



Núcleo de Meio Ambiente
Universidade Federal do Pará
Rua Augusto Corrêa, 01, Guamá
Belém, Pará, Brasil

<https://periodicos.ufpa.br/index.php/agroecossistemas>

Milton Carlos Fabrica Martins Filho
Universidade Federal do Pampa
milton.martinsfilho@gmail.com

Daniel Hanke
Universidade Federal do Pampa
danielhanke@unipampa.edu.br

Shirley Grazieli da Silva Nascimento
Universidade Federal do Pampa
nascimento.shy@gmail.com

Mariana Rockenbach de Ávila
Instituto Nacional de Investigación
Agropecuaria
marianarockenbacha@hotmail.com

Daniel Ernesto Trujillo Manriquez
Universidade Federal do Pampa
daniel.ernesto95@gmail.com

EFEITO DA APLICAÇÃO DA CINZA DA CASCA DE ARROZ SOBRE ATRIBUTOS DE SOLO SOB PASTAGEM

RESUMO: A aplicação de materiais carbonizados em solos pode resultar em melhoria de seus atributos químicos, físicos e físico-químicos. Entretanto, trabalhos que foquem sobre o efeito da aplicação da cinza da casca de arroz em solos ainda são escassos na literatura. Este estudo teve por objetivo avaliar os efeitos da aplicação da cinza de casca de arroz sobre os atributos químicos, físicos, e físico-químicos do solo. Foram coletadas amostras de solo (Luvisolo) sob pastagem em Dom Pedrito, RS. A amostragem foi feita em topossequência nas seguintes condições: i) pastagem com aplicação de cinza da casca de arroz ($4,8 \text{ Mg ha}^{-1}$) e; ii) pastagem sem aplicação de cinza. Posteriormente, foram determinados atributos químicos, físicos e físico-químicos de solo. Através dos resultados, averiguou-se que o uso da cinza no solo tem a capacidade de diminuir a acidez, aumentar a disponibilidade de nutrientes e melhora as condições estruturais dos perfis de solo analisados.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Industriais, Fertilidade do Solo, Matéria orgânica do solo, Acidez do solo.

APPLICATION EFFECT OF RICE HUSK ASH ON SOIL ATTRIBUTES UNDER GRASSLAND

ABSTRACT: Application of pyrolyzed materials to soils may result in improvement of their chemical, physical and physicochemical attributes. However, studies focusing on the effect of applying rice husk ash to soils are still scarce in the literature. This study aimed to investigate the application effects of rice husk ash on the chemical, physical and physicochemical soil attributes. Soil samples were collected (Luvisol) under Grass in Dom Pedrito – RS. The soil samples were collected in topossequence under the following conditions: i) Grassland with rice husk ash application (4.8 Mg ha^{-1}) and; ii) Grassland without ash application. Subsequently, chemical, physical and

Recebido em: 2019-09-03
Avaliado em: 2020-08-01
Aceito em: 2020-09-04

physico-chemical soil attributes were determined. Through the results, it was found that the use of rice husk ash in the soil has the ability to decrease acidity, increase the nutrients availability and improve the soil structural conditions.

KEYWORDS: Industrial waste, Soil Fertility, Soil organic matter, Soil acidity.

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE CENIZA DE ARROZ EN LOS ATRIBUTOS DEL SUELO CON PASTURAS

RESUMEN: La aplicación de materiales carbonizados en los suelos puede mejorar sus atributos químicos, físicos y fisicoquímicos. Sin embargo, los estudios que se centran en el efecto de aplicar cenizas de cáscara de arroz a los suelos aún son escasos en la literatura. Este estudio tuvo como objetivo investigar los efectos de la aplicación de ceniza de cáscara de arroz en los atributos químicos, físicos y fisicoquímicos del suelo. Se recogieron muestras de suelo (Luvissole) bajo pasto en Dom Pedrito - RS. Las muestras de suelo se tomaron en pedosecuencia bajo las siguientes condiciones: i) pasto con aplicación de ceniza de cáscara de arroz (4.8 Mg ha^{-1}) y; ii) pastos sin aplicación de cenizas. Posteriormente, se determinaron los atributos químicos, físicos y fisicoquímicos del suelo. A través de los resultados, se descubrió que el uso de cenizas de cáscara de arroz en el suelo tiene la capacidad de disminuir la acidez, aumentar la disponibilidad de nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas y mejorar las condiciones estructurales de los perfiles de suelo analizados.

PALABRAS CLAVES: Residuos industriales, Fertilidad del suelo, Materia orgánica del suelo, Acidez del suelo.

O arroz é uma das culturas mais consumida pela população, uma vez que compõe a alimentação básica em todo o mundo. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2018 o Brasil produziu cerca de 11.743.923 toneladas do grão contribuindo com aproximadamente 20% da produção mundial.

O Estado do Rio Grande do Sul é maior produtor do Brasil, com destaque para a região da metade sul do território. O cultivo de arroz irrigado na região Sul do Brasil contribui em média, com 54% da produção nacional (CONAB, 2013). Nesta região estão localizados os municípios que produzem os maiores montantes do grão, e por este fato, existe uma grande quantidade de

indústrias beneficiadoras de arroz gerando resíduos que podem causar impactos ambientais graves, caso esses sejam destinados de forma irregular e sem tratamento (GONÇALVES; BERGMANN, 2007; PRASAD; PANDEY, 2012; ISLABÃO et al., 2014).

