Sul, Brasil, em E357.860 N6.480.490, UTM zona 22 datum WGS84, sendo o clima dominante temperado (Cfa), pela classificação de Köppen. O solo é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (Severo, 1999), com textura franca arenosa contendo 156,9g·kg⁻¹ de areia; 616,9g·kg⁻¹ de silte; e 226,2g·kg⁻¹ de argila.

A CCA utilizada para implantação do experimento foi fornecida pela empresa Irgovel (Indústrias de Óleos Vegetais do Rio Grande do Sul) em Pelotas, RS (Islabão *et al.*, 2014). As unidades experimentais foram instaladas em abril de 2010, em um delineamento experimental de blocos ao acaso e quatro repetições. Parcelas de 24m² (4×6m) receberam doses de CCA equivalentes a 20, 40, 80 e 120Mg-ha⁻¹, as quais foram incorporadas na camada

superficial do solo com auxílio de enxada rotativa. Como testemunha foi utilizado um tratamento que representa o solo sem adição de CCA (0Mg-ha⁻¹). Posteriormente, a área experimental permaneceu em pousio, sendo revegetada por espécies nativas, até o período de amostragem que ocorreu 36 meses após a adição de CCA, na camada de solo de 0-0,10m.

Foram coletadas 60 amostras de solo com estrutura preservada, utilizando cilindros de aço inox de 0,25m de altura e 0,70m de diâmetro (cinco tratamentos × quatro blocos × três repetições) para a determinação da densidade do solo (Ds; Blake e Hartge, 1986), da macroporosidade (Ma), da microporosidade (Mi) e da porosidade total (Pt) (Embrapa, 2011). Outras 40 amostras com estrutura não preservada (cinco tratamentos × quatro blocos × duas repetições) foram utilizadas para a caracterização granulométrica (Gee e Bauder, 1986).

Com amostras deformadas determinou-se o diâmetro

médio ponderado de agregados estáveis em água (DMP; Kemper e Rosenau, 1986 modificado por Palmeira, 1999), os macro e microagregados de acordo com Tisdall e Oades (1982), utilizando um aparelho de oscilação vertical (Yoder, 1936), a resistência tênsil de agregados (RT); (Imnhoff *et al.*, 2002; Dexter e Kroesbergen, 1985) e a friabilidade do solo (F); (Watts e Dexter, 1998).

Para o cálculo do DMP utilizou-se a equação:

$$DMP = \frac{\sum_{i=1}^n (MAGRi - m_i)}{\sum_{i=1}^n MAGRi - m_i}$$

onde DMi: diâmetro médio da classe i (mm), MAGRi: massa de agregados + material inerte na classe i (g), e mi: massa de material inerte (cascalho, areia, raízes, restos de cultura, etc.) na classe i (g).

Para a determinação da RT foram selecionados 2000 agregados (5 tratamentos × 4 blocos × 2 repetições × 50 agregados). Cada agregado foi mensurado quanto à massa e aferido com um paquímetro, obtendo-se o diâmetro médio a partir de sua altura, sua largura e seu comprimento, obtendo uma média de 15,75mm. Posteriormente foi submetido ao teste de tensão indireta para determinação da RT, com auxílio de um atuador eletrônico linear modelo MA933, a uma velocidade constante de 4mm·s⁻¹.

A RT (kPa) e o diâmetro efetivo dos agregados (D) foram quantificados conforme Dexter e Kroesbergen (1985):

$$RT = 0,576 \left(\frac{P}{D^2} \right)$$

sendo 0,576 a constante de proporcionalidade, refletindo a relação entre o estresse compressivo aplicado e o estresse tênsil gerado no interior do agregado; P: a força aplicada (N), e D: o diâmetro efetivo (mm):

$$D = Dm \left(\frac{M}{M_0} \right)^{\frac{1}{3}}$$

onde Dm: diâmetro médio do agregado (mm), M: massa do agregado individual (g), e M₀: massa média dos agregados obtidos na população (g).

