UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel

Programa de Pós-graduação em Manejo e

Conservação do Solo e da Água

Tese

Atributos de solo e planta em função da aplicação cumulativa de cinza de casca de arroz no cultivo do arroz irrigado

Maria de Fátima Marchezan Menezes da Silva

Pelotas, 2017

MARIA DE FÁTIMA MARCHEZAN MENEZES DA SILVA

ATRIBUTOS DE SOLO E PLANTA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO CUMULATIVA DE CINZA DE CASCA DE ARROZ NO CULTIVO DO ARROZ IRRIGADO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciências.

Orientador: Professor Dr. Luís Carlos Timm

Coorientador: Professor Dr. Ledemar Carlos Vahl

Coorientador: Professor Dr. Roberlaine Ribeiro Jorge

Pelotas, 2017

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

S586a Silva, Maria de Fátima Marchezan Menezes da

Atributos de solo e planta em função da aplicação cumulativa de cinza de casca de arroz no cultivo do arroz irrigado / Maria de Fátima Marchezan Menezes da Silva ; Luís Carlos Timm, orientador ; Ledemar Carlos Vahl, Roberlaine Ribeiro Jorge, coorientadores. — Pelotas, 2017.

139 f. : il.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2017.

1. Agregados. 2. Fertilidade. 3. Microbiologia. 4. Produtividade. 5. Nutrição. I. Timm, Luís Carlos, orient. II. Vahl, Ledemar Carlos, coorient. III. Jorge, Roberlaine Ribeiro, coorient. IV. Título.

CDD : 633.18

Elaborada por Gabriela Machado Lopes CRB: 10/1842

MARIA DE FÁTIMA MARCHEZAN MENEZES DA SILVA

ATRIBUTOS DE SOLO E PLANTA EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO CUMULATIVA DE CINZA DE CASCA DE ARROZ NO CULTIVO DO ARROZ IRRIGADO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Faculdade de Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Ciências

Data da defesa: 08/12/2017

Banca examinadora:

Prof. Dr. Luís Carlos Timm (Orientador)
Doutor em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP.

Prof. Dr. Enio Marchesan.
Doutor em Fitotecnia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP.

Profa. Dra. Cláudia Liane Rodrigues de Lima.
Doutora em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP.

Prof. Dr. Jocelito Saccol, de Sá
Doutor em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP.

Prof. Dr. Danilo Dufech Castilhos (suplente).
Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

À minha família, minha maior riqueza e minha fonte inesgotável de estímulo.

Agradecimentos

Tenho muito a agradecer e a muitas pessoas pela possibilidade do sonho do doutorado tornar-se uma realidade. Não cheguei até aqui sozinha, muitos chegaram comigo, pois fizeram parte desta jornada. A todos, meu sincero e emocionado agradecimento.

À minha família maravilhosa, toda a minha gratidão, pois sem vocês esse sonho não seria possível. Ao meu marido Gladstone, minha gratidão e profunda admiração, obrigada pela parceria e por ser pai e mãe nesses 4 anos, quando deveria ser eu a estar ao teu lado. Aos meus grandes incentivadores, meus filhos muito amados Juliana, Luiz Fernando, Mariana e Guilherme, lembrem-se que nunca é tarde para sonhar e conquistar. Ao meu pai Afonso, meu exemplo de superação de como podemos conquistar nossos objetivos com honestidade e trabalho. À minha inesquecível mãe, que continua viva em meu coração e que sempre me incentivou a ler, estudar e a aprender sempre.

Ao meu orientador Luis Carlos Timm, obrigada pela confiança ao me escolher para ser sua orientanda, pelo apoio e palavras de estímulo nos momentos de desânimo e pelo tempo dedicado à revisão minuciosa de trabalhos, do projeto e da tese. Ao coorientador e amigo Roberlaine Ribeiro Jorge, parceiro do grupo de pesquisa GPCCA e de outros projetos, que me apoiou desde o início, fornecendo o suporte necessário ao desenvolvimento da pesquisa de campo. Ao meu coorientador Ledemar Carlos Vahl, pelos ensinamentos ao longo das aulas.

Ao professor Danilo Dufech Castilhos pelas orientações e preciosa colaboração na análise dos parâmetros biológicos do solo. Ao professor Luiz Fernando Spinelli Pinto pelos ensinamentos e apoio na caracterização do solo da área do experimento. À professora Cláudia Liane Rodrigues de Lima pela amizade, os ensinamentos e as revisões de trabalhos. Ao professor Eloy Pauletto pelos ensinamentos e constante motivação para aprender e questionar sempre. Aos professores Rogério Sousa e professora Rosa

Castilhos pelos ensinamentos de Química e Fertilidade do Solo que me foram muito úteis na elaboração da tese.

Aos funcionários da UFPel: Paulo Antunes, Rosane Guidotti e Noemi Lunkes pelo apoio nos laboratórios e pela enorme paciência para ensinar a rotina dos procedimentos de análises. À dona Ana, pelo carinho, doces e lanches.

Aos colegas do Programa de Pós Graduação pelos meses de parceria.

À Cooperativa Agroindustrial de Alegrete (CAAL) pela confiança para coordenar a pesquisa, disponibilização da área, máquinas, implementos e insumos e pelo financiamento dos três anos desse projeto. Ao agrônomo da CAAL, Sílvio Arthur Neumann, pelo apoio técnico no manejo da cultura.

A todos os bolsistas, estagiários e voluntários que passaram pelo Grupo de Pesquisas Cinza da Casca de Arroz e que fizeram parte de alguma forma desse resultado. Um agradecimento muito especial aos colegas da Engenharia Agrícola da UNIPAMPA que foram grandes parceiros no início dessa jornada: Clayton Prates Teixeira, Fábio Kellermann de Freitas, Estevan Butzke Pydd e Lucas Ramos Cazabonet.

Aos meus professores da Engenharia Agrícola da UNIPAMPA pelo estímulo e apoio.

A CAPES pela bolsa de estudos e a UFPel pela oportunidade de fazer parte do Programa de Pós Graduação.

Aos professores participantes da banca examinadora que dividiram comigo este momento tão importante e esperado: Cláudia Liane Rodrigues de Lima, Enio Marchesan, Jocelito Saccol de Sá e Danilo Dufech Castilhos.

Poesía al suelo

Conservarás tu suelo productivo,
Ayudarás a su mejoramiento,
Detendrás su integridad contra el água y el viento,
Protegerás su superficie manteniéndola cubierta,
No le permitirás pasar sed ni hambre.
Cuidarás en herencia a tus hijos
Tal como lo recibiste,
Aun mejorado.

Lo usarás mientras vivas,
Con prudencia y habilidad,
Para que te rinda al máximo,
Sin perder su fertilidad ni aptitud prístina.

Así cuando llegues a la etapa inexorable,
Sentirás la satisfacción de haber cumplido.
Y la sensación de asegurar para las generaciones futuras
El bienestar y progreso a que aspira este mundo
Tan convulsionado.
Que no repara en el mismo valor
Que tiene el bien que desperdicia y destruye.

Casiano Quevedo

RESUMO

SILVA, Maria de Fátima Marchezan Menezes da. Atributos de solo e planta em função da aplicação cumulativa de cinza de casca de arroz no cultivo do arroz irrigado. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

As cascas de arroz têm sido utilizadas pelas agroindústrias de beneficiamento de grãos como biomassa para gerar energia e para secagem dos grãos. Esse processo gera um subproduto chamado cinza da casca de arroz (CCA), cujo destino tem sido o descarte no ambiente e a deposição em pastagens ou lavouras sem qualquer avaliação dos seus impactos no ambiente. O objetivo da pesquisa foi avaliar os efeitos cumulativos da incorporação dessa cinza, ao longo de três safras agrícolas, em atributos de um Neossolo e nos parâmetros produtivos e nutricionais da cultura do arroz irrigado por inundação. O experimento foi conduzido em uma área experimental pertencente a Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda., município de Alegrete, RS. Foi utilizada a variedade de arroz, BR-IRGA 409, em um experimento com delineamento em blocos casualizados, consistindo em quatro tratamentos com incorporação cumulativa de cinza no solo nas dosagens de: 4, 8, 16 e 32 t CCA ha^{-1} e um tratamento testemunha sem aplicação de cinza. Foram avaliados parâmetros físicos, químicos e microbiológicos do solo e parâmetros morfoprodutivos da cultura durante os três ciclos produtivos (2012/2013, 2013/2014 e 2014/2015). Os resultados indicam que a adição da cinza não afetou significativamente o estado de agregação do solo avaliado através do diâmetro médio ponderado de agregados estáveis em água e tampouco a proporção de macro e microagregados. Os tratamentos que receberam 32 t de CCA ha^{-1} apresentaram teores médios de potássio no solo mais elevados que os demais tratamentos. Não foram também observados impactos negativos para a microbiota do solo, havendo inclusive incremento no carbono da biomassa microbiana e da sua qualidade nutricional, indicando que a mesma pode estar se beneficiando do carbono contido na cinza. Os resultados mostraram que a adição de cinza não afetou significativamente a produtividade e os teores de macro e micronutrientes dos tecidos vegetais analisados, com exceção do potássio na dosagem de 32 t de CCA ha^{-1} ano.

Palavras chave: agregados, fertilidade, microbiologia, produtividade, nutrição.

ABSTRACT

SILVA, Maria de Fátima Marchezan Menezes da. Soil and plant attributes as a function of the cumulative application of rice husk ash in irrigated rice cultivation. Thesis (Doctorate in Sciences) - Postgraduate studies in Soil and Water Management and Conservation, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2017.

The rice husks have been used for grain processing agribusinesses as biomass to generate energy and drying grain. This process creates a byproduct called rice husk ash (RHA), whose fate has been the disposal on the environment and deposition in pastures or crops without any assessment of their impact on the environment. The objective of the research was to assess the cumulative effects of the incorporation of this ash, over three growing seasons in attributes of a Typic and productive and nutritional parameters of the flooded rice culture. The experiment was conducted in an experimental area belonging to Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda. city of Alegrete, RS. It was used rice variety, BR-IRGA 409, in an experiment with a randomized block design, consisting of four treatments with cumulative incorporation of ash in the soil at the dosages of 4, 8, 16 and 32 t RHA ha^{-1} and control treatment. We evaluated the physical, chemical and microbiological parameters of soil and morfoprodutivos parameters during culture of the three production cycles (2012/2013, 2013/2014 and 2014/2015). Preliminary results indicate that the addition of the ash did not affect soil physical state assessed by the mean weight diameter of water stable aggregates, nor the proportion of macro and microaggregates. The treatments with 32 t ha^{-1} RHA showed average levels of potassium in the soil higher than the other treatments. There were also observed negative impacts to soil microbiota, with even increase in microbial biomass carbon and its nutritional quality, indicating that it may be benefiting from the carbon contained in the ash. The results showed that the addition of ash did not significantly affect productivity and macro and micronutrients of plant tissues analyzed, with the exception of potassium in 32 t dosage RHA ha^{-1} year.

Keywords: aggregates, fertility, microbiology, productivity, nutrition.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO GERAL ……..…….	12
2.	REVISÃO DE LITERATURA …….....	16
2.1.	Produção de casca de arroz e tipos de cinza ….....	16
2.2.	Características da casca e da cinza	18
2.3.	Qualidade do solo e seus indicadores	20
3.	MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1.	Localização e caracterização da área experimental	22
3.2.	Caracterização do solo do Centro Técnico Experimental da CAAL	23
3.3.	Delineamento experimental	25
3.4.	Manejos adotados: solo, água e cultura …….....	27
4.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
5.	ARTIGO 1 – ANÁLISE TEMPORAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM NEOSSOLO SUBMETIDO À INCORPORAÇÃO SUCESSIVA DE CINZA DA CASCA DE ARROZ	42
5.1.	Resumo	42
5.2.	Introdução	42
5.3.	Material e Métodos	44
5.4.	Resultados e discussão	49
5.5.	Conclusões	62
5.6.	Referências bibliográficas	62
6.	ARTIGO 2 – ANÁLISE TEMPORAL DA FERTILIDADE DE UM NEOSSOLO SUBMETIDO À INCORPORAÇÃO SUCESSIVA DE CINZA DA CASCA DE ARROZ	67
6.1.	Resumo	67
6.2.	Introdução	68
6.3.	Material e Métodos	70
6.4.	Resultados e discussão	74

6.5. Conclusões 93
6.6. Referências bibliográficas 93
7. ARTIGO 3 – ANÁLISE TEMPORAL DOS PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS DE UM NEOSSOLO SUBMETIDO À INCORPORAÇÃO SUCESSIVA DE CINZA DA CASCA DE ARROZ 98
7.1. Resumo 98
7.2. Introdução 99
7.3. Material e Métodos 105
7.4. Resultados e discussão 112
7.5. Conclusões 117
7.6. Referências bibliográficas 118
8. ARTIGO 4 – ANÁLISE TEMPORAL DE PARÂMETROS MORFOPRODUTIVOS DO ARROZ IRRIGADO EM SOLO SUBMETIDO À INCORPORAÇÃO SUCESSIVA DE CINZA DA CASCA DE ARROZ 121
8.1. Resumo 121
8.2. Introdução 122
8.3. Material e Métodos 124
8.4. Resultados e discussão 130
8.5. Conclusões 136
8.6. Referências bibliográficas 136
9. CONCLUSÕES GERAIS 139

1. INTRODUÇÃO GERAL

A demanda da população mundial por energia é crescente. No Brasil, o crescimento estimado é de 3,6% ao ano (BRASIL, 2014), o que requer maior eficiência energética aliada às questões socioambientais e à sustentabilidade. Isso significa gerar energia e produzir alimentos atendendo às demandas humanas e alterando o mínimo possível os ambientes naturais não comprometendo a sobrevivência das futuras gerações.