A indústria beneficiadora de arroz possui um elevado consumo de energia, o que coloca em evidência a importância da adoção de fontes alternativas de energia em seu funcionamento (PRASARA; GRANT, 2011; LIM et al., 2012; BATTACHARYYA, 2014). Esse processo de beneficiamento do grão gera expressivos volumes de casca de arroz. Pelo alto poder calorífico desse material e baixo custo industrial para sua obtenção, a casca de arroz vem sendo utilizada como fonte de energia, substituindo a lenha e a eletricidade proveniente da rede de abastecimento pública (CHANDRASEKHAR et al., 2003; SOLTANI et al., 2015; MODOLO, 2016).

O processo de queima da casca em reatores termoelétricos produz a cinza de casca de arroz (CCA). A relação entre

o volume de casca queimada e a quantidade de CCA produzida é variável entre diferentes sistemas termoelétricos. Entretanto, esse valor pode chegar a 20 % do volume inicial (DELLA et al., 2001). Dessa forma, em função da grande quantidade de casca queimada no setor industrial ocorre a geração de grande volume de CCA. A CCA pode ser utilizada na construção civil (cimento, tijolos e cerâmicas) e; condicionador no solo para o desenvolvimento de plantas (DELLA et al., 2001; FOLETTTO et al., 2005; SILVA et al., 2008; ISLABÃO et al., 2014). Porém, a cinza gerada pela combustão ainda implica em dificuldade de ser aproveitada por outros setores produtivos. Por isso, a alternativa que tem sido mais utilizada pelas indústrias é o descarte em áreas de agricultura, pois há a disponibilidade desse resíduo a baixo custo de aquisição pelos produtores.

Vários trabalhos têm reportado que a aplicação de materiais carbonizados em solo produzem alterações positivas em vários atributos pedogênicos, como

no aumento da aeração, aumento da capacidade de retenção de água, elevação do pH, aumento dos teores nutricionais e da capacidade de troca catiônica (CTC) e ampliação dos estoques de matéria orgânica do solo (MOS) (JEFFERY et al., 2011; HAFAELE et al., 2011; SHACKLEY et al., 2012).

Trabalhos que focuem sobre o efeito da aplicação da CCA em solos ainda são escassos na literatura. Na região da Campanha Gaúcha meridional ainda não existem trabalhos com esse foco. Nessa região ocorre uma das mais expressivas produções de arroz do Brasil, ao mesmo tempo em que existe considerável número empreendimentos de beneficiamento de arroz que possuem centrais termoelétricas direcionados à produção de energia para melhoria da autonomia dos processos industriais.

Dessa forma, há uma grande produção de CCA pelos municípios da Campanha Gaúcha meridional, onde destaca-se o município de Dom Pedrito. Muito desse material ainda tem destinação inadequada em função da

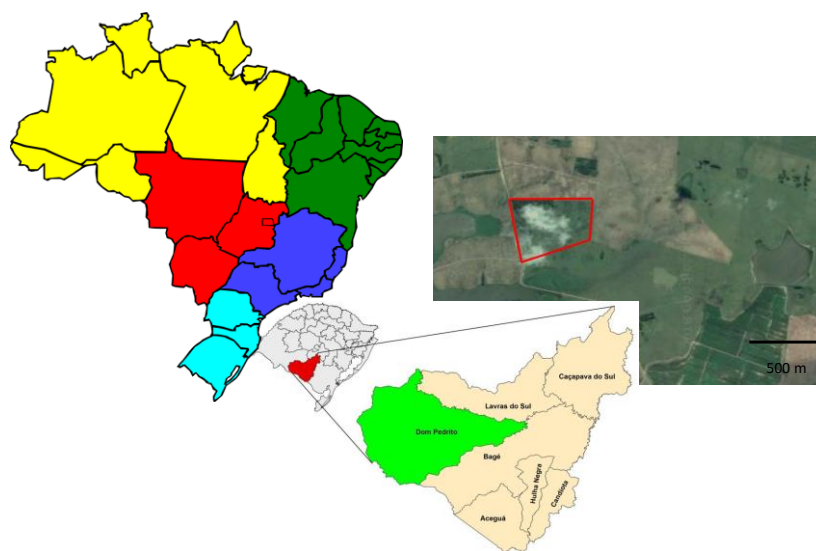
carência de informações que subsidiem a formulação de parâmetros técnicos que regulem sua aplicação no ambiente. Essas informações seriam importantes para a compreensão dos processos de como a CCA atua sobre os solos da Campanha Gaúcha. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da aplicação da CCA sobre atributos químicos, físicos e físico-químicos de solo sob pastagem no município de Dom Pedrito, RS.

O trabalho foi desenvolvido na cidade de Dom Pedrito/RS, pertencente à mesorregião do Sudoeste Rio-grandense - microrregião da Campanha Meridional. O município situa-se entre as coordenadas: 30° 58' 58" S e 54° 40' 23" W. O clima da região é classificado como Cfa (classificação de Köppen) – verão quente e seco e inverno frio e úmido, com temperatura média variando de 14 a 18 °C e precipitação média anual de 1260 mm (KUINCHTNER; BURIOL, 2001). A pesquisa foi realizada de maio a agosto do ano de 2018.