A friabilidade do solo foi estimada pelo método do coeficiente de variação, proposto por Watts e Dexter (1998):

$$F = \frac{\sigma_Y}{Y} \pm \frac{\sigma_Y}{Y\sqrt{2n}}$$

onde F: friabilidade do solo, σ_Y : desvio-padrão dos valores médios da RT, Y: média de todos os valores de RT, e n: número de repetições, sendo o segundo termo o erro padrão do coeficiente de variância. A friabilidade foi classificada com base nos valores de F (adimensional) propostos por Imhoff *et al.* (2002) como: não friável (<0,10), ligeiramente friável (0,10-0,20), solo friável (0,20-0,50), muito friável (0,50-0,80) e mecanicamente instável (> 0,80).

Após os ensaios, todos os agregados utilizados na avaliação da RT e F foram secos em estufa a 105°C por 24h, determinando-se a umidade gravimétrica conforme Embrapa (2011).

Para quantificação do carbono orgânico total selecionou-se 200 agregados adicionais (5 tratamentos × 4 blocos × 10 agregados), os quais foram moídos em gral de ágata e individualmente acondicionados em Ependorf de 2ml e avaliados em analisador elementar Perkin Elmer por combustão à seco.

A relação entre as variáveis quantificadas e as dosagens de CCA foi realizada por meio de regressão linear. Correlações simples de Pearson foram estabelecidas entre todas as variáveis, com significância pelo teste t. Todas as análises foram realizadas por meio do software estatístico Sigmaplot (2008).

Resultados e Discussão

Os resultados apresentados na Figura 1a, indicam que o aumento das concentrações de CCA proporcionou modificações na densidade do solo (Ds), obtendo-se um decréscimo de 1,66Mg·m⁻³ (0 Mg·ha⁻¹)

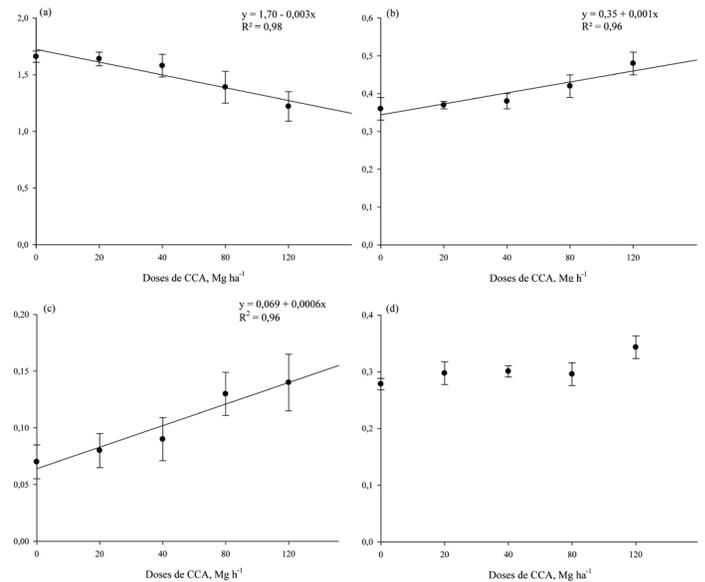


Figura 1. Regressão linear entre as dosagens de cinza de casca de arroz (CCA) e a densidade do solo (a), a porosidade total (b), a macroporosidade (c) e a microporosidade (d) de um Argissolo Vermelho Amarelo na camada de 0-0,10m. Barras verticais indicam o desvio padrão da média. A regressão foi realizada com a média geral dos cinco tratamentos.

para 1,22Mg m⁻³ (120Mg·ha⁻¹). Estes valores estão abaixo do limite crítico ao crescimento adequado do sistema radicular das plantas cultivadas em solo franco-arenoso, os quais variam de 1,70 a 1,80Mg·m⁻³ (Reichert *et al.*, 2003), corroborando com Islabão (2013).