A substituição de combustíveis fósseis por biomassa na geração de energia é uma alternativa viável e sustentável em longo prazo e que pode utilizar diferentes materiais que seriam descartados na natureza gerando passivos ambientais.

Segundo o Ministério de Minas e Energia (MME), a matriz energética brasileira é autossuficiente em fontes primárias para a geração de energia elétrica para os próximos vinte anos ou mais (BRASIL, 2014). No entanto, deve-se considerar que esse cenário é regulado pela competitividade entre as fontes, pela necessidade de diversificação da matriz energética, pelas restrições socioambientais e pela racionalização do uso da energia. Ainda segundo o MME a geração de energia elétrica a partir da biomassa, além de ser uma opção limpa, é competitiva dentro de vários cenários possíveis quando comparada a outras fontes, é ambientalmente viável e ainda permite aproveitar a sazonalidade anual das culturas e o uso de seus resíduos (BRASIL, 2014).

O Plano Nacional de Energia do MME estima um incremento e 4,75 GW para a biomassa de cana-de-açúcar e 1,3 GW para a biomassa oriunda de resíduos urbanos e outras fontes para o período 2015/2030. As agroindústrias nacionais (uso de biomassa) correspondem a 393 das 3.377 usinas geradoras de energia elétrica do Brasil, sendo que dez delas - oito no RGS, fazem uso da casca de arroz como combustível, o que corresponde a 0,03% de contribuição para a geração total de energia do País (ANEEL, 2014).

No município de Alegrete, localizado na região da Campanha do RS, existem duas usinas que utilizam a casca de arroz na geração de energia: a Geradora de Energia Elétrica Alegrete Ltda. (GEEA) e a Cooperativa

Agroindustrial Alegrete Ltda. (CAAL), ambas totalizando uma geração de 8,82 Megawatts destinados ao consumo próprio. A Usina Termoelétrica da CAAL possui uma capacidade nominal instalada de 3,8 Megawatts que pode ser comparada ao suprimento de uma cidade de 40 mil habitantes, contribuindo para a retirada anual de 45 mil toneladas de carbono do meio ambiente, o que equivale à redução de gases de efeito estufa emitidos por cerca de 38 mil carros por ano (CAAL, 2015).

Embora o valor de contribuição energética dado pela queima da casca de arroz seja de pequena escala do ponto de vista nacional, ele se torna relevante localmente, tanto para as agroindústrias onde é gerado, como para as regiões onde elas se inserem sob o ponto de vista energético, ambiental e agrícola.

Projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) como a geração de energia a partir das cascas de arroz justificam-se por fatores importantes como redução dos gases de efeito estufa (GEE), obtenção de selos de qualidade, atendimento a padrões de certificação além do compromisso social e ambiental. Algumas agroindústrias, como a CAAL, têm recebido prêmios ambientais (Prêmio Mérito Ambiental Henrique Luiz Roessler, 2012) por terem adotado uma fonte de geração de energia limpa e sustentável e, economicamente, de custo quase nulo. No entanto, as empresas também precisam contemplar em seus planos de gestão, o destino final ou uso que será dado para o grande volume de cinza de casca de arroz (CCA) produzido por esses processos de geração de energia.

Supondo-se que as cinzas possam ser utilizadas em propriedades agrícolas, cria-se uma logística reversa entre a agroindústria e os sistemas produtivos da cadeia orizícola da cidade em que os produtores entregam o arroz com casca, pois podem receber de volta a cinza para ser utilizada como adubo natural e corretivo de solos. Dessa forma, além da usina beneficiar-se com a geração de energia, também pode obter lucro com o resíduo (agora com valor agregado) da matéria-prima utilizada na produção dessa energia. Assim, ocorre o total aproveitamento da matéria-prima proveniente da lavoura e completa-se o ciclo da industrialização do arroz, em um modelo ideal, gerando resíduo zero.

A possível disponibilização da CCA no ambiente está regulamentada pela Diretriz Técnica da FEPAM nº 002/2011 (FEPAM, 2011) a qual prevê algumas possibilidades para o correto gerenciamento das cascas e cinzas resultantes do processo de industrialização do arroz. Duas dessas possibilidades seriam para o uso agrícola: a compostagem da casca de arroz e a incorporação dos resíduos no solo em propriedades rurais. No entanto, apenas a última tem como exigência que o manejo de aplicação seja baseado em técnicas agronômicas, com controle e rigor técnico e mediante um projeto com ART (Anotação de Responsabilidade Técnica). A preocupação dos órgãos ambientais justifica-se e se baseia no princípio da precaução formulado pelos gregos e que prevê ações antecipatórias para proteger a saúde das pessoas e dos ecossistemas, pois os efeitos da CCA no ambiente ainda não foram devidamente determinados devido à carência de estudos nessa área.

Embora historicamente a CCA venha sendo utilizada como condicionadora dos solos e, empiricamente na região onde se desenvolve a pesquisa, sabe-se de depoimentos de agricultores sobre os benefícios da cinza para as culturas e o solo, do ponto de vista científico, ainda são poucos os trabalhos que avaliam o potencial de uso da CCA como corretivo e condicionador do solo e, por consequência, o seu efeito sobre diferentes tipos de solos e culturas.

Mesmo que a CCA tenha atualmente outros destinos possíveis, como a construção civil (adição ao concreto, cerâmicas, tijolos) e a fabricação de pneus, tais processos também geram resíduos, ou seja, continua-se trocando um problema por outro.

Apesar de serem encontradas pesquisas sobre o uso da CCA na área da construção civil (adição ao concreto, cerâmicas, tijolos) e mesmo para a estabilização de estradas não pavimentadas (NASSIRI et al, 2016), são reduzidos os estudos sobre seu uso agrícola, indicando um campo ainda pouco explorado e com possibilidade de inúmeras frentes de pesquisas.

Além disso, nem todas as beneficiadoras de arroz produzem cinza em grande escala que compense economicamente o transporte desse resíduo de baixa densidade por longas distâncias até o seu comprador. O uso agrícola da CCA torna-se, portanto, mais viável se puder ser utilizado no próprio município.

O retorno da CCA aos sistemas produtivos seria a forma mais sustentável de fechamento da cadeia produtiva, a qual poderia reintegrar os seus resíduos. Somam-se a esses argumentos trabalhos que tem mostrado que a cinza pode melhorar a estrutura do solo e suas propriedades físicas (REIS et al., 2011; ISLABÃO, 2013; ISLABÃO et al., 2016), é corretiva da acidez do solo (PAULETTO; NACHTIGALL; GUADAGNIN, 1990; REIS, et al., 2011; ISLABÃO, 2013; ISLABÃO et al., 2014), tem efeitos sobre a disponibilidade de nutrientes no solo (KATH; MARQUES; VAHL, 2012; KATH et al., 2012; AIRES, 2014; JORGE, R. R., 2014) proporcionando incremento de produtividade (SILVA et al., 2008; ADOLPHO et al., 2015), auxilia no controle de doenças foliares e ataque de insetos (SAVANT et al., 1994; BERNI, 2001), é benéfica para a microbiota do solo (SILVA et al., 2015) e não apresenta riscos de contaminação de corpos hídricos pela percolação (SILVA et al., 2014).

A revisão do estado da arte do uso agrícola das CCA, mostrou que existem limitações quando ao tempo de duração das pesquisas, à carência de avaliação de parâmetros mais diversificados e à inexistência de trabalhos com os efeitos cumulativos da cinza.

Considerando tais carências, os objetivos deste trabalho são: avaliar os efeitos de doses cumulativas de cinza de casca de arroz em atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo e suas consequências na nutrição mineral das plantas e na produtividade do arroz irrigado por alagamento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Produção de casca de arroz e tipos de cinza

O volume mundial de casca de arroz resultante do processo agroindustrial é extremamente elevado e, por consequência, o volume de cinza derivado da queima dessa casca também. Segundo Amick (1982), as cascas representam 23% do grão e, segundo Della, Kühna e Holtza (2005), as cascas representam 20% do peso do grão, sendo que, para cada tonelada de arroz produzido, a cinza representa cerca de 4%. Encontra-se divergência quanto ao percentual de casca convertido em cinza: Rego (2001) menciona que na combustão 20% da casca é convertida em cinza enquanto que para Hoffmann (2011) esse percentual é de 18%.

Dessa forma, ao se considerar o percentual de 23% fornecido por Amick (1982) para a relação grão/casca e o percentual de 4% de produção de cinza por tonelada de arroz produzida (DELLA, KÜHNA; HOLTZA, 2005), apenas a safra 2014/2015 geraria 2.862.120t de casca de arroz no Brasil (CONAB, 2016) e 2.005.473 t no Rio Grande do Sul (IRGA, 2016). No município de Alegrete, com uma produção de 495.964 t de arroz na safra 2014/2015 (IRGA, 2016) isso equivale a 114.072 t de casca de arroz e 19.839 t de cinza de casca de arroz. Em termos de município, deve-se considerar ainda a possibilidade da compra de casca de outros municípios para abastecer as usinas locais, o que alteraria esses valores.

De acordo com informações fornecidas pela Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda. (CAAL), foram beneficiados 2.149.659 sacos de arroz (50 kg) entre janeiro de 2014 e agosto de 2015 gerando uma produção de 23.646 t de casca, a qual foi utilizada na geração de energia. Como esse valor não foi suficiente para atender a demanda energética, nesse mesmo período a CAAL comprou 4.970 t de casca de arroz de terceiros, produzindo um total de 5.386 t de cinza. O preço da tonelada de casca tem variado desde o início da pesquisa, entre R$ 60,00 e R$ 80,00.

A CCA é gerada devido à queima completa da casca de arroz que é utilizada como fonte de energia para aquecer a água das caldeiras e o ar destinado à secagem e à parboilização dos cereais que a usina beneficia (arroz, soja e milho). A queima da casca pela usina, especificamente pela CAAL, é controlada por um processo totalmente automatizado e ocorre a uma temperatura em torno de 700 ^{o}C em um leito de esteiras, onde permanece por cerca de seis segundos.

Segundo Della, Kühna e Holtza (2005), a temperatura e o tempo de exposição à determinadas temperaturas são fatores que determinam o teor e o tipo de sílica presente nas cinzas. Segundo diversos autores, entre os quais Isaía (1995) e Prudêncio, Santos e Dafico (2003), temperaturas de queima elevadas (acima de 800 ^{o}C) e maior tempo de exposição, determinam um maior teor de sílica cristalina (cristobalita e quartzo), mais densa e compacta; enquanto que uma casca exposta às temperaturas menores (entre 400 ^{o}C e 600 ^{o}C) e com patamar de três a quatro horas, contêm teores abundantes de sílica amorfa e é mais porosa. Temperaturas elevadas (600 ^{o}C a 900 ^{o}C) com tempo de queima de duas horas provocam o colapso da microporosidade superficial das partículas da CCA e a coalescência das irregularidades que formam a rede de poros. Com isso, apesar do diâmetro médio das partículas sofrer um aumento, ocorre uma redução da área superficial específica (KIELING, 2009).

O tipo de cinza que apresenta as possíveis melhores condições de aproveitamento como recuperador de solos, corretivo e adubo, é amorfa, que na presença de água e à temperatura ambiente, reage com hidróxido de sódio para formar compostos com propriedades aglomerantes. Devido a esta característica e ao tamanho reduzido do seu diâmetro, podem modificar a microestrutura (granulometria) de outro material a que for misturada, ao preencherem os espaços entre partículas maiores (KIELING, 2009). Nesse sentido, talvez possa representar uma alternativa de recuperação para solos de características arenosas ou degradados, agregando as suas partículas, evitando a lixiviação de nutrientes e aumentando o teor de água disponível.