A área de amostragem pertence a “Fazenda Ouro Verde” e está situada no 4º Subdistrito - Ponche Verde, localizada aproximadamente 18 km de distância do centro da cidade. A propriedade possui aproximadamente uma área de dois mil (2000) ha. A subárea onde foi

realizada a coleta das amostras representa cerca de 30 ha. Nessa área sempre ocorreu produção pecuária extensiva a campo, não sendo praticada agricultura na propriedade em questão. A localização da área pode ser observada na Figura 1.

Figura 1. Figura ilustrativa situando a área de amostragem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A CCA utilizada na propriedade é proveniente da queima da casca de arroz realizada pela Central Termelétrica da empresa Engenho Coradini, Agroindústria Beneficiadora de Grãos. Algumas características do material são descritas a seguir: i) pH H₂O = 9,8; ii) teor de C e N = 8,1 e 0,18 %, respectivamente; iii) relação C/N =

45 e; iv) densidade aparente = 0,31 g cm⁻³. No decorrer de 24 meses, a área de estudo recebeu cerca de 40 Mg de CCA ha⁻¹. A coleta de solo foi realizada após 12 meses sem nenhuma interferência no local.

O solo da propriedade foi classificado como Luvisolo Háplico Pálico ebânico (EMBRAPA, 2018). Foram

selecionados dois transectos (topossequência) em áreas sob pastagem onde houve a aplicação de CCA superficialmente (sem incorporação do material) – tratamento CC (com aplicação de cinza) - e outro transecto onde não houve a deposição desse material – tratamento SC (sem aplicação de cinza). Ambas as situações ocorrentes sobre a mesma classe de solo. Em cada transecto foram coletadas amostras deformadas e indeformadas (retirada de monólitos de aproximadamente 1 dm^{-3} e anéis volumétricos) das profundidades de 0-5 e 5-10 cm em cinco pontos distintos (três replicatas por ponto e profundidade), distando aproximadamente 70 metros um ponto de coleta do outro. A variação de altitude entre a posição superior e inferior do transecto foi de aproximadamente 15 metros, não determinando alterações na classe de solo. As amostras deformadas foram secas, trituradas e peneiradas em malha de 2 mm obtendo-se terra fina seca ao ar (TFSA).

O pH das amostras foi determinado em água destilada e em solução SMP (proporção amostra/extrator = 1:3). As formas trocáveis dos íons Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3} foram extraídas em solução de KCl (1 mol L^{-1}) e posteriormente determinadas por espectrometria de emissão atômica por plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) (Perkin Elmer 7200) (Embrapa, 1997).

O K^{+} trocável e o P foram extraídos por meio de solução de Mehlich-1 e determinados por fotometria de chama e colorimetria (UV-VIS), respectivamente. Com base nesses resultados, foi calculada a soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação das bases nos sítios de troca dos coloides (V%) e a saturação dos sítios de troca pelo Al^{+3} trocável (m%) (Embrapa, 1997). Os teores de C orgânico e N total foram determinados por combustão seca, em analisador elementar CN (Vario El III).

A granulometria das amostras foi analisada após a dispersão das mesmas em solução de hidróxido de sódio ($\text{NaOH } 2 \text{ mol L}^{-1}$) por 12 horas, sendo o

teor de argila determinado pelo método da Pipeta (EMBRAPA, 1997). A densidade do solo (D_s) foi calculada após completa secagem das amostras indeformadas (cilindros inoxidáveis) em temperatura de 105°C, dividindo-se a massa do solo seco pelo volume do cilindro.

A densidade de partícula (D_p) foi determinada pelo método da saturação em álcool segundo o procedimento descrito por Embrapa (1997). Por meio dos valores de D_s e D_p foi calculada a porosidade total (EMBRAPA, 1997).

A capacidade de retenção de água (CRA) em amostras deformadas foi preconizada seguindo metodologia de HANKE; DICK, 2017a.

Após a tabulação dos dados, os resultados foram primeiramente submetidos à análise descritiva de média e desvio padrão para verificar-se a variabilidade natural das unidades amostrais em relação aos atributos avaliados. Como análise exploratória e comparativa foi utilizada a técnica de análise multivariada por componentes principais (ACP), utilizando-se de uma

matriz de dados com medida de semelhança por correlação simples de Pearson.

O software utilizado para o processamento da ACP foi o MULTIV (versão beta 309 para Windows), desenvolvido pelo Departamento de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Conjuntamente a ACP foi aplicado, com a finalidade de identificar grupamentos e o grau de similaridade entre as unidades amostrais, o algoritmo da árvore geradora de mínimas distâncias.

O teor de argila foi similar entre as amostras de solo avaliadas, com variação de 181 a 202 g kg⁻¹ (Tabela 1). A semelhança nos teores de argila permitiu comparar as duas situações investigadas, ou seja, com aplicação de cinza (CC) e sem aplicação de cinza, (SC), uma vez que todas as amostras se encontraram na mesma classe textural. Sendo assim, na sequência serão discutidos os demais atributos do solo relacionados com a presente pesquisa segundo os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Atributos físicos de solo com e sem aplicação da cinza da casca de arroz.