Em relação a porosidade total (Pt) e a macroporosidade (Ma) observa-se uma tendência de aumento do volume total de poros com a elevação das doses de CCA (Figuras 1b e c, respectivamente). Os valores de Ma são menores em relação aos apresentados por Islabão (2013) devido, possivelmente, ao tempo de aplicação da CCA, que possibilitou uma reacomodação e reconsolidação deste solo.

Verifica-se que doses inferiores a 52Mg·ha⁻¹ proporcionaram valores da Ma <0,10m³·m⁻³ (Figura 1c), considerados restritivos ao desenvolvimento radicular da maioria das culturas agrícolas (Taylor *et al.*, 1966; Girardelo *et al.*, 2011). Valores similares de Mi foram verificados nas doses 0Mg·ha⁻¹ a 80Mg·ha⁻¹, com incremento na dose de 120Mg·ha⁻¹ (Figura 1d).

O potencial de melhoria da estrutura do solo, em função das doses de CCA aplicada, se torna mais evidente quando se

observa o solo sem adição de CCA (0Mg·ha⁻¹). Os tratamentos com CCA proporcionaram valores de Ds; de 2,77 a 33,33% inferiores de Ds; de 2,77 a 33,33% superiores de Pt; e de 1,14 a 100% superiores de Ma à medida que houve aumento das concentrações de CCA (Figuras 1a, b e c, respectivamente).

A adição de CCA ao solo proporcionou diminuição dos valores do DMP e da porcentagem de macroagregados e aumento dos valores de microagregados (Figuras 2a, b). As maiores reduções na porcentagem de macroagregados e nos valores de DMP em relação ao tratamento sem adição de CCA (0Mg·ha⁻¹) ocorreram na dose de 80Mg·ha⁻¹ (5,98 e 21,33% respectivamente) e no tratamento com 120Mg·ha⁻¹ (10,81 e 32,34% respectivamente). Este resultado advém, possivelmente, da sílica amorfa existente na CCA (410,5g·kg⁻¹; Islabão, 2013), o que dificultou a ligação entre as partículas do solo com a maior dose de CCA e, ao pouco tempo de aplicação deste resíduo ao solo.

Em relação à RT, os tratamentos com diferentes doses de CCA oscilaram entre 62,83 e 57,60 kPa, sendo o maior e o menor valor proporcionado no

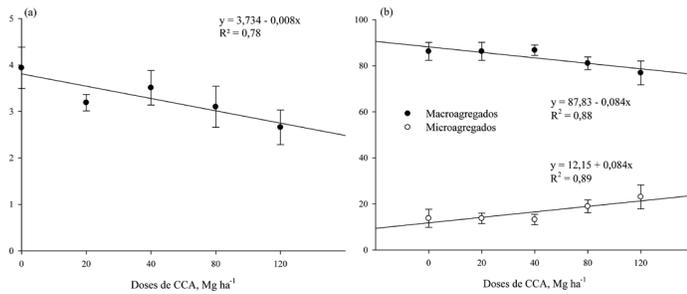


Figura 2. Regressão linear entre dosagens de cinza de casca de arroz (CCA) e o diâmetro médio ponderado (DMP) (a) e macroagregados e microagregados (b) de um Argissolo Vermelho Amarelo na camada de 0-0,10 m. Barras verticais indicam o desvio padrão da média. A regressão foi realizada com a média geral dos cinco tratamentos.

solo sem a incorporação de CCA e na dose de 120Mg·ha⁻¹, respectivamente (Figura 3a). Segundo Imhoff *et al.* (2002), uma maior RT dificulta a penetração das semeadoras no solo, restringe a emergência das plântulas e reduz o crescimento das raízes em camadas do solo.

Os valores de RT, após 36 meses de condução do experimento, apresentaram-se próximos ao do solo natural (0Mg·ha⁻¹), indicando ineficiência para indicar modificações impostas pela CCA. De forma geral, independentemente da dose de CCA, os valores de RT foram inferiores aos observados por Tormena *et al.* (2008) e Reis *et al.* (2014) em solos agrícolas.