2.2. Características da casca e da cinza

De acordo com Chandrasekhar et al. (2003) os constituintes químicos da casca de arroz podem variar, devido a diferentes condições geográficas, variedade, clima, à química do solo e também devido a fertilizantes utilizados durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

Os principais componentes orgânicos da casca são a celulose (43,5%), a hemicelulose (22%) e a lignina (17,2%), as quais podem ser removidas durante a queima, resultando em uma estrutura celular e porosa (PRUDÊNCIO; SANTOS; DAFICO, 2003). O teor de cinzas é de 11,4% (MUSSATO; ROBERTO, 2002) as quais, geralmente, contêm de 80 a 90% de SiO_2 (sílica), 5% de K_2O, 4% de P_2O_5 e 1 a 2% de CaO, além de pequenas quantidades de Mg, Fe e Na (ARMESTO et al., 2002). No entanto, esses valores percentuais podem sofrer variações conforme o tempo de exposição e a temperatura de queima na fornalha, sendo que os teores de sílica podem sofrer uma variação significante (KIELING, 2009).

O processo de queima da casca de arroz não apresenta grande influência na composição qualitativa da cinza e na sua composição química, mas a queima sob diferentes magnitudes de temperaturas e tempos de exposição, implicam em variações no teor de umidade, carbono residual, impurezas e sílica a qual pode variar entre 85 a 95% (REGO, 2001; KIELING, 2009). Uma queima parcial da casca gera uma cinza com maior teor de carbono e de cor preta e, quando a queima é completa, o resultado é uma cinza de cor acinzentada, branca ou púrpura, dependendo das impurezas inorgânicas presentes e do teor de carbono.

De acordo com Chandrasekhar et al. (2003), em condições de queima controlada, entre 673 e 873 K (entre 400 e 600ºC) em um período de 6-12 h, é produzida uma sílica amorfa com alta reatividade e atividade pozolânica, ultra fina e com uma área superficial específica (20-60 $m^2\ g^{-1}$). Os referidos autores também citam alguns parâmetros físicos analisados em diferentes amostras de CCA amorfa de coloração rosa claro, tais como: densidade de partícula (1,73 g cm^{-3}), densidade do solo (0,30 g cm^{-3}), reatividade de 95,8 mg CaO g^{-1} de cinza e área superficial (139 $m^2\ g^{-1}$). No mesmo trabalho, os autores apresentam ainda a distribuição de tamanho de partículas da cinza (µm): < 2 (14,5%), 2-5

(9%), 5-10 (9,5%), 10-20 (16%), 20-45 (24%) e > 45 (27%). Se considerarmos a classificação granulométrica adotada pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), na cinza existem 14,5 % de partículas menores que 2 µm, o que equivale ao limite superior da classe de tamanho das partículas de argila do solo e 9% de partículas que equivalem ao tamanho das partículas de silte.

No entanto, considerando que a coloração da cinza usada no trabalho de Chandrasekhar et al. (2003) tinha rosa claro e a utilizada nessa pesquisa a coloração é preta e acinzentada, provavelmente alguns dos parâmetros citados pelos autores sejam diferentes dos encontrados por essa pesquisa, como por exemplo, a densidade, que no trabalho dos autores é de 0,30 g cm^{-3} e a da cinza utilizada nesse trabalho é de 0,23g cm^{-3}.

Segundo Zemnukhova (2005), a área superficial específica das cinzas de casca de arroz obtidas por termólise a 750ºC depende do tipo de matéria-prima e procedimento do seu processamento, sendo que as de cinzas de cor negra tem a área superficial específica mais elevada (entre 142 e 459 m^2 g^{-1}).

Com relação à possível composição química da CCA, Huston (1972) afirma que essa pode variar conforme os diferentes tratos culturais, as condições climáticas e geográficas, a variedade, o ano de colheita, a preparação da amostra e o tipo de método de análise. No entanto, Kieling (2009) ressalta que os resultados de pesquisas realizados por diferentes autores, em diversas regiões do mundo e com cinzas produzidas sob diferentes condições de queima, são semelhantes quanto à composição química da CCA.

De acordo com os relatórios de ensaio (RE) 26305/15.11, 26306/15.11 e 66833-001-135447/12.15, fornecidos pela ECONSULTING (Laboratório de Gestão Ambiental e Higiene Ocupacional), a cinza utilizada no presente trabalho não apresenta inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxidade e patogenicidade de acordo com os termos referidos na norma, sendo classificada de acordo com os parâmetros analisados e com a NBR 10004 como resíduo não inerte – Classe IIA (ABNT, 2004).

Ainda de acordo com os relatórios de ensaio (RE) fornecidos pelo laboratório ECONSULTING, os níveis dos elementos boro, cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio, níquel, arsênio, bário, prata, selênio, fenol e cianeto

ficaram abaixo dos limites mínimos de detecção das metodologias e equipamento utilizados para as análises.

A Tabela 1 apresenta as características e composição das cinzas de diferentes estudos e a cinza utilizada nos três anos de cultivo na área experimental.

Tabela 1 - Composição química da casca de arroz e de diferentes cinzas de casca de arroz

Parâmetros	Unidades	Casca*	CCA*	CCA**	CCA CAAL			
					(RE1)***	(RE2)***	(RE3)***	(RE4)***
pH	-	-	9,6	8,6	8,89	6,89	9,40	9,4
PN	%	-	-	0,91	-	< 1,0	-	1,0
Cinzas	%	-	-	-	89,6	89,6	87,3	-
COT	%	31,9	8,2	7,2	5,7	5,6	6,4	5,3
Umidade	%	-	-	-	0,5	0,5	1,7	-
Densidade	g cm^{-3}	-	-	-	-	0,23	-	-
CTC	mmol kg^{-1}	-	-	-	-	-	-	182
DBO	mg L^{-1}	-	-	-	-	-	-	1,08
DQO	mg L^{-1}	-	-	-	-	-	-	26,98
Si	g kg^{-1}	86,0	423,0	410,0	-	682,00	-	-
N	g kg^{-1}	4,5	0,4	1,0	-	0,51	-	-
P	g kg^{-1}	0,3	2,7	2,6	-	0,33	-	-
S	g kg^{-1}	0,7	0,7	3,5	-	0,10	-	-
K	g kg^{-1}	1,7	14,0	11,4	-	4,49	-	-
Ca	g kg^{-1}	1,6	5,8	6,0	-	1,50	-	-
Mg	g kg^{-1}	0,3	3,0	4,2	-	0,37	-	-
Cu	g kg^{-1}	-	-	-	-	1,52	-	-
Mn	g kg^{-1}	-	-	-	-	0,29	-	-
Na	g kg^{-1}	-	-	-	-	0,12	-	-
Zn	g kg^{-1}	-	-	-	-	0,01	-	-

Fontes: *Médias de 3 a 38 fontes bibliográficas (extraída e adaptada de ISLABÃO, 2013); **CCA utilizada no experimento de ISLABÃO (2013); ***Relatórios de Ensaio (RE) da CCA utilizada na pesquisa realizados pelo Laboratório ECONSULTING: RE1 (26305/15.11), RE2 (26306/15.11), RE3 (66833-001-135447/12.15) e RE4 (66833-002-135448/19.15).

2.3. Qualidade do solo e seus indicadores

O uso adequado do solo é essencial para o desenvolvimento sustentável e para atender à crescente população mundial e suas necessidades alimentares. No entanto, as atividades humanas estão degradando os solos em uma taxa acelerada, sem que a natureza tenha condições de reconstruí-los. Isso leva a uma redução das áreas cultiváveis, seja pelo uso e manejo inadequados ou devido à expansão das cidades sobre áreas agricultáveis.

De acordo com a FAO - Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (1997), o conceito de terra refere-se aos recursos

combinados de solo, água, vegetação e terreno, os quais fornecem a base para seu uso. Dessa forma, a FAO entende que qualidade da terra é a condição necessária para o uso sustentável da terra e gestão ambiental.

Brady e Weil (2013) citam que a “qualidade do solo é uma medida de sua capacidade para realizar determinadas funções ecológicas”. Para os autores, a qualidade do solo “reflete uma combinação das propriedades físicas, químicas e biológicas”. Karlen e Stott (1994) definem qualidade como sendo a aptidão de um determinado tipo de solo, funcionando dentro de sua capacidade e limites naturais ou geridos de ecossistemas, sustentando a produtividade da biota e mantendo ou melhorando a qualidade do ar e da água garantindo a saúde humana e habitação.

Segundo Arshad e Martin (2002), para avaliar a qualidade do solo deve-se utilizar atributos mensuráveis que influenciam sua capacidade para sustentar a produção de culturas ou manter as funções ambientais. Os autores afirmam que os atributos que são mais sensíveis ao manejo são mais desejáveis, como: profundidade, teor de matéria orgânica, aeração, agregação, densidade, infiltração, disponibilidade de nutrientes e capacidade de retenção de água. Afirmam ainda, que esses indicadores podem interagir, isto é, os valores de um podem ser afetados por um ou mais dos outros fatores, como por exemplo, a estabilidade de agregados que pode estar correlacionada com o carbono orgânico, teor de argila e porcentagem de sódio trocável.

Devido às múltiplas interações entre os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, a determinação de quais são os limites críticos para os indicadores de qualidade do solo não é tarefa simples. Uma intervenção em qualquer um desses fatores pode reduzir a qualidade do solo e, devido à complexidade para determinar os parâmetros críticos, o melhor a ser feito é desenvolver um conjunto de orientações que ajudem a definir tais limites. Uma alternativa é comparar os solos que foram alterados, com solos que não sofreram intervenção, como áreas de floresta, campo nativo ou em pousio, por exemplo (ARSHAD; MARTIN, 2002; BRADY; WEIL, 2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi realizado no município de Alegrete, situado na região da Campanha do Estado do Rio Grande do Sul (Fig. 1), no Centro Técnico Experimental (CTE) pertencente a Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda. (CAAL), com coordenadas geográficas 29º48’30,12”S - 55º50’59,93”W, próximo a BR 290.

Figura 1 – Localização da cidade de Alegrete (em vermelho no mapa), Rio Grande do Sul. Fonte: Wikipedia (2013).

O relevo da região pertence a Formação Serra Geral e é classificado como suave a ondulado com altitude de 126 m em relação ao nível médio do mar. A maioria dos solos é de origem basáltica, com ampla dominância de NEOSSOLOS LITÓLICOS ou REGOLÍTICOS EUTRÓFICOS referentes à Unidade Pedregal. A paisagem característica é de campo nativo (estepe gramíneo-lenhosa) e de mata ciliar (floresta estacional decidual aluvial) (STRECK et al., 2008).

Pela classificação de Köppen, o clima da região é subtropical (Cfa), temperado quente, com chuvas bem distribuídas e estações bem definidas. A média anual de precipitação pluviométrica é de 1.525 mm, sendo que a menor média mensal ocorre em agosto e a maior em outubro. As chuvas intensas, quando ocorrem, têm sido de até 115 mm em 24 horas. A temperatura média

anual na região é de 18,6°C, variando entre 13,1°C em julho e 35,8°C em janeiro, eventualmente com formação de geada entre os meses de maio e setembro. As temperaturas máximas ficam em torno de 40,4°C e a umidade relativa média do ar é de, aproximadamente, 75% em todos os meses (INMET, 2013).

3.2. Caracterização do solo do Centro Técnico Experimental da CAAL

As análises químicas foram realizadas no Laboratório de Química do Solo do Departamento de Solos da UFPel.

A área experimental possui aproximadamente 0,5 ha e encontrava-se sob uma vegetação nativa espontânea com histórico de cultivos experimentais de arroz, milho, milheto e pastagem de azevém para um pequeno rebanho de gado de leite.

A área fica próxima a BR 290 possuindo relevo plano, com altitude de aproximadamente 126 m em relação ao nível do mar, ligeiramente pedregosa, não rochosa, sob estrato de gramíneas, erosão ausente e com drenagem moderada (Fig. 2).

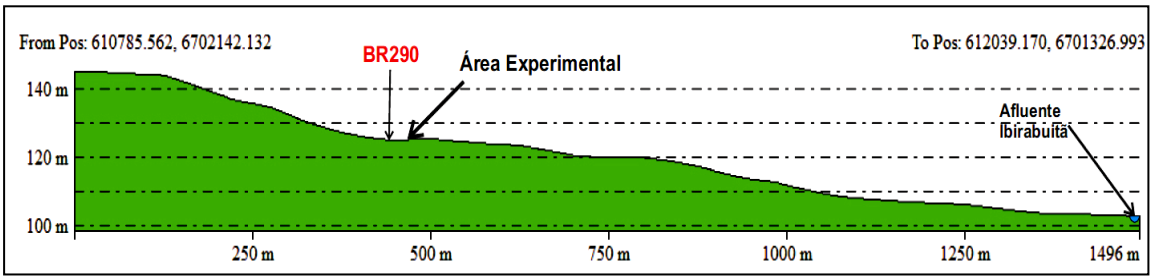

Figura 2 – Localização topográfica da área experimental no Centro Técnico Experimental da Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda. (CAAL).
Fonte: produzida pelo autor utilizando o Google Earth.