Amostra/ Atributo	Argila	Ds	Dp	Pt	CRA
	g kg ⁻¹	g cm ⁻³		%	g g ⁻¹
CC 0-5 cm	181 ±11	0,8 ±0,1	1,91 ±0,21	57 ±3	1,5 ±0,1
CC 5-10 cm	202 ±8	0,9 ±0,1	2,12 ±0,31	58 ±2	1,1 ±0,1
SC 0-5 cm	184 ±17	1,2 ±0,1	2,63 ±0,04	54 ±2	0,6 ±0,0
SC 5-10 cm	193 ±21	1,3 ±0,0	2,67 ±0,11	51 ±4	0,4 ±0,1

*Obs.: Ds = Densidade do solo; Dp = densidade de partículas (sólidos do solo); Pt = porosidade total da amostra e; CRA: capacidade de retenção de água em amostras deformadas. Valores seguidos por ± = desvio padrão entre as replicatas amostrais (pontos do mesmo transecto). CC = com aplicação de cinza. SC = sem aplicação de cinza.

A aplicação da CCA ocasionou uma diminuição dos valores de Ds, Dp e em um aumento da Pt e da CRA. Os valores de Ds variaram de 0,8 a 1,3 g cm⁻³, sendo sempre menores em superfície, e no solo que recebeu a aplicação da cinza. Já em subsuperfície e na condição natural (SC), constatou-se resultados semelhante ao observado para a Ds, a Dp, na qual também foi sempre menor em superfície, com variação de 1,91 g cm⁻³ em CC 0-5 cm a 2,67 g cm⁻³ em SC 5-10 cm (Tabela 1).

Essas diferenças observadas entre CC e SC se devem ao fato de que a CCA possui baixa densidade e alta porosidade natural, sendo capaz de diminuir expressivamente a Ds e a Dp, o que pode favorecer um ambiente físico mais propício para o crescimento do sistema radicular, bem como da

retenção de água no perfil do solo, conforme será discutido posteriormente. Os valores observados encontram-se em acordo com os observados em outros trabalhos (ISLABÃO et al., 2016; TUCHTENHAGEN et al., 2017).

A Porosidade Total (Pt), variou de 51% em SC 5-10 cm a 58 % em CC 5-10 cm, mostrando o efeito benéfico da cinza sobre a formação de macro e microporosidade do solo, e como esperado, o aumento da porosidade total também resultou em um aumento da capacidade de retenção de água, tendo a CRA variado expressivamente entre as duas condições avaliadas, de 0,4 a 1,5 g g⁻¹ em SC 5-10 cm e CC 0-5 cm, respectivamente (Tabela 1).

Esse resultado deve-se ao aumento dos poros de retenção (microporos) e,

provável aumento da densidade das cargas negativas pelo aumento da proporção de compostos orgânicos pela cinza (carboxílicos, carbonílicos e hidroxilas fenólicas), também responsáveis pela adsorção de água e nutrientes pelos coloides do solo. Resultados similares também foram observados por outros autores (MASULILI et al., 2010; ISLABÃO et al., 2016; PODE, 2016; TUCHTENHAGEN et al., 2017).

A aplicação da cinza da casca de arroz também resultou em melhoria das condições químicas e físico-químicas do solo. A cinza, tanto na camada superficial como subsuperficial, ocasionou um aumento do pH em água e em solução SMP, com variação de 5,0 a 5,8 e de 5,8 a 6,1, respectivamente (Tabela 2). Esse resultado indica o potencial da cinza para a correção da acidez do solo e, conseqüentemente, aumento dos teores nutricionais disponíveis para as plantas, e através dos maiores valores do índice SMP nas amostras CC 0-5 cm e CC 5-10 cm

indicam diminuição do poder tampão do solo pela aplicação da cinza.

Como esperado, a aplicação da cinza também resultou em aumento dos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ e P disponíveis, bem como em um natural aumento da saturação dessas bases nutricionais nos sítios de troca dos coloides do solo (V %) (Tabela 2). Esse fato deve-se a alta solubilidade dos constituinte da sílica, também verificado experimentalmente por outros autores (HOSSAIN et al., 2011; HAEFELE et al., 2011; DESHMUCK et al., 2012; GUNTZER et al., 2012; MEENA et al., 2012; ZHU; GONG, 2014; TATEDA, 2016; TATEDA et al., 2016) . O ligeiro aumento da saturação por Al^{+3} (m%) nas amostras CC em relação à SC pode estar relacionado à complexação desse íon por compostos orgânicos solúveis adicionados com a aplicação da CCA (Tabela 2).

Esse resultado não se reflete necessariamente em aumento dos componentes de acidez do solo. Isso pode ser confirmado pela ocorrência de faixas de pH em água, nos solos que receberam a adição de CCA acima de 5,5,

onde não ocorre mais a disponibilização de Al^{+3} , tóxico para as plantas. Resultados semelhantes foram observados por outros autores (NOLLA et al., 2010; ISLABÃO et al., 2016), e ressaltam o potencial de utilização da CCA como condicionador de solo e fertilizante para o desenvolvimento de plantas.