Conforme reportado por Zhang (1994) há dois efeitos contrários da matéria orgânica do solo sobre a RT. O aumento no número e na força das ligações entre as partículas e o efeito de diluição, que implica

redução da Ds ou aumento da porosidade do agregado. O aumento de matéria orgânica no solo resulta em maior porosidade do agregado, o que diminui o número de ligações entre as partículas; neste caso, se a força destas ligações não for incrementada, então se verifica redução da resistência tênsil. A predominância de um ou outro mecanismo vai determinar a direção da correlação entre RT e matéria orgânica do solo.

Além da quantidade de matéria orgânica do solo, ressalta-se que o grau de humificação influencia a RT, demonstrando que, quanto mais humificada a matéria orgânica do solo, menor será a redução da RT. Por meio do coeficiente de correlação de Pearson (Tabela I) se verificou correlação negativa entre a RT e COT ($r = -0,97$; $p < 0,01$) concordando com Ferreira *et al.* (2011). Porém, contrastaram com os resultados de Imhoff *et al.* (2002) e Tormena *et al.* (2008) que

TABELA I
CORRELAÇÃO DE PEARSON* ENTRE ATRIBUTOS ANALISADOS DE UM ARGISSOLO VERMELHO AMARELO SOB DIFERENTES DOSES DE CINZA DE CASCA DE ARROZ NA CAMADA DE 0-0,10m

	F	Ds	PT	Ma	Mi	DMP	COT
RT	-0,91	0,94	-0,94	-0,89	-0,85	0,91	-0,97
F		-0,74	0,79	0,64	0,89	-0,78	0,81
DS			-0,93	-0,84	-0,63	0,85	-0,99
PT				0,89	0,70	-0,87	0,99
Ma					0,62	-0,79	0,96
Mi						-0,83	0,79
DMP							-0,85

* $p < 0,01$.

RT: resistência tênsil de agregados, F: friabilidade, DS: densidade do solo, PT: porosidade total, Ma: macroagregados, Mi: microagregados, DMP: diâmetro médio ponderado.

obtiveram relação positiva com o teor de matéria orgânica.

Da mesma forma que a RT, as classes de friabilidade observadas entre os tratamentos não diferiram entre si, sendo classificados como muito friáveis (Figura 3b). Bavoso *et al.* (2010) também observaram que a friabilidade não foi adequada para indicar modificações na estrutura do solo.

Verificou-se (Tabela I) relações inversas entre Ds e Pt ($r = -0,93$; $p < 0,01$), Ds e Ma ($r = -0,84$; $p < 0,01$) e Ds e COT ($r = -0,99$; $p < 0,01$), corroborando com Braida *et al.* (2006), Tormena *et al.* (2008), Newell-Price *et al.* (2013) e Oliveira *et al.* (2015). Entretanto a RT correlacionou-se positivamente com a Ds ($r = 0,94$; $p < 0,01$) e com o DMP ($r = 0,91$; $p < 0,01$).

Para Paladini e Mielniczuk (1991), os agregados de maior diâmetro tendem a apresentar correlação positiva com a matéria orgânica. Correlação negativa foi apresentada entre DMP e COT (Tabela I), possivelmente pelo fato da CCA ser provinda de leito fluidizado, cuja tecnologia é capaz de produzir cinza amorfa a partir de casca de arroz com baixo teor de carbono não queimado em intervalos curtos de reação (Angel *et al.*, 2009).

A partir dos resultados apresentados, enfatiza-se que adicionais estudos são ainda necessários para a indicação de dosagens de CCA eficazes que possam incrementar a qualidade estrutural de diferentes tipos de solos e a produtividade agrícola.

Conclusões

A densidade do solo, a porosidade total e a macroporosidade foram eficientes na avaliação da qualidade estrutural.