Considerando as características do perfil e os horizontes presentes, com contato lítico a uma profundidade maior que 0,50 m; que o horizonte A se encontra sobrejacente a um horizonte C com mais de 5% de fragmentos de rocha semi-intemperizados; que a saturação de bases é alta (≥ 50%) nos horizonte A, AC e C e, que ocorre drenagem com restrição devido ao contato lítico na sub superfície, o solo foi classificado segundo o Sistema Brasileiro de

Classificação de Solos como NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico (STRECK et al., 2002; SANTOS et al. 2013).

A caracterização morfológica do perfil do solo foi realizada em uma trincheira com 2 m de largura x 3 m comprimento x 1 m de profundidade, a 5 m do experimento, limitada pelo contato com a rocha. O solo caracteriza-se por ser pouco desenvolvido, com material saprolítico a cerca de 0,60 m da superfície.

As amostras de solo coletadas em cada horizonte foram separadas e identificadas no intuito de determinar a cor, estrutura, textura, consistência seca, úmida, molhada e a respectiva caracterização das transições entre os horizontes, conforme metodologia recomendada por Santos et al. (2013).

A composição granulométrica do solo coletado nos horizontes do perfil foi determinada após dispersão das amostras com NaOHO,1 mol L^{-1} e agitação mecânica por 16 h. A fração areia foi separada por tamisação úmida em peneira com malha de 0,053 mm e a fração argila foi determinada pelo método da pipeta e a fração silte calculada por diferença (Tabela 2).

Tabela 2 – Granulometria dos horizontes do NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico do Centro Tecnológico Experimental da CAAL e classificação textural

Horizonte	Areia	Silte	Argila	Silte/ Argila	Classe textural
m	---------- % ----------				
A (0,00 – 0,25)	47	27	26	1,1	Franco-argilo-arenoso
AC (0,25 – 0,50)	44	18	38	0,5	Argiloso
C (0,50 – 0,80)	41	18	41	0,5	Argiloso
CR(0,80 - 1,0 +)	-	-	-	-	-

A densidade média de partículas (Dp) na camada de 0,00 – 0,10 m foi de 2,61 g cm^{-3} enquanto que na camada de 0,10 – 0,20 m foi de 2,69 g cm^{-3} (Fig. 1 e 2, respectivamente). Tais valores se encontram dentro dos parâmetros (2,60 a 2,75 g cm^{-3}) citados por diferentes autores para as condições de solos tropicais e subtropicais, nos quais predominam minerais como quartzo, feldspato, mica e coloides silicatados que possuem densidades dentro desse intervalo (KLEIN, 2012; BRADY & WEIL, 2013). A presença do quartzo evidenciada nos 47% de areia no horizonte A e a presença dos óxidos de ferro

(0,7%) constatada pelas análises do solo da área experimental, também podem justificar os valores encontrados.

Os atributos químicos do solo para cada horizonte foram determinadas segundo EMBRAPA (2011), sendo os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} determinados por espectrometria de absorção atômica após extração com KCl 1,0 mol L^{-1}. Os teores de Na^{+} e K^{+} trocáveis foram extraídos com solução de HCl 0,05 mol L^{-1}+ H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} e determinados por fotometria de chama. O teor de Al^{3+} trocável foi extraído com solução KCl 1,0 mol L^{-1} e titulado com NaOH 0,0125 mol L^{-1}. Os teores de S foram determinados por espectrofotometria após utilizar após extração com $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$.

Tabela 3 – Atributos químicos do solo em cada horizonte do perfil do NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico localizado no Centro Técnico Experimental da CAAL

Horizonte	$pH_{água}$	Ca^{++}	Mg^{++}	K^{+}	Na^{+}	Al^{+++}	H+Al	V	m	C	S
		.....		$cmol_c\ kg^{-1}$		.....		..... %			$mg\ kg^{-1}$
A	5,5	7,90	3,41	0,14	0,10	0,29	2,41	82,71	2,06	2,21	2,94
AC	5,0	3,72	2,31	0,05	0,11	3,48	3,54	63,61	35,70	0,91	3,38
C	5,1	5,16	3,12	0,06	0,17	2,71	3,31	72,01	22,92	1,05	0,00

A partir dos dados analíticos obtidos foram calculadas a soma de bases ($SB = Ca^{++} + Mg^{++} + K^{+} + Na^{+}$), a porcentagem de saturação por bases [$V = (100 \times S) / (S + (H^{+} + Al^{+++})$] e a saturação por alumínio [$m = (100 \times Al^{+++}) / (S + Al^{+++})$].

O teor de carbono orgânico do solo foi determinado pela oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico - método de combustão de WALKLEY e BLACK (1934). A porcentagem de matéria orgânica do solo (MOS) foi calculada multiplicando-se o teor de carbono orgânico por 1,724. Este fator é utilizado em virtude de se admitir que, na composição média da MOS , o carbono participa com 58% (EMBRAPA, 2011).

3.3. Delineamento experimental

A área onde foi implantado o experimento possui um histórico de uso de mais de 15 anos com métodos convencionais de preparo, utilizada tanto pela CAAL quanto pelo IRGA e Embrapa na montagem de parcelas demonstrativas

de variedades de grãos e pastagens e diferentes adubações. A área destinada à implantação do experimento encontrava-se sem cultivos agrícolas, apenas com gado leiteiro sobre pastagem de inverno.

As parcelas experimentais na área possuíam 10 m x 2,4 m (24 m^2) distanciadas entre si de 2 m, sendo 1 m de largura de taipa com altura de, aproximadamente, 0,40 m a fim de individualizar os diferentes tratamentos (Fig. 3). O pousio considerado para esse estudo é a área do entorno da área experimental.

Figura 3 – Vista da área experimental mostrando os quatro blocos (B) e os cinco tratamentos (T). O retângulo em amarelo mostra o local da trincheira para a caracterização do perfil.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados devido à leve declividade do terreno (em torno de 1%). Foram definidos cinco tratamentos (cinco doses de CCA): T0: testemunha (0,0 kg de CCA/parcela); T1: 4.000 kg de CCA ha^{-1} (9,6 kg de CCA/parcela); T2: 8.000 kg de CCA ha^{-1} (19,2 kg de CCA/parcela); T3: 16.000 kg de CCA ha^{-1} (38,4 kg de CCA/parcela) e T4: 32.000 kg de CCA ha^{-1} (76,8 kg de CCA/parcela). Cada tratamento teve quatro repetições e as cinzas foram pesadas no local.

A determinação das doses teve como referência uma estimativa das quantidades utilizadas pelos produtores. As dosagens foram cumulativas para simular as condições observadas nas propriedades da região.

Para as avaliações de alguns parâmetros foi adotada a área em pousio em torno do experimento como testemunha absoluta, livre de possíveis interferências ocasionadas pelo manejo. A localização das parcelas dentro de cada bloco foi sorteada.

3.4. Manejos adotados: solo, água e cultura

3.4.1. Safra 2012/2013

3.4.1.1. Avaliação inicial da área experimental

Antes da implantação dos tratamentos, foram coletadas com trado calador 10 amostras deformadas de solo (0,0 - 0,20 m) para a análise de fertilidade e densidade de partículas (Dp) (12-13/7/2012). Também foram coletadas, de forma aleatória, 18 amostras indeformadas na área em pousio, sendo nove na camada de 0,0 – 0,10 m e nove na camada de 0,10 – 0,20 m, para a determinação da densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macro (Mp) e microporosidade (mp) (04/9/2012).

3.4.1.2. Preparo do solo e semeadura

O solo da área experimental foi preparado em 04/09/2012, com três passadas de grade acoplada a um trator Ford 6600 4x2 de 75 cv. Após a delimitação das 20 parcelas experimentais, foram implantados os cinco tratamentos (40 dias antes da semeadura), sendo que as cinzas de casca de arroz foram incorporadas em 15/9/2012 de forma manual, utilizando enxadas e rastilhos até a profundidade de 0,20 m (Fig. 4). A CCA a ser utilizada foi enviada para análise no Laboratório ECONSULTING.

Em 24/10/2012, 39 dias após a incorporação da CCA no solo, foram coletadas amostras deformadas para a análise de fertilidade na camada de 0,0 – 0,20 m.

Figura 4 – Preparo da área experimental, delimitação das parcelas (tratamentos) e incorporação da cinza de casca de arroz nos diferentes tratamentos.
Fonte: autor, 2012.

A cultivar de arroz semeada foi a BR-IRGA 409 em 26/10/2012, usando 48,46 kg ha^{-1} de semente tratada (Standak: 100 ml/100kg; Cropstar: 350 ml/100 kg; Derosal: 100 ml/100 kg), com trator e uma semeadora Semeato Sam 200 (para 12 linhas), em espaçamento entrelinhas de 0,17 m (Fig. 5A).

Na sequência da semeadura foi feito o isolamento das parcelas utilizando trator e arado para o levantamento das taipas entre elas (Fig. 5-B). O início da emergência das plantas ocorreu em 04/11/2012.

Em 24/11/012, 69 dias após a incorporação da CCA, foram coletadas de forma aleatória seis amostras preservadas de solo, em cada uma das 20 parcelas, sendo três na camada de 0,00 – 0,10 m e três na camada de 0,10 – 0,20 m, para a determinação da densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macro e microporosidade.

De acordo com a análise de solo realizada anteriormente, foi calculada a adubação de base a qual foi realizada em 26/10/2012. Foram aplicados 280 kg ha^{-1} da formulação NPK (4-17-27).

Foram realizadas duas adubações de cobertura, sendo na primeira (estádio de perfilhamento V3-V4) aplicados 150 kg ha^{-1} de ureia cloretada e na segunda (durante a diferenciação do primórdio floral) 140 kg ha^{-1} de ureia cloretada (26-00-20) com 2% de Mg, 5% de Ca e 10% de S.

Figura 5 – Semeadura do arroz (foto A) e levantamento das taipas (foto B) para contenção da água de irrigação e separação das parcelas.
Fonte, autor, 2012.

3.4.1.3. Manejo da irrigação

Devido à falta de chuvas antes da inundação das parcelas foram realizadas duas irrigações na área (07 e 10/11/2012).

No dia 27/11/2012 a área foi inundada (no estádio vegetativo V3-V4 da cultura) completamente por meio de um sistema de distribuição individual da água bombeada de poço artesiano localizado próximo à área (Fig. 6).

Figura 6 – Sistema de irrigação da área experimental utilizando água de um poço artesiano ao fundo (a figura ilustra a área experimental, aproximadamente, 60 dias após a emergência). Fonte: autor, 2013.

3.4.1.4. Manejo fitossanitário e controle de insetos e invasoras

Para o controle preventivo de doenças fúngicas foi aplicado o produto comercialmente denominado de Nativo; no controle de insetos foi utilizado o produto comercial Decis e para o controle de invasoras foram utilizados o Roundup Original, Gamit (clomazone), Ricer e Nominee.

Mesmo após o controle químico, durante o ciclo da cultura, verificou-se a presença de invasoras, predominantemente o capim-arroz (*Echinochloa* spp), que foram controladas manualmente.

3.4.1.5. Colheita

As parcelas experimentais foram drenadas dois dias antes da colheita (06/04/2013), precedendo-se à abertura das taipas. A colheita foi realizada manualmente no dia 08/04/2013, utilizando-se foices (Fig. 7), cerca de 150 dias após a semeadura. O prolongamento do ciclo da cultura deveu-se provavelmente à baixa luminosidade, característica de anos em que ocorre o fenômeno El Niño.

A umidade dos grãos foi determinada com um medidor de umidade de grãos (MT-Pro Farmex/Agratronix) a qual oscilou entre 14,60% e 15,30% entre as parcelas experimentais. Foram avaliados os seguintes parâmetros morfoprodutivos: altura de planta, massa seca da parte aérea (exceto panículas), teor de Si nos tecidos (folhas e grãos) e produtividade pelo peso de 1000 grãos.

Figura 7 – Colheita manual do arroz (aproximadamente 150 dias após o início da emergência).
Fonte: autor, 2013.

Em 27/4/2013, 222 dias após a incorporação da CCA no solo, foram coletadas amostras para a avaliação da estabilidade de agregados em água nas camadas de 0,00 – 0,10 m e de 0,10 – 0,20 m de profundidade.

3.4.2. Safra 2013/2014

3.4.2.1. Preparo do solo e semeadura

O solo da área experimental foi preparado em 20/9/2013, com três passadas de grade com o trator: duas passadas para incorporar a resteva do ano anterior (Fig. 8) e uma após a reaplicação da cinza. A fim de diminuir o tamanho dos torrões e melhorar a incorporação da CCA na camada de 0,0 – 0,20 m, realizou-se também uma passada com grade niveladora na área.