Ainda, observa-se também que a aplicação desse material (CCA), resultou em um aumento expressivo do teor de MOS (Tabela 2), sugerindo que a CCA possa contribuir com o aumento dos estoques de C no solo. Embora os teores de C e N no material sejam relativamente baixos, quando comparados com outras formas de biomassa pirolisadas (biocarvão, por exemplo); o processo de queima tende a ampliar a recalcitrância química dos compostos orgânicos, aumentando sua estabilidade à degradação pelos microrganismos em função da preservação seletiva de grupos aromáticos condensados (BONTEMPI, 2014; HANKE; DICK, 2017b).

Dessa forma, além do aumento observado no teor de C e N ocorre, possivelmente, um aumento de sua

estabilidade química, refletindo em estoques de MOS mais resistentes (KIMETU; LEHMANN, 2010). Porém, para confirmar essa hipótese, outras análises com foco na fração orgânica do solo são necessárias, com vistas a investigar a complexidade química das estruturas orgânicas da cinza e de sua resistência à degradação pelos organismos edáficos.

Na Tabela 2 pode-se observar que o aumento do teor dos nutrientes e de MOS também resultou em um aumento da CTC efetiva e potencial, o que se deve tanto pela contribuição das bases que se encontram na estrutura da casca de arroz, como do aumento de cargas elétricas pelos grupamentos orgânicos adicionados por esse material.

Estes resultados estão de acordo com os observados por Donegá et al. (2014) que observaram aumento expressivo do teor de bases trocáveis em solos muito intemperizados do Estado do Paraná, por meio da aplicação de CCA. O estudo desses autores confirma que mesmo em solos bem desenvolvidos e bastante ácidos a aplicação de materiais pirolisados pode ocasionar uma série de

benefícios. Assim, melhorias das condições químicas e físicas do solo pela aplicação da CCA mostram o potencial que esse material pode representar no desenvolvimento de sistemas de produção agropecuários.

Entretanto, a aplicação desses materiais deve ser cuidadosamente dimensionada, uma vez que as adições demasiadas de nutrientes e materiais carbonizados pode contribuir com a eutrofização do sistema e aumento dos teores de compostos orgânicos poliaromáticos, que são tóxicos ao metabolismo dos organismos heterotróficos (HANKE; DICK, 2017b).

Discriminação das amostras por meio do uso da Análise de Componentes Principais (ACP) acoplado ao algoritmo da árvore geradora de mínimas distâncias (AAG).

No presente estudo, as variáveis de solo avaliadas explicaram, nos dois primeiros componentes principais, aproximadamente 98 % da variância total das amostras de solo.

O primeiro componente (CP1 - eixo "x" do diagrama de ordenação) foi

responsável por 76 % da variância, sendo o segundo componente (CP2 - eixo "y" do diagrama de ordenação) responsável por aproximadamente 21 % da variação dos dados (Figura 2). Ambos foram significativos ao teste de reamostragem "bootstrap" com dez mil interações aleatórias (com reposição), considerando-se um valor de probabilidade de 5 % ($p < 0,05$), o que mostra a estabilidade do padrão de dispersão das amostras.

A variável CP1 foi determinada principalmente pelas variáveis de fertilidade química de solo: pH H₂O, Ca⁺², Mg⁺², K⁺, P, CTC efetiva, CTC potencial, SB e V% e pelas variáveis físicas de solo CRA, Pt, Ds e Dp. Dessa forma, as unidades amostrais (CC 0-5 cm e CC-5-10 cm) que se posicionam ao lado direito, no sentido do eixo "x", apresentam melhores condições de fertilidade, maior porosidade e capacidade de retenção de água, bem como menor densidade do solo e das partículas sólidas (Figura 2).

Tabela 2. Atributos químicos e físico-químicos de solo com e sem aplicação de cinza da casca de arroz.