Os valores de densidade estiveram abaixo do limite crítico ao crescimento do sistema radicular das plantas cultivadas em solos de textura franco-arenosos.

A incorporação da cinza da casca de arroz aumenta a macroporosidade, entretanto são necessárias doses superiores a 52Mg·ha⁻¹ para que esta variável atinja valores não limitantes ao desenvolvimento radicular da maioria das culturas agrícolas.

Houve uma diminuição do diâmetro médio ponderado com o aumento das doses de CCA.

A resistência tênsil de agregados e a friabilidade não se mostraram parâmetros adequados para avaliar a influência das doses de CCA sobre a qualidade da estrutura do solo.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de aprendizado, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) pelo suporte financeiro e a todos envolvidos direta e indiretamente na realização deste estudo.

REFERÊNCIAS

Angel JDM, Vásquez TGP, Junkes JA, Hotza D (2009) Carac-

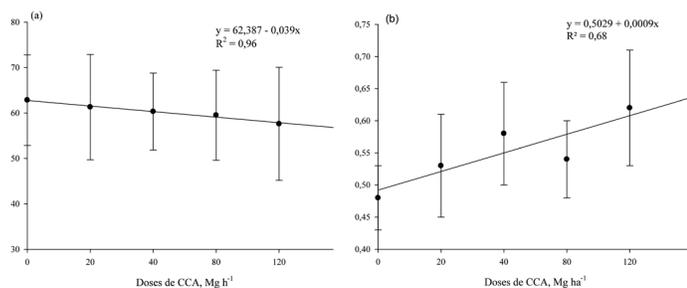


Figura 3. Regressão linear entre a dosagem de cinza de casca de arroz (CCA) e a resistência tênsil de agregados (RT) (a) e a friabilidade (b) de um Argissolo Vermelho Amarelo na camada de 0-0,10m. Barras verticais indicam o desvio padrão da média. A regressão foi realizada com a média geral dos cinco tratamentos.