No mesmo dia do preparo do solo, foram aplicadas as doses de CCA seguindo a mesma distribuição inicial (0, 4, 8, 16 e 32 t ha^{-1}), correspondendo, portanto, às primeiras doses cumulativas nas parcelas, totalizando (0, 8, 16, 32 e 64 t ha^{-1}). Uma amostra da CCA utilizada foi enviada para análise no Laboratório ECONSULTING.

Em 31/10/2013, 41 dias após a incorporação das cinzas, foram realizadas coletas de amostras deformadas para a análise de fertilidade na camada de 0,00 – 0,20 m e amostras preservadas para a determinação da densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macro e microporosidade, nas camadas de 0,00 – 0,10 m e de 0,10 – 0,20 m de profundidade.

Para a semeadura (31/10/2013) foram utilizados 90 kg ha^{-1} de sementes da variedade BR-IRGA 409, tratada, utilizando um trator e uma semeadora Semeato Sam 200 (para 12 linhas), em um espaçamento de 0,17 m nas entrelinhas

Figura 8 – Ilustração da área experimental após a incorporação da resteva com duas passadas de grade. Safra 2013/2014.
Fonte: autor, 2013.

3.4.2.2. Manejo da irrigação

Em função da falta de chuvas, foi realizada uma irrigação na área no dia 03/12/2013 e, em 10/12/2013, a área foi inundada.

Em 29/04/2014 procedeu-se à suspensão da irrigação dos quadros e a abertura das taipas para drenagem da área e colheita.

3.4.2.3. Manejo da adubação

Na adubação de base foram usados 400 kg ha^{-1} (2,23 kg m^{-2}) da fórmula 4-17-37 e nas duas adubações de cobertura foram utilizados 120 kg ha^{-1} de ureia branca não cloretada, no estádio de perfilhamento (V3-V4) e 80 kg ha^{-1} durante a diferenciação do primórdio floral.

3.4.2.4. Manejo fitossanitário e controle de insetos e invasoras

Para o controle de invasoras foi aplicado o produto comercialmente denominado de Nominee e para o controle dos inços nas taipas foi realizada uma reaplicação desse produto. Para o controle fúngico preventivo foi utilizado o produto comercial Nativo e o inseticida comercialmente denominado Decis 25 CE foi aplicado no controle de insetos.

As atividades de arranquio das invasoras dentro dos quadros e de limpeza das taipas foram realizadas duas vezes ao longo do experimento, sendo que não foram observados percevejos durante o ciclo da cultura. Poucas lagartas apareceram as quais foram controladas quimicamente.

Nesse ano foi observado uma maior infestação de inços (particularmente o capim-arroz) nos blocos 1 e 2. Nos blocos 3 e 4 a ocorrência de inços foi visivelmente menor.

3.4.2.5. Colheita

Antes da colheita e na área em pousio, em 08/02/2014 foi realizada a caracterização do horizonte diagnóstico para a classificação do solo.

A colheita foi realizada em 29/04/2014, com a umidade dos grãos entre 11,4% e 24,6% (média de 19,9%), utilizando-se foice. Foram coletadas amostras para determinação de parâmetros morfoprodutivos da planta: altura, massa seca da parte aérea (exceto panículas), teores de macro e micronutrientes de tecidos e produtividade por peso de 1000 grãos e por área.

Em 03/5/2014, 223 dias após a incorporação da CCA no solo, foram coletadas amostras deformadas para avaliação das propriedades microbiológicas do solo (respiração basal e carbono da biomassa microbiana) na camada de 0,0 – 0,20 m.

Em 21/06/2014 (271 dias após a CCA ser incorporada no solo) foram coletadas amostras com estrutura preservada para a determinação da densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macro e microporosidade e, em 15/9/2014 (355 dias após a CCA ser incorporada no solo), foram coletadas amostras para avaliação da estabilidade de agregados em água. Ambas as coletas nas profundidades de 0,0 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m.

3.4.3. Safra 2014/2015

3.4.3.1. Preparo do solo e semeadura

A área foi preparada em 16/10/2014 utilizando-se duas passadas de grade para a incorporação da resteva e da CCA até a profundidade de aproximadamente 0,20 m e, as duas passadas com grade niveladora foram deixadas para o dia da semeadura a fim de deixar o solo mais destorroado e em melhores condições para o contato solo-semente e absorção da umidade. As doses aplicadas de CCA seguiram a mesma distribuição inicial (0, 4, 8, 16 e 32 t ha^{-1}), correspondendo à terceira aplicação cumulativa nas parcelas, totalizando 0, 12, 24, 48 e 96 t ha^{-1}. Novamente uma amostra da CCA utilizada foi enviada para análise no Laboratório ECONSULTING.

Em 29/10/2014, treze dias após a incorporação das cinzas, foram coletadas amostras deformadas para avaliação da fertilidade do solo nas profundidades de 0,00 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m. Nesse mesmo dia, foi realizada a semeadura utilizando 96 kg ha^{-1} da variedade BR-IRGA 409, tratada (pela CAAL), utilizando-se uma semeadora da marca Semeato 200 para 9 linhas.

Durante os três anos do experimento, as taipas foram preparadas sempre após a semeadura devido ao pequeno porte da semeadora utilizada.

As sementes utilizadas foram fornecidas pela cooperativa para os três ciclos. Foram tratadas (com Standak, Cropstar e Derosal) e as densidades de semeadura foram recomendadas pelo agrônomo responsável.

Nas parcelas em que ocorreram falhas em linhas de semeadura, foram realizados transplantes de mudas a partir de plantas de mesmo tratamento e respeitando-se a população de plantas por metro linear.

3.4.3.2. Manejo da irrigação

Devido à ausência de chuvas, foi realizada uma irrigação no dia 20/11/2014 e a inundação permanente teve início em 26/12/2014.

A irrigação foi suspensa e procedeu-se à abertura das taipas para a colheita no seco em 18/3/2015.

3.4.3.3. Manejo da adubação

Na adubação de base foram utilizados 306 kg ha^{-1}da formulação 9-23-23 e, na adubação de cobertura, 150 kg ha^{-1} de ureia não cloretada (45%) na 1ª aplicação e 80 kg ha^{-1} na 2ª aplicação.

3.4.3.4. Manejo fitossanitário e controle de insetos e invasoras

Para o controle de invasoras foram utilizados os herbicidas Ricer, Clincher e Starice. Devido à alta incidência de invasoras (em parte devido ao atraso na entrada da água de irrigação) foi realizada mais uma aplicação do herbicida de nome comercial Nominee.

O controle fúngico preventivo foi realizado com os produtos comerciais Nativo e Match. Para o controle de lagartas foi utilizado o produto comercial Decis 25 CE.

Durante os três anos de projeto não foram identificadas quaisquer doenças fúngicas e, tampouco, sinais de toxidez por ferro na cultura. No primeiro ano de cultivo foram observados raros percevejos que foram controlados quimicamente.

Também foram observadas durante as três safras a presença de raras lagartas verdes pequenas, cujas espécies não foram identificadas, procedendo-se o seu controle químico por indicação do agrônomo responsável.

Notadamente, ao longo dos três anos de desenvolvimento do ciclo da cultivar, ocorreu uma maior incidência de capim-arroz (*Echinochloa* spp.) nos blocos 1 e 2, parte mais baixa do terreno, a qual visualmente conserva maior umidade quando o solo não está alagado. Isso pode ter favorecido a presença dessas plantas ao longo do ano e a sua ressemeadura espontânea

aumentando a infestação. Raras plantas de arroz preto foram observadas, mas plantas de arroz vermelho foram de ocorrência mais frequente.

3.4.3.5. Colheita

A colheita manual (foices) ocorreu 153 dias após a incorporação da CCA no solo, entre os dias 19 e 20/3/2015 com valores de umidade de grãos entre 17,2% e 22,4%.

Na colheita, foram coletadas amostras para determinação de parâmetros morfoprodutivos da planta: altura, massa seca da parte aérea (exceto panículas), teores de macro e micronutrientes nos tecidos, produtividade por peso de 1000 grãos e por área.

Em 29/4/2015, 193 dias após a incorporação da CCA no solo, foram coletadas amostras deformadas de solo para avaliações de fertilidade, na camada de 0,00 – 0,20 m.

As avaliações dos parâmetros químicos, físico e biológicos do solo e as análises de tecidos foram realizadas no Departamento de Solos da Universidade Federal de Pelotas.

As determinações de massa seca foram realizadas no Laboratório de Solos da Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Pampa - Campus Alegrete e as determinações de número de panículas, número de grãos (cheios, chochos e vazios/panícula) e peso de mil grãos foram realizadas no Laboratório de Fitotecnia do Instituto Federal Farroupilha de Alegrete.

As alturas de planta foram medidas no momento da colheita utilizando uma trena e as avaliações de qualidade de indústria foram feitas pelo Laboratório da Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADOLPHO, D. O.; SILVA, M. F. M. M. DA; JORGE, R. R.; MACHADO, R. F.; NEUMANN, S. A.; CAZABONET, L. R.; PYDD, E. B. Efeitos da adubação com cinza de casca de arroz em parâmetros produtivos de arroz irrigado. XII Conferência Internacional de Arroz para América Latina e Caribe – 23 a 26/02/2015 – Porto Alegre, RS. Anais eletrônicos... Porto Alegre, RS. 2015.

AIRES, R. K. A ação da casca de arroz queimada sobre nematoide da cenoura e atributos químicos do solo. Tese (Doutorado em Ciências, área de concentração Fitotecnia). 2012, 80p. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014.

AMICK, J. A. Purification of rice hulls as a source of solar grade silicon for solar cells. Journal of The Electrochemical Society, Pennington, v. 129, n. 4, p. 864-66, Apr. 1982. Disponível em:<http://jes.ecsdl.org/content/129/4/864.abstract>. Acesso em: dez./20012.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Disponível em; <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>. Acesso em: out./2014.

ARAÚJO, L.M.; FRANÇA, A.B.; POTTER, P.E. Aquífero gigante do Mercosul no Brasil, Argentina, Paraguai e Uruguai: mapas hidrogeológicos das Formações Botucatu, Pirambóia, Rosário do Sul, Buena Vista, Misiones e Tacuarembó. Curitiba: UFPR/Petrobrás, 1995. 16p. (9 mapas).

ARMESTO, L.; BAHILL, A; VEIJONEN, K; CABANILLAS, A; OTERO, J.; Combustion Behavior of Rice Husk in a Bubbing Fluidised Bed. Biomass and Bioenergy. 23 (2002) 171-179.

ARSHAD, M. A.; MARTIN, S. 2002. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. Agriculture, Ecosystems and Environment 88: 153–160.

BERNI, R. F. Efeito da cinza da casca do arroz no controle da brusone nas folhas do arroz. Pesquisa Agropecuária Tropical. 31, n. 1, jan./jun. 2001.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos. 3. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRASIL. Decreto n° 4954, de 14/01/2004. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 15 jan. 2004. Seção 1, p. 2.

CAAL – Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda. Disponível em: <http://www.caal.com.br/site/noticias>. Acesso em: 2/jan./2015.

CHANDRASEKHAR, S., SATYANARAYANA, K. G., PRAMADA, P. N., RAGHAVAN, P. (2003). Processing, proprieties and applications of reactive

silica from rice husk – an overiew.Journal of Materials Science, 38(15), 3159-3168.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>. Acesso em: set./2016.

DELLA, V. P., KÜHNA, I.; HOTZA, D. Reciclagem de resíduos agro-industriais: cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. Cerâmica Industrial, 10 (2) Março/Abril, 2005. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v10n02/Publicado_v10n2a03.pdf.>. Acesso em: Dez./2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FAO, 1997. Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development. FAO Land and Water Bulletin No. 5. FAO, Rome, 212 pp.

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER DO RIO GRANDE DO SUL. Diretriz Técnica Nº 002/2011 – DIRTEC: gestão de resíduos caracterizados como casca de arroz e cinzas resultantes do processo de queima da casca. FEPAM. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/Diret_Tec_02_2011.pdf>. Acesso em: Out./2014.

HOFFMANN, R., JAHN, S. L., BAVARESCO, M., SARTORI, T. C. Aproveitamento da cinza produzida na combustão da casca de arroz: estado da arte. Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Tecnologia - Departamento de Engenharia Química - Santa Maria – RS. Disponível em: <http://www.ufsm.br/cenergia/arte_final.pdf >. Acesso em: 12/Dez./2011.

HUSTON, D. F.; Rice: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemists.St. Paul: MN, 1972, p. 301-52.

INMET. Normais climatológicas. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: set./2013.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ - IRGA. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/upload/20130807102620safra_2012_13_rs_municipal.pdf>. Acesso em: set./2016.

ISAIA, G. C. Efeito de misturas binárias e ternárias de pozolanas em concreto de elevado desempenho: um estudo de durabilidade com vistas à corrosão da armadura. Tese (Doutorado) escola Politécnica, USP, 1995.