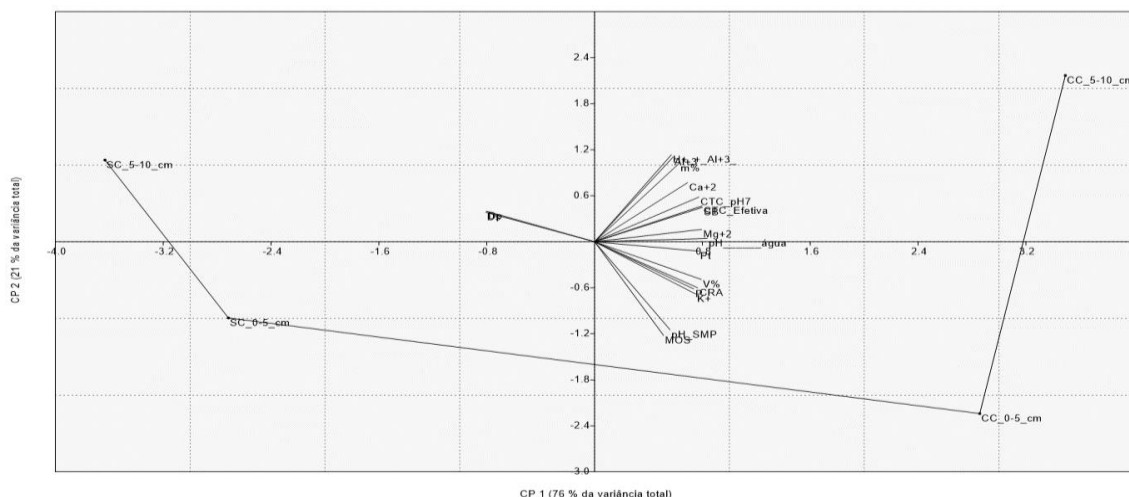
Amostra/ Atributo	pH H ₂ O		pH SMP		MOS	P	K ⁺	Al ⁺³	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺ + Al ⁺³	CTC Efetiva	CTC Potencial	SB	V %	m %
					%	mg dm ⁻³					cmol/dm ³					
CC 0-5 cm	5,7 ±0,1	6,1 ±0,1	6,1 ±0,2	14,6 ±3,0	0,4 ±0,1	0,1 ±0,0	10,8 ±2,1	5,8 ±0,3	5,5 ±0,3	17,1 ±0,4	22,5 ±1,1	17,0 ±1,0	76 ±2	0,4 ±0,0		
CC 5-10 cm	5,8 ±0,2	5,9 ±0,1	5,1 ±0,3	9,9 ±2,1	0,3 ±0,0	0,3 ±0,1	12,1 ±1,6	6,7 ±0,7	6,6 ±0,6	19,4 ±0,5	25,7 ±1,7	19,1 ±0,8	75 ±1	1,1 ±0,0		
SC 0-5 cm	5,1 ±0,1	5,9 ±0,0	5,3 ±0,3	4,9 ±1,1	0,2 ±0,0	0,0 ±0,0	8,9 ±1,9	4,7 ±0,2	5,2 ±0,1	13,8 ±0,7	18,9 ±0,3	13,8 ±0,6	73 ±2	0,1 ±0,0		
SC 5-10 cm	5,0 ±0,0	5,8 ±0,1	4,5 ±0,2	4,6 ±1,2	0,1 ±0,0	0,1 ±0,0	10,1 ±1,1	3,7 ±0,2	5,5 ±0,4	13,9 ±0,2	19,3 ±0,9	13,9 ±0,6	72 ±1	0,3 ±0,0		

*Obs: Ds = pH H₂O = valor de pH medido em água deionizada (proporção m/v = 1:2,5); pH H₂O = valor de pH medido em solução SMO (proporção m/v = 1:2,5); MOS = percentagem de matéria orgânica; P = teor de fósforo na amostra, determinado por UV-VIS após extração com solução ácida (Mehlich-1); K⁺ = teor de potássio trocável, determinado por fotometria de chama após extração com solução ácida (Mehlich-1); Al⁺³ = teor de alumínio trocável na amostra, determinado por espectroscopia de absorção atômica após extração com solução de KCl (1 mol L⁻¹); Ca⁺² = teor de cálcio trocável na amostra, determinado por espectroscopia de absorção atômica após extração com solução de KCl (1 mol L⁻¹); Mg⁺² = teor de Magnésio trocável na amostra, determinado por espectroscopia de absorção atômica após extração com solução de KCl (1 mol L⁻¹); H⁺ + Al⁺³ = soma das concentrações de hidrogênio e alumínio trocáveis na amostra; CTC efetiva = capacidade de troca catiônica efetiva, calculada pela soma de Ca⁺², Mg⁺², K⁺ e Al⁺³; CTC potencial = capacidade de troca catiônica potencial, calculada pela soma da CTC efetiva e H⁺; SB = soma de bases, calculada pela soma dos teores dos nutrientes Ca⁺², Mg⁺² e K⁺; V% = saturação das bases nos sítios de troca da amostra e; m% = saturação de Al⁺³ nos sítios de troca da amostra. Valores seguidos por ± = desvio padrão entre as replicatas amostrais (pontos do mesmo transecto).

Esses atributos foram significativos para a discriminação das duas condições analisadas, ou seja, confirma-se que, com a aplicação da cinza da casca de arroz, ocorre uma melhoria das condições químicas e físicas funcionais do solo. Os maiores teores de nutrientes disponíveis, assim como uma maior taxa

de retenção de água e menor adensamento das unidades estruturais do perfil resultará, possivelmente, em uma maior capacidade de enraizamento de plântulas e, conseqüentemente, do desenvolvimento de seu ciclo pleno (vegetativo e reprodutivo).

Figura 2. Diagrama de dispersão pelo método de componentes principais (ACP) das variáveis de solo e unidades amostrais avaliadas.



A variável CP2, que explicou menor proporção da variância total das amostras, foi definida principalmente pelas variáveis: Al^{+3} , H^+ + Al^{+3} , $m\%$, pH SMP e MOS, havendo contribuição menos expressiva de outras variáveis de solo mais coassociadas ao CP1. Dessa forma, as unidades amostrais

que se posicionam positivamente, em relação ao eixo "y" do diagrama, apresentam maior influência dos componentes de acidez e menor proporção de MOS, bem como maior poder de tamponamento (índice SMP). Por sua vez, variáveis no sentido contrário do mesmo eixo (valores

negativos) são também definidas pela maior proporção de compostos orgânicos e menor poder tampão, ou seja, maior capacidade de resistir as alterações de pH promovidas pelo manejo do sistema de produção (Figura 2).