- terização de cinza obtida por combustão de casca de arroz em reator de leito fluidizado. *Quím. Nova* 32: 1110-1114.
- Bavoso MA, Giarola NFB, Tormena CA, Pauletti V (2010) Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: Efeito na resistência tênsil e friabilidade de agregados. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 34: 227-234.
- Blake GR, Hartge KH (1986) Bulk density. Em Klute A (Ed.) *Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods*. 2ª ed. American Society of Agronomy. Madison, WI, EUA. pp. 363-375.
- Braida JA, Reichert JM, Veiga MD, Reinert DJ (2006) Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 30: 605-614.
- Cherubin MR, Eitelwein MT, Fabbris C, Weirich SW, Silva RF, Silva VR, Basso CJ (2015) Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 39: 615-625.
- Dexter AR, Kroesbergen B (1985) Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. *J. Agric. Eng. Res.* 31 139-147.
- Embrapa (2011) *Manual de Métodos de Análise de Solo*. 2ª ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, Brasil. 212 pp.
- Embrapa (2013) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3ª ed. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, Brasil. 353 pp.
- Ferreira AO, Sá JCM, Giarola NFB, Harms MG, Miara S, Bavoso MA, Briedis C, Netto CQ (2011) Variação na resistência tênsil de agregados em função do conteúdo de carbono em dois solos na região dos Campos Gerais. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 35: 437-445.
- Gee GW, Bauder JW (1986) Particle-size analysis. Em Klute A (Ed.) *Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods*. 2ª ed. Part 2. American Society of Agronomy. Madison, WI, EUA. pp. 383-411.
- Gonçalves MRF, Bergmann CP (2007) Thermal insulators made with rice husk ashes; Production and correlation between properties and microstructure. *Constr. Build. Mat.* 21: 2059-2065.
- Flores CA, Reinert DJ, Reichert JM, Albuquerque JA, Pauletti EA (2008) Recuperação da qualidade estrutural, pelo sistema plantio direto, de um Argissolo Vermelho. *Ciênc. Rural*, 38: 2164-2172.
- Girardelo VC, Amado TJC, Nicoloso RS, Hörbe TAN, Ferreira AO, Tabaldi FM, Lanzanova ME (2011) Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 35: 2115-2126.
- Imhoff S, Silva AP, Dexter AR (2002) Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1656-1661.
- Islabão GO (2013) *Uso da Cinza de Casca de Arroz como Corretivo e Condicionador do Solo*. Tese. Universidade Federal de Pelotas. Brasil. 80 pp.
- Islabão GO, Vahl LC, Timm LC, Paul DL, Kath AH (2014) Rice husk ash as corrective of soil acidity. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 38: 934-941.
- Kemper WD, Rosenau RC (1986) Aggregate stability and size distribution. Em Klute A (Ed.) *Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods*. 2ª ed. Part 1. American Society of Agronomy. Madison, WI, EUA. pp. 425-441.
- Lima CLR, Reinert DJ, Reichert JM, Suzuki LEAS (2010) Produtividade de culturas e resistência à penetração de Argissolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesq. Agropec. Bras.* 45: 89-98.
- Newell-Price JP, Whittingham MJ, Chambers BJ, Peel S (2013) Visual soil evaluation in relation to measured soil physical properties in a survey of grassland soil compaction in England and Wales. *Soil Tillage Res.* 127: 65-73.
- Nolla A, Volk LBS, Muniz AS, Silva TRB (2010) Correção da acidez do solo em profundidade através do uso de carbonatos, silicatos e casca de arroz em lisímetros. *Cultivando Saber* 3: 1-8.
- Oliveira DMS, Lima RP, Verburg EEJ (2015) Qualidade física do solo sob diferentes sistemas de manejo e aplicação de dejetos líquido suíno. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.* 19: 280-285.
- Paladini FLS, Mielniczuk J (1991) Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho-escuro afetado por sistema de culturas. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 15: 135-140.
- Palmeira PRT, Pauletti EA, Teixeira CFA, Gomes AS, Silva JB (1999) Agregação de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 23: 189-195.
- Reichert JM, Reinert DJ, Braida JA (2003) Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciênc. Amb.* 27: 29-48.
- Reis DA, Lima CLR, Pauletti EA (2014) Resistência tênsil de agregados e compressibilidade de um solo construído com plantas de cobertura em área de mineração de carvão em Candiota, RS. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 38: 669-678.
- Salton JC, Mielniczuk J, Bayer C, Boeni M, Conceição PC, Fabrício AC, Macedo MCM, Broch DL (2008) Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 32: 11-21.
- Severo CRS (1999) *Caracterização dos Solos do Centro Agropecuário da Palma*. Tese. Universidade Federal de Pelotas. Brasil. 80 pp.
- Sigmaplot (2008) Sigmaplot for Windows. Version 11.0. Systat Software, Inc. San José, CA, EEUU.
- Taylor HM, Robertson GM, Parker JJ (1966) Soil strength root penetration relations for medium to coarse textured soil materials. *Soil Sci.* 102: 18-22.
- Teixeira CFA, Pauletti EA, Silva JB, Palmeira PRT (2000) Atributos físicos da camada superficial de um Argissolo Amarelo Distrófico Típico afetado por sistemas de cultivo em plantio direto. *Rev. Bras. Agroc. Ciênc.* 6: 176-180.
- Tisdall JM, Oades JM (1982) Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Eur. J. Soil Sci.* 33: 141-163.
- Tormena CA, Araújo MA, Fidalski J, Imhoff S, Silva AP (2008) Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 32: 943-952.
- Watts CW, Dexter AR (1998) Soil friability: Theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. *Eur. J. Soil Sci.* 49: 73-84.
- Yoder RE (1936) A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.* 28: 337-351.
- Zhang H (1994) Organic matter incorporation affects on mechanical properties of soil aggregates. *Soil Tillage Res.* 31: 263-175.