ISLABÃO, G. O. Uso da cinza de casca de arroz como corretivo e condicionador do solo. 2013. 80p. Tese - Programa de Pós-Graduação em

Agronomia, Área de Concentração: Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - Brasil.

ISLABÃO, G. O. et al. Rice Husk Ash as Corrective of Soil Acidity. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38:934-941, 2014.

ISLABÃO, G. O. et al. Hydro-Physical Properties of a Typic Hapludult under the Effect of Rice Husk Ash. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2016; v40:e0150161.

JORGE, R. R.; SILVA, M. F. M. M DA.; VAHL, L. C.; TIMM, L. C.; MACHADO, R. F.; NEUMANN, S. A.; Efeitos da adubação com cinza na fertilidade de um Neossolo Litólito eutrófico. In: X REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, 16 e 17 de outubro de 2014, Pelotas. Anais eletrônicos (card drive)... Pelotas, RS. 2014.

KARLEN, D.L., STOTT, D.E., 1994. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.), Defining Soil Quality for A Sustainable Environment, Madison, WI. Soil Sci. Soc. Am. 35, 53–72 (special publication).

KATH, A. H.; MARQUES, G. C.; VAHL, L. C.; Cinza de casca de arroz, lodo de estação de tratamento de esgoto e esterco bovino como fontes de nutrientes para a cultura do trigo. In: IX REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 08 a 09 de novembro de 2012, Lages. Anais eletrônicos (CD)... Lages, SC, 2012.

KIELING, A. G. Influência da segregação no desempenho de cinzas de casca de arroz como pozolana e material adsorvente. Dissertação (Mestrado). Universidade do Vale do Rio dos Sinos Ciências Exatas e Tecnológicas – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. São Leopoldo: 2009.

NASIRI, M.; LOTFALIAN, M.; MODARRES, A.; WU, W. Use of rice husk ash as a stabilizer to reduce soil loss and runoff rates on sub-base materials of forest roads from rainfall simulation tests. Catena 150: 116–123. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.010.

MUSSATTO, S. I.; ROBERTO, I. C.; Produção biotecnológica de xilitol a partir da palha de arroz. Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento, nº 28/Set.Out./ 2002.

PAULETTO, E. A.; NACHTIGALL, G. R.; GUADAGNIN, C. A. Adição de cinza de casca de arroz em dois solos do município de Pelotas, RS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 14:255-258, 1990.

PRUDÊNCIO Jr. L. R; SANTOS, S; DAFICO, D. de A. A cinza da casca de arroz. Coletânea Habitare - vol. 4, 2003. Utilização de Resíduos na construção Habitacional. Cap. 8. P. 240-261. Disponível em: <http://www.habitare.org.br/publicacao_coletanea4.aspx>. Acesso em 12/12/2011.

QUIRINO, W.F.; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.S.; AZEVEDO, A.C.S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. Revista da Madeira, n.89, 2005, p. 100-106. Disponível em: <www.funtecg.org.br/arquivos/podercalorifico.pdf>. Acesso em: set./2016.

REGO, J. H. S. I. Viabilidade técnica da utilização da cinza da Casca de arroz produzida sem controle da temperatura como adição mineral ao cimento. Dissertação (Mestrado) UFG, 2001.

REIS, L. E; XAVIER, F. M; ISLABÃO, G. O; VAHL, L. C; TIMM, L. C. Cinza de casca de arroz como corretivo de acidez do solo. In: 21^0 CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA UFPEL, Pelotas, 2011. Anais eletrônicos... Pelotas: CIC, 2011. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/cic/2011/anais/pdf/CA/CA_00564.pdf> Acesso em: 10 de out. 2014

SANCHES, F.O; VERDUM, R.; FISCH, G. Preenchimento de falhas em série de dados pluviométricos de Alegrete (RS) e análise de tendência. XXXI Encontro Estadual de Geografia, Anais... Rio Grande-RS, 2012.

SANTOS, H. G. dos [et al]. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 3 ed. rer. ampl..- Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353 p.a.

SANTOS, R. D. DOS et al. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 53 ed. revista e ampliada Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2005. 100p.

SAVANT, A. S.; PATIL, V. H.; SAVANT, N. K. Rice hull ash applied to seedbed reduces dead hearts in transplanted rice. International Rice Research Notes, Los Baños, v.19, n.4, p.21-22, 1994.

SILVA, F. F.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; MUNIZ, A. S.; R. C. FERREIRA. 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, Vol. 1, No. 1. 2008.

SILVA, M. F. M .M da. VAHL, L.C.; TIMM, L.C.; JORGE, R.R.; MACHADO, R. F. Impacto da adição da cinza da casca de arroz na água percolada de solo sob cultivo de arroz, soja e milho. In: XX CONGRESO LATINOAMERICANO Y XVI CONGRESO PERUANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 09-15 de novembro de 2014, Cusco. Anais eletrônicos... Cusco, Peru. 2014.

SILVA, M. F. M. M da. CASTILHOS, D. D.; VEÇOSI, T. A.; TIMM, L. C.; JORGE, R. R.; VAHL, L. C. Parâmetros biológicos de um Neossolo Regolítico submetido à incorporação de diferentes dosagens de cinza de casca de arroz. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 11-14 de agosto de 2015, Porto Alegre. Anais eletrônicos... Porto Alegre, RS. 2015.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. Ciência Florestal. Volume 12, nº 1, p. 71-80, 2002.

ZEMNUKHOVA, L. A.; FEDORISHCHEVA, G. A.; EGOROV, A. G.; SERGIENKO, V. I. Recorery conditions, impuruty composition, and characteristics of amorphous silicon dioxide from wastes formed in rice production. Russian Journal of Applied Chemistry, 78(2):319-323, 2005.

WALKLEY, A.; BLACK, J. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37: 29-38, 1934.

WIKIPEDIA. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Alegrete_(Rio_Grande_do_Sul)>. Acesso em set./2013.

5. ARTIGO 1 – ANÁLISE TEMPORAL DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM NEOSSOLO SUBMETIDO À INCORPORAÇÃO CUMULATIVA DE CINZA DA CASCA DE ARROZ

5.1. RESUMO

Face aos elevados custos com energia elétrica, as agroindústrias têm usado a casca para gerar energia. No entanto, o processo produz grande volume de cinza. Alguns trabalhos científicos têm sido publicados mostrando que a cinza pode melhorar a estrutura do solo e suas propriedades físicas, é corretiva da acidez do solo, melhora a fertilidade e a produtividade, é benéfica para a microbiota do solo e não apresenta riscos de contaminação de corpos hídricos por percolação. Portanto, existe a necessidade de que se avalie o potencial de utilização da cinza da casca de arroz (CCA) na agricultura bem como seus possíveis impactos sobre os recursos naturais. O experimento foi realizado no município de Alegrete (RS), em NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com cinco doses (T= tratamentos) de CCA/parcela: T0: testemunha (0,0 kg/parcela); T1: 4.000 kg/ha (9,6 kg/parcela); T2: 8.000 kg/ha (19,2 kg/parcela); T3: 16.000 kg/ha (38,4 kg/parcela) e T4: 32.000 kg/ha (76,8 kg/parcela). Cada tratamento teve quatro repetições, totalizando 20 parcelas, sendo adotada a área em pousio em torno do experimento como testemunha absoluta, livre de perturbações. Os resultados indicaram efeitos positivos da CCA na densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade tanto na camada superior quanto na inferior, principalmente após o segundo ano de incorporação.

5.2. INTRODUÇÃO

Face aos elevados custos com energia elétrica e a necessidade de dar um destino adequado às cascas resultantes do processo de beneficiamento do arroz, a Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda. optou por montar uma usina

com uma capacidade nominal instalada de 3,8 Megawatts para usar as cascas como biomassa na geração de energia. Com isso, precisou contemplar no seu plano de gestão, um uso adequado para o grande volume de cinzas produzidas, a qual representa cerca de 4% do volume de grãos beneficiados (DELLA; KÜHNA; HOTZA, 2005). De acordo com informações fornecidas pela própria cooperativa, a produção anual de cinzas é de aproximadamente 5,5 mil Mg (CAAL, 2015).

A disponibilização da CCA no ambiente foi regulamentada em 2011 pela Diretriz Técnica da FEPAM Nº 002/2011 (FUNDAÇÃO..., 2011) e seu retorno da CCA aos sistemas produtivos seria a forma mais sustentável de fechamento da cadeia produtiva, a qual poderia reintegrar os seus resíduos.

Somam-se a esses argumentos trabalhos que tem mostrado que a cinza pode melhorar a estrutura do solo e suas propriedades físicas (ISLABÃO et al., 2016; ISLABÃO, 2013; REIS et al., 2011; MASULILI et al., 2010; KARMAKAR et al., 2009; RAMESH et al., 2008; SALÉ et al.,1997).

Alguns trabalhos mostram a CCA como corretiva da acidez do solo (ISLABÃO, 2013; REIS, et al., 2011; PAULETTO, NACHTIGALL e GUADAGNIN, 1990) e também com efeitos sobre a disponibilidade de nutrientes no solo (AIRES, 2014; JORGE., 2014; KATH, MARQUES, VAHL, 2012; KATH et al., 2012) e proporcionando incremento de produtividade (ADOLPHO et al., 2015; SILVA et al., 2008).

Além disso, a CCA auxilia no controle de doenças foliares e ataque de insetos (BERNI, 2001; SAVANT et al., 1994) e pode ser considerada benéfica para a microbiota do solo (SILVA et al., 2015), não apresentando riscos de contaminação de corpos hídricos pela percolação da água do solo que recebeu esse resíduo (SILVA et al., 2014).

A CCA vem sendo utilizada como condicionadora dos solos sem conhecimento técnico-científico na região onde se desenvolve a pesquisa e agricultores ressaltam os efeitos benéficos para as culturas e o solo. Portanto, supondo-se que esse resíduo possa ser utilizado em propriedades agrícolas, cria-se uma logística reversa entre o elo da agroindústria e os sistemas produtivos da cadeia orizícola da cidade em que os produtores entregam o

arroz com casca, pois podem receber de volta a cinza para ser utilizada como adubo natural e corretivo de solos.

No entanto, existem limitações quando ao tempo de duração das pesquisas e quanto aos efeitos cumulativos da cinza. Portanto, há necessidade de que se avalie o potencial de utilização da CCA e seus possíveis impactos sobre os recursos naturais e sobre a principal cultura da região, o arroz, ao longo do tempo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar temporalmente os diferentes parâmetros físicos do solo submetido a aplicações anuais cumulativas de CCA.

5.3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Alegrete, estado do Rio Grande do Sul, em uma área pertencente ao Centro Tecnológico Experimental da CAAL localizada nas coordenadas geográficas 29º48’30,12”S - 55º50’59,93”W, altitude de 126 m em relação ao nível médio do mar.

A área possui vegetação nativa espontânea com histórico de aproximadamente 15 anos de cultivos experimentais com arroz, milho, milheto e pastagem de azevém. Há aproximadamente cinco anos a área encontrava-se em pousio, mas com pastejo de um pequeno rebanho de gado de leite.

O solo foi classificado, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (STRECK et al., 2002; SANTOS et al., 2013), como NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico.

Tabela 1 – Granulometria dos horizontes do NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico do Centro Tecnológico Experimental da CAAL e classificação textural

Horizonte	Areia	Silte	Argila	Silte/ Argila	Classe textural
m	---------- % ----------				
A (0,00 – 0,25)	47	27	26	1,1	Franco-argilo-arenoso
AC (0,25 – 0,50)	44	18	38	0,5	Argiloso
C (0,50 – 0,80)	41	18	41	0,5	Argiloso
CR(0,80 - 1,0 +)	-	-	-	-	-

As propriedades químicas do solo para cada horizonte (Tabela 2) foram determinadas segundo EMBRAPA (2011), sendo os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} determinados por espectrometria de absorção atômica após extração com KCl 1,0 mol L^{-1}. Os teores de Na^{+} e K^{+} trocáveis foram extraídos com solução de

HCl 0,05 mol L^{-1}+ H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} e determinados por fotometria de chama.

O Al^{3+} trocável foi extraído com KCl 1,0 mol L^{-1} e titulado com NaOH 0,0125 mol L^{-1}. Os teores de S foram determinados por espectrofotometria após extração com $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$.