O CP2 foi sensível em identificar as diferenças entre a camada superficial (0-5 cm) e a camada subsuperficial (5-10 cm) nas duas condições analisadas. Dessa forma, enquanto o CP1 foi capaz de identificar o efeito da aplicação da casca de arroz carbonizada nos atributos químicos e físicos de solo, o CP2 foi responsável pela identificação do efeito de profundidade nos atributos do solo. Assim, o eixo "x" foi definido principalmente pela condição do manejo (aplicação ou não da cinza), ao passo que o eixo "y" pela localização da camada no perfil. Por isso, para fins de comparativo entre as duas situações avaliadas (CC e SC) observa-se ser mais vantajosa a utilização do CP1 para fins de interpretação.

Finalmente, a utilização do algoritmo da árvore geradora,

acoplado à ACP, mostra que as duas camadas do solo após a aplicação de cinza são similares entre si quando comparadas ao solo que não recebeu a aplicação desse material – ligação direta, de menor distância, de CC 0-5 cm e CC 5-10 cm pelas arestas de similaridade da árvore (Figura 2). Por sua vez, as camadas SC 0-5 cm e SC 5-10 cm também foram mais similares entre si, o que confirma a significativa diferença da aplicação da CCA sobre os atributos de solo avaliados.

A aplicação da CCA em sistema forrageiro apresentou efeitos positivos em atributos de solo que estão estritamente relacionados com o desenvolvimento de plantas. Esses efeitos possuem, sobretudo, relação com aspectos da Fertilidade Química e Física do Solo.

A aplicação desses materiais pirolisados também pode resultar em aumento das taxas de C e N pelo solo, uma vez que foi observado um incremento dos teores desses elementos na condição de pastagem que recebeu a CCA. Dessa forma, a

cinza pode apresentar benefícios ao funcionamento dos Agroecossistemas e essa articulação - entre indústria e setor agrícola - pode ajudar a minimizar o problema da disposição irregular desse tipo de resíduo.

Contudo, mais estudos são necessários para investigar mais profundamente como a aplicação desse material pode ser dimensionada, com base em parâmetros ambientais e produtivos. Além disso, deve-se reforçar que a aplicação massiva da cinza, sem base em aspectos técnicos de suporte do solo, podem acabar por ocasionar problemas de ordem ambiental que se dá, principalmente, pela elevada concentração de nutrientes (bases trocáveis) e possibilidade de dispersão desse material para outras áreas (dispersão eólica), e esse processo pode contribuir para a eutrofização de solos, assim como para a eutrofização e soterramento de possíveis cursos d'água que venham a existir nesses locais.

REFERÊNCIAS

BHATTACHARYYA, S. C. Viability of off-grid electricity supply using rice husk: a case study from South Asia. **Biomass Bioenergy**. v.68, p. 44–54, 2014.

BONTEMPI, E. A. sustainable technology for Pb and Zn stabilization based on the use of only waste materials: A green chemistry approach to avoid chemicals and promote CO2 sequestration. **Chemical Engineering Journal**, v. 253, p. 377-384, 2014.

CHANDRASEKHAR, S.; SATYANARAYANA, K. G.; PRAMADA, P. N.; RAGHAVAN, P. Processing, properties and applications of reactive silica from rice husk - an overview. **Journal of Materials Science**, v.38, p.3159-3168, 2003.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Perspectivas para a agropecuária/Companhia Nacional de Abastecimento**, v.1, Brasília, DF. CONAB, 2013, 154p.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D. Caracterização da cinza de casca de arroz para uso como matéria-prima na fabricação de refratário de sílica. **Química Nova**, v.24, n.6, p.778-782, 2001.

DESHMUKH, P.; BHATT, J.; PESHWE, D.; PATHAK S. Determination of silica activity index and XRD, SEM and EDS studies of amorphous SiO₂ extracted from rice husk ash. **T Indian I Metals**. v.65, p.63–70, 2012.

DONEGÁ, M. A.; DA SILVA VOLK, L. B.; NOLLA, A.; DE OLIVEIRA GAVIOLLI, T. Atributos Químicos do Solo e Crescimento Inicial de Plantas de Milho em Latossolo Arenoso com Adição de Cinza de Casca de Arroz. **Revista de Agricultura**, v.86, n.3, p.192-199, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos e análise do solo**. Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997, 441p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos** (5 ed.). Brasília, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018. 436p.

FOLETTO, E. L.; HOFFMANN, R.; HOFFMANN, R. S.; PORTUGAL JR, U. L.; JAHN, S. L. Aplicabilidade das cinzas da casca de arroz. **Química Nova**, v. 28, n.6, p.1055-1060, 2005.

GONÇALVES, M.R.F.; BERGMANN, C.P. Thermal insulators made with rice husk ashes; Production and correlation between properties and microstructure. **Construction and Building Materials**, v.21, n.2, p.2059-2065, 2007.

GUNTZER, F.; KELLER, C.; MEUNIER, J. D. Benefits of plant silicon for crops: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, p. 201–13, 2012.