Tabela 2 – Atributos químicos do solo em cada horizonte do perfil do NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico localizado no Centro Técnico Experimental da CAAL

Horizonte	$pH_{água}$	Ca^{++}	Mg^{++}	K^{+}	Na^{+}	Al^{+++}	H+Al	V	m	C	S
		.....		$cmol_c\ kg^{-1}$		.....		..... %			$mg\ kg^{-1}$
A	5,5	7,90	3,41	0,14	0,10	0,29	2,41	82,71	2,06	2,21	2,94
AC	5,0	3,72	2,31	0,05	0,11	3,48	3,54	63,61	35,70	0,91	3,38
C	5,1	5,16	3,12	0,06	0,17	2,71	3,31	72,01	22,92	1,05	0,00

O teor de carbono orgânico do solo foi determinado pela oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico - método de combustão de WALKLEY e BLACK (1934). A porcentagem de matéria orgânica (MOS) foi calculada multiplicando-se o teor de carbono orgânico por 1,724. Este fator é utilizado em virtude de se admitir que, na composição média da MOS, o carbono participa com 58% (EMBRAPA, 2011).

Antes da implantação do experimento (12 e 13/7/2012), foram realizadas avaliações dos parâmetros físicos do solo da área em pousio. Para a determinação da distribuição do tamanho das partículas (granulometria), foram coletadas, de forma aleatória, quatro amostras deformadas nas camadas de 0,00 - 0,10 m e 0,10 – 0,20 m e as análises seguiram o método da pipeta descrito por Gee & Bauder (1986). Ao longo do experimento, também foram coletadas amostras deformadas de cada uma das 20 parcelas para a determinação da granulometria, seguindo as mesmas camadas e metodologia.[1]

Inicialmente, para a determinação da densidade de solo (Ds), porosidade total (Pt), macro (Mp) e microporosidade (mp) da área em pousio (04/9/2012), foram coletadas, de forma aleatória, 9 amostras com estrutura preservada na camada de 0,00 – 0,10 m e 9 amostras na camada de 0,10 – 0,20 m, seguindo o Método Hidráulico de Amostragem Indeformada do Solo

[1] A primeira aplicação de CCA nos tratamentos ocorreu em 15/9/2012 e as coletas em 24/11/2012 (69 dias após a incorporação). A segunda aplicação de CCA foi em 20/9/2013 e as coletas em 31/10/2013 (41 dias após a incorporação).

(MHAIS) sugerido por Pedrotti et al. (2001). Para tal, foram utilizados anéis metálicos de 0,05 m (altura) x 0,047 m (diâmetro), nas camadas de 0,025 - 0,075 m e 0,125 - 0,175 m para representar as camadas de 0,00 - 0,10 m e 0,10 - 0,20 m, respectivamente.

Os parâmetros densidade do solo (Ds), densidade de partículas (Dp), porosidade total (Pt), macroporosidade (Mp) e microporosidade (mp) também foram avaliados ao longo do tempo, utilizando-se três amostragens de cada uma das 20 parcelas do experimento, nas mesmas condições de extração e metodologia de análise usadas para as amostras do pousio.

Após a toalete das amostras de solo nos cilindros, as mesmas foram saturadas por capilaridade durante 48 h e depois colocadas em mesa de tensão para determinação da macroporosidade, adotada como o conteúdo de água retido na tensão de 6 kPa.

A porosidade total foi calculada por meio da equação: Pt(%) = [1-(Ds/Dp)*100]. Por outro lado, a microporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a macroporosidade obtida na mesa de tensão.

A densidade do solo foi determinada pela relação entre a massa de solo seco e o volume do anel.

Para a avaliação dos agregados estáveis em água, foram coletados com uma pá de corte, três blocos de solo (monólitos) na camada de 0,00 - 0,10 m e três blocos na camada de 0,10 - 0,20 m, com dimensões de 0,10 m x 0,10 m x 0,10 m na área em pousio. Ao longo do tempo do experimento, foram coletados três blocos nessas mesmas medidas, em cada uma das profundidades, em cada uma das 20 parcelas do experimento.

Depois de secas, as amostras de solo foram passadas em peneira de malha 9,52 mm. A determinação da distribuição de agregados estáveis em água em diferentes classes de tamanho, foi realizada com base no peneiramento úmido (Palmeira et al., 1999), seguindo metodologia descrita por Kemper & Rosenau (1986), que utiliza o aparelho de oscilação vertical de Yoder (1936).

A partir da separação das diferentes classes de agregados, foram determinadas as porcentagens de macro (Ma) e microagregados (Mi). Este estudo considerou o material que permaneceu nas peneiras com malha > 0,25

mm, como macroagregados, ou seja, os macroagregados superior a 0,25 mm e os Mi como inferiores a 0,25 mm (TISDALL; OADES, 1982).

Também foi calculado o diâmetro médio ponderado (DMP) (KEMPER; ROSENAU, 1986), índice que expressa a estabilidade dos agregados no solo e a relação entre essas duas classes (Macro/Micro).

As datas das coletas encontram-se nos gráficos no item resultados e discussão.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com cinco doses de CCA [T0: 0 (testemunha); T1: 4 Mg ha^{-1} (=9,6 kg/parcela); T2: 8 Mg ha^{-1} (=19,2 kg/parcela); T3: 16 Mg ha^{-1} (=38,4 kg/parcela) e T4: 32 Mg ha^{-1} (=76,8 kg/parcela)] e 4 repetições.

A CCA foi espalhada com o auxílio de rastilhos e, posteriormente, utilizou-se uma grade para incorporá-la na camada de aproximadamente 0,00 – 0,20 m.

Foi considerada a área em pousio em torno do experimento como testemunha absoluta, livre de perturbações. Essa escolha foi sustentada pelas considerações de Rabot et al. (2018), onde os autores afirmam que devem ser usadas amostras de solo não perturbadas como um indicador eficiente das funções do solo.

Amostras das cinzas utilizadas a cada ano foram enviadas para análise e caracterização. Os relatórios de ensaio (RE) 26305/15.11, 26306/15.11 e 66833-001-135447/12.15, fornecidos pela ECONSULTING (Laboratório de Gestão Ambiental e Higiene Ocupacional), indicam que a cinza utilizada no presente trabalho não apresenta inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxidade ou patogenicidade de acordo com os termos referidos na norma, sendo classificada de acordo com os parâmetros analisados e com a NBR 10004 como resíduo não inerte – Classe IIA (ABNT, 2004).

Ainda segundo os relatórios, os níveis de boro, cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio, níquel, arsênio, bário, prata, selênio, fenol e cianeto ficaram abaixo dos limites mínimos de detecção das metodologias e equipamentos utilizados para as análises.

Todos os conjuntos de dados obtidos das análises de laboratórios, foram submetidos à análise de regressão e de variância (ANOVA) e, quando houve

significância estatística, foram realizados testes de média (Tukey a 5%), utilizando o programa estatístico Assistat. Os melhores ajustes para a regressão foram obtidos com linhas polinomiais e, para o ajuste do coeficiente de determinação (R^2), foi adotado o valor mínimo de 0,50 como sendo adequado (BARBETTA, 2012; GREEN; VAN GRIENSVE, 2008; MORIASI et al., 2007). Todos os cálculos realizados, como a obtenção das curvas e suas respectivas equações de ajuste, foram realizados por meio de planilhas eletrônicas.

A Tabela 3 apresenta as características e a composição das cinzas utilizadas nos três anos de cultivo na área experimental.

Tabela 3 - Composição química da cinza de casca de arroz utilizada em cada ano

Parâmetros	Unidades	CCA CAAL (RE1)*	CCA CAAL (RE2)*	CCA CAAL (RE3)*	CCA CAAL (RE4)*
pH	-	8,89	6,89	9,40	9,4
PN	%	-	< 1,0	-	1,0
Cinzas	%	89,6	89,6	87,3	-
COT	%	5,7	5,6	6,4	5,3
Umidade	%	0,5	0,5	1,7	-
Densidade	g cm^{-3}	-	0,23	-	-
CTC	mmol kg^{-1}	-	-		182
DBO	mg L^{-1}	-	-	-	1,08
DQO	mg L^{-1}	-	-	-	26,98
Si	g kg^{-1}	-	682	-	-
N	g kg^{-1}	-	0,51	-	-
P	g kg^{-1}	-	0,33	-	-
S	g kg^{-1}	-	0,10	-	-
K	g kg^{-1}	-	4,49	-	-
Ca	g kg^{-1}	-	1,50	-	-
Mg	g kg^{-1}	-	0,37	-	-
Cu	g kg^{-1}	-	1,52	-	-
Mn	g kg^{-1}	-	0,29	-	-
Na	g kg^{-1}	-	0,12	-	-
Zn	g kg^{-1}	-	0,01	-	-

Fontes: *As CCA utilizadas no presente estudo foram submetida à análise no Laboratório ECONSULTING que forneceu os laudos ou Relatórios de Ensaio (RE): RE1 (26305/15.11), RE2 (26306/15.11), RE3 (66833-001-135447/12.15) e RE4 (66833-002-135448/19.15).

5.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No primeiro ano de incorporação da CCA, ao se comparar os valores médios da Ds na camada de 0,00 a 0,10 m, observa-se que os valores são todos inferiores ao da área em pousio, mesmo no tratamento sem CCA (Fig. 3).

Os valores inferiores encontrados nas amostras coletadas nas parcelas testemunha na área experimental, também podem ser justificados, pelo menos em parte, pela presença do sistema radicular das plantas da cultura do arroz e os espaços deixados pela sua decomposição no momento da coleta das amostras. Além disso, também pode ser decorrência do revolvimento do solo e da incorporação da cobertura vegetal do pousio no primeiro ano e da resteva no segundo ano.

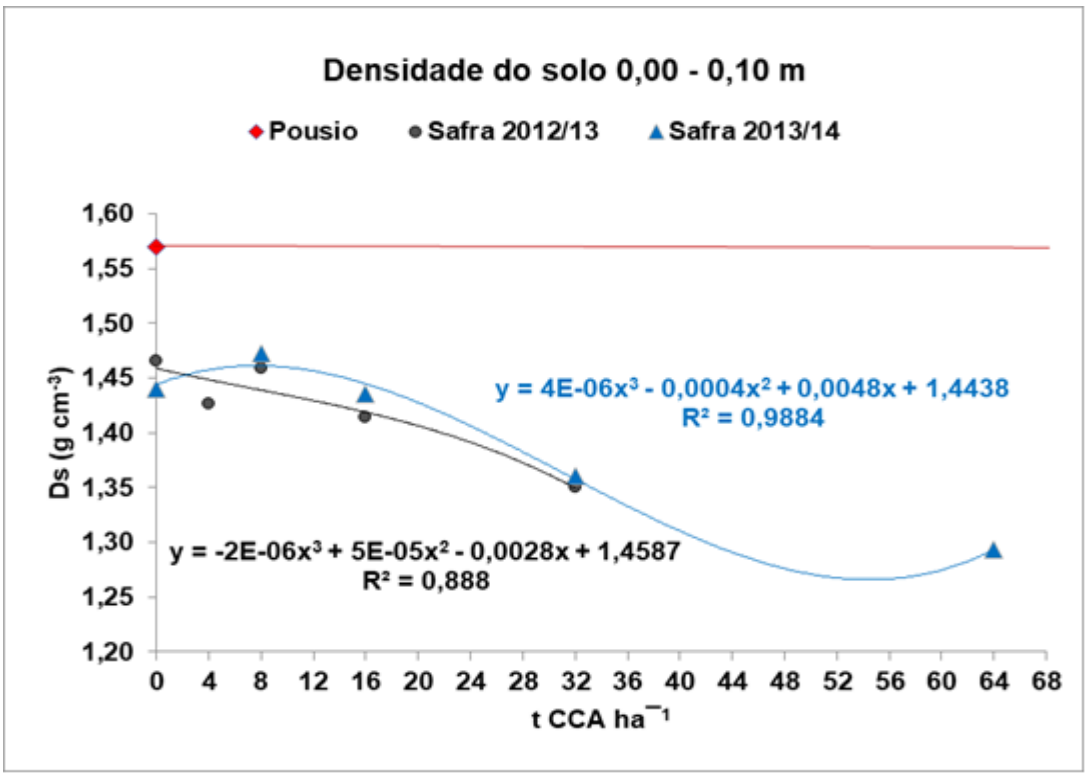

Figura 3 – Densidade do solo na profundidade de 0,0 – 0,10 m na área em pousio e área experimental com diferentes doses de CCA. Safras 2012/2013 e 2013/2014. A primeira aplicação de CCA no solo ocorreu em 15/9/2012 e as coletas em 24/11/2012 (69 dias após a incorporação). A segunda aplicação de CCA foi em 20/9/2013 e as coletas em 31/10/2013 (41 dias após a incorporação).

A cinza incorporada no solo reduziu a densidade conforme pode ser observado na figura 3. A redução da Ds nos tratamentos pode ser justificada

em 89% pela adição da cinza no primeiro ano de incorporação e 99% no segundo ano, já com as doses dobradas (8, 16, 32 e 64 t ha^{-1}).

Ao se observar a faixa de solo de 0,10 a 0,20 m dos tratamentos da área experimental, constata-se valores de Ds menores que o valor do pousio, e que as variações encontradas nos tratamentos receberam pouca influência da cinza nos seus valores médios de Ds (Fig. 4).