HAEFELE, S.M.; KONBOON, Y.; WONGBOON, W.; AMARANTS, S.; MAARIFAT, A.A.; PFRIFFER, E.M.; KNOBLAUCH, C. Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based

systems. **Field Crop Research**, v. 121, p. 430-440, 2011.

HANKE, D.; DICK, D. P. Aggregate stability in soil with humic and histic horizons in a toposequence under Araucaria forest. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.41, n.2, p.1-18, 2017a.

HANKE, D.; DICK, D. P. Organic matter stocks and the interactions of humic substances with metals in Araucaria moist forest soil with humic and histic horizons. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.41, n.2, p.1-20, 2017b.

HOSSAIN, M.K.; STREZOV, V.K.; CHAN, Y.; ZIOLKOWSKI, A.; NELSON, P.F. Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. **Journal of Environmental Management**, v. 92, p. 223-228, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html?=&t=series-historicas>. Acesso em: 15 Ago. 2019.

ISLABÃO, G. O.; VAHL, L. C.; TIMM, L. C.; PAUL, D. L.; KATH, A. H. Rice husk ash as corrective of soil acidity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, n.2, p.934-941, 2014.

ISLABÃO, G. O.; LIMA, C. L. R. D.; VAHL, L. C.; TIMM, L. C.; TEIXEIRA, J. B. D. S. Hydro-Physical Properties of a Typic Hapludult under the Effect of Rice Husk

Ash. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.40, n.1. 1-16, 2016.

JEFFERY, S.; VERHEIJEN, F.G.A.; VAN DER VELDE, M.; BASTOS, A.C. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.144, p.175-187, 2011

KIMETU, J.M.; LEHMANN, J. Stability and stabilization of biochar and green manure in soil with different organic carbon contents. *Soil Research*, v.48, p.577-585, 2010.

KUINCHTNER, A.; BURIOL, G.A. Clima do Estado do Rio Grande do Sul segundo a classificação climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia*, v.2, p. 171-182, 2001.

LIM, J. S.; MANAN, Z. A.; ALWI, S. R. W.; HASHIM, H. A review on utilization of biomass from rice industry as a source of renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.16, n.30, p.84-94, 2012.

MASULILI, A.; UTOMO, W. H.; SYECHFANI, M. S. Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in west Kalimantan, Indonésia. *Journal of Agricultural Science*. v.2, p.39-47, 2010.

MEENA, V. D.; DOTANIYA, M. L.; COUMAR, V.; RAJENDIRAN, S.; AJAY, K. S. et al. A case for silicon fertilization to improve crop yields in tropical soils. *Proceedings of the National Academy*

of Sciences, India B, v.84, n.5, p.05-18, 2014.

MODOLO, R.C.E. Characterization of rice husk ash produced using different biomass combustion techniques for energy. *Fuel*, v.165, p.351-359, 2016.

NOLLA, A. et al. Correção da acidez do solo em profundidade através do uso de carbonatos, silicatos e casca de arroz em lisímetros. *Cultivando Saber*, v. 3, p.1-8, 2010.

PODE, R. Potential applications of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 53, p.1468-1485, 2016.

PRASAD, R.; PANDEY, M. Rice husk ash as a renewable source for the production of value-added silica gel and its application: An overview. *Bull. Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, v. 7, p.1-25, 2012.

PRASARA-A, J.; GRANT, T. Comparative life cycle assessment of uses of rice husk for energy purposes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 16, p. 493-502, 2011.

SHACKLEY, S.; CARTER, S.; KNOWLES, T.; MIDDELINK, E.; HAEFELE, S.; HASZELDINE, S. Sustainable gasification-biochar systems? A case-study of rice-husk gasification in Cambodia, part II: Field trial results, carbon abatement, economic assessment and conclusions. *Energy Policy*, v.41, p.618-623, 2012.

SILVA, F.F.; BERTONHA, A.; FREITAS, P.S.L.; MUNIZ, A.S.; FERREIRA, R.C. Aplicação de cinza da casca de arroz e de água residuária de fecularia de mandioca na cultura de aveia. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente.**, v.1, p. 25-36, 2008.

SOLTANI, N.; BAHRAMI, A.; PECHCANUL, M.I.; GONZALEZ, L. A. Review on the physicochemical treatments of rice husk for production of advanced materials. **Chemical Engineering Journal**, v. 264, p. 899–935, 2015.

TATEDA, M.; SEKIFUJI, R.; YASUI, M.; YAMAZAKI, A. Case study: technical considerations to optimize rice husk burning in a boiler to retain a high solubility of the silica in rice husk ash. **Journal of Scientific Research and Reports**, v. 11, p. 1–11., 2016.

TATEDA, M. Production and effectiveness of amorphous silica fertilizer from rice husks using a sustainable local energy system. **Journal of Scientific Research and Reports**, v. 9, p.1–12, 2016.

TUCHTENHAGEN, I. K.; LIMA, C. R. L.; VAHL, E. A. P. L. C.; STUMPF, L. Cinza de casca de arroz como alternativa para melhorar a qualidade estrutural de um Argissolo. **Interciência**, v. 42, n. 3, p.163-167, 2017.

ZHU, Y. X.; GONG, H. J. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. **Agronomy for Sustainable Development**, v.34, n.4, p.55–72, 2014.