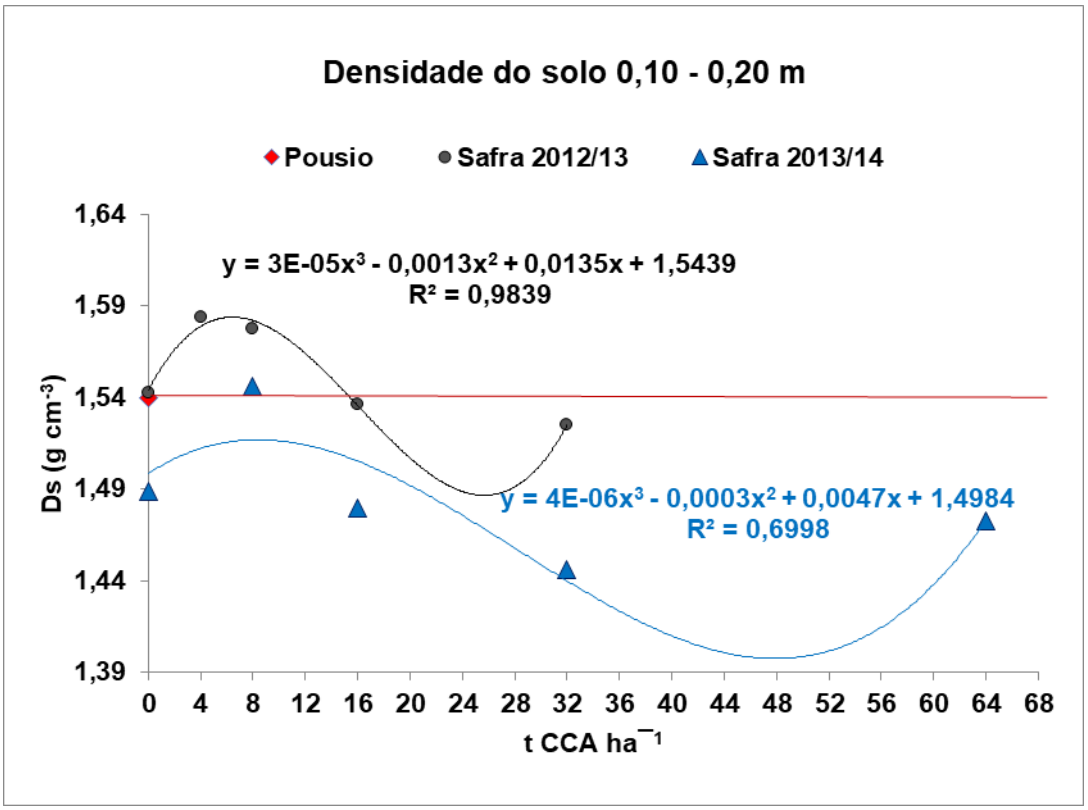

Figura 4 – Densidade de solo na profundidade de 0,10 – 0,20 m na área em pousio e área experimental com diferentes doses de CCA. Safras 2012/2013 e 2013/2014. A primeira aplicação de CCA no solo ocorreu em 15/9/2012 e as coletas em 24/11/2012 (69 dias após a incorporação). A segunda aplicação de CCA foi em 20/9/2013 e as coletas em 31/10/2013 (41 dias após a incorporação).

Os resultados de Ds encontrados na área experimental, indicam que os efeitos da CCA na densidade do solo, tanto na camada superior quanto inferior (a partir do segundo ano), são mais perceptíveis após o segundo ano de incorporação. Provavelmente esses resultados sofreram a influência do preparo do solo com grade e do próprio desenvolvimento radicular da cultura que contribuiu para uma melhor homogeneização da cinza no perfil agrícola.

Resultados semelhantes foram encontrados por Paul et al. (2011) ao avaliarem o efeito de diferentes doses (40, 80 e 120 t ha^{-1}) de CCA sobre os atributos físicos de um ARGISSOLO com cultura de feijão no município de

Capão do Leão, RS. Após dez meses da incorporação da cinza na profundidade de 0,00 a 0,10 m, os autores verificaram que o aumento da dose de cinza ocasionou uma tendência de diminuição do valor de Ds e uma maior aeração e infiltração de água no solo. Os autores ressaltam, entretanto, que tais resultados não foram estatisticamente significativos.

Islabão et al. (2016), utilizando 40 a 80 t CCA ha^{-1}, em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, observaram uma redução da Ds e um incremento da porosidade total e da macroporosidade na camada de 0,00 a 0,10 m, após 9 meses da aplicação da CCA.

Constatações semelhantes foram encontradas neste experimento. Entretanto, no que se refere à porosidade total (Fig. 5 e 6) e macroporosidade (Fig. 7 e 8), os efeitos da CCA proporcionaram incrementos em ambas as camadas.

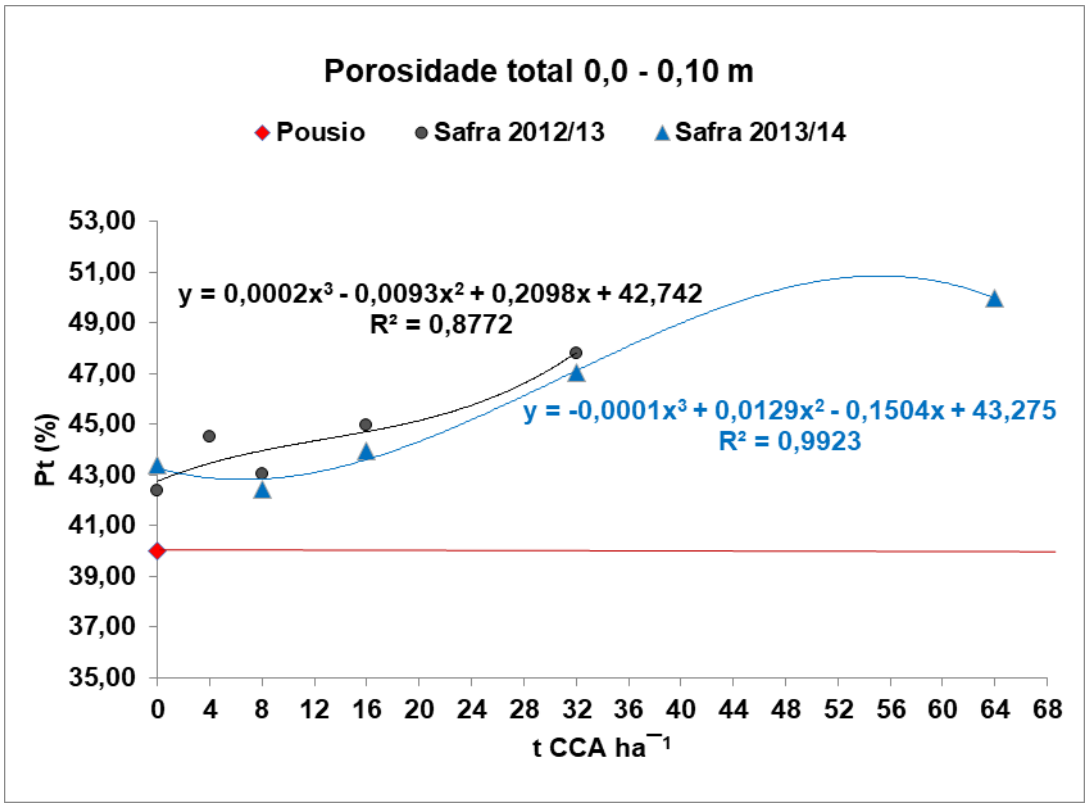

Figura 5 – Porosidade total na profundidade de 0,0 – 0,10 m na área em pousio e área experimental com diferentes doses de CCA. Safras 2012/2013 e 2013/2014. A primeira aplicação de CCA no solo ocorreu em 15/9/2012 e as coletas em 24/11/2012 (69 dias após a incorporação). A segunda aplicação de CCA foi em 20/9/2013 e as coletas em 31/10/2013 (41 dias após a incorporação).

A porosidade total da área experimental foi superior a área de pousio na camada de 0,00 – 0,10 m em ambos os anos. O efeito da CCA sobre a Pt dos tratamentos foi mais expressivo na camada de 0,00 a 0,10 m e no segundo ano de incorporação, pois 99% do aumento da porosidade total pode ser justificado pelo aumento das doses de cinza (Fig. 5).

Durante o primeiro ano do experimento, os incrementos da Pt em ambas as camadas podem ser justificados em 88% (Fig. 5) e 81% (Fig. 6) pela incorporação da CCA no solo. Como os valores da Pt do tratamento testemunha, na camada de 0,00 a 0,10 m também são maiores que os do pousio, conclui-se que o preparo do solo também influenciou na Pt da área experimental (Fig. 5).

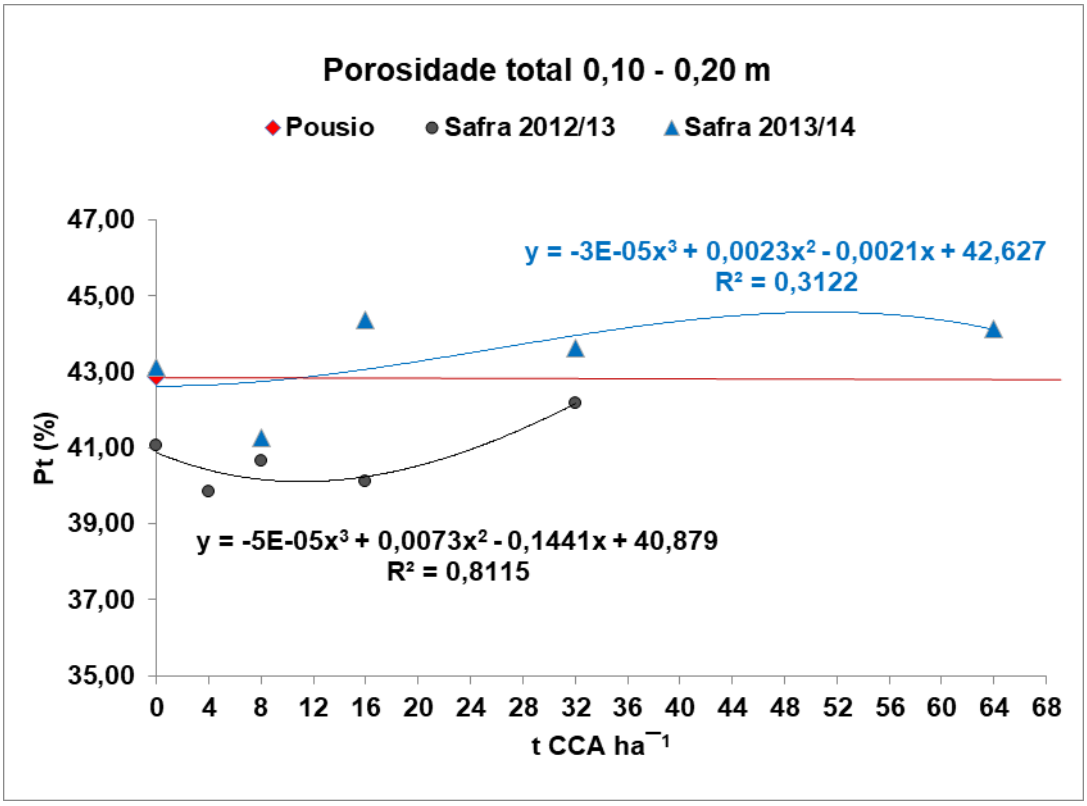

Figura 6 – Porosidade total na profundidade de 0,10 – 0,20 m na área em pousio e área experimental com diferentes doses de CCA. Safras 2012/2013 e 2013/2014. A primeira aplicação de CCA no solo ocorreu em 15/9/2012 e as coletas em 24/11/2012 (69 dias após a incorporação). A segunda aplicação de CCA foi em 20/9/2013 e as coletas em 31/10/2013 (41 dias após a incorporação).

No segundo ano, com as doses já dobradas, os valores médios de Pt dos tratamentos foram todos maiores do que os encontrados no primeiro ano e mesmo dos valores do pousio. Percebe-se pelo gráfico que apesar da Pt ser inferior ao pousio na camada de 0,10 – 0,20 m, há uma tendência de aumento

à medida que aumentam as doses de CCA (Fig. 6). Isso sugere, que os efeitos da CCA sobre a porosidade total do solo em camadas mais profundas, possa ocorrer a partir de doses maiores de cinza e também ao longo do tempo.

A influência positiva da CCA sobre o parâmetro macroporosidade, ficou evidente durante o primeiro ano do experimento, em ambas as camadas. Os incrementos dos valores médios podem ser justificados em 96% (Fig. 7) e 97% (Fig. 8) nas camadas de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m, respectivamente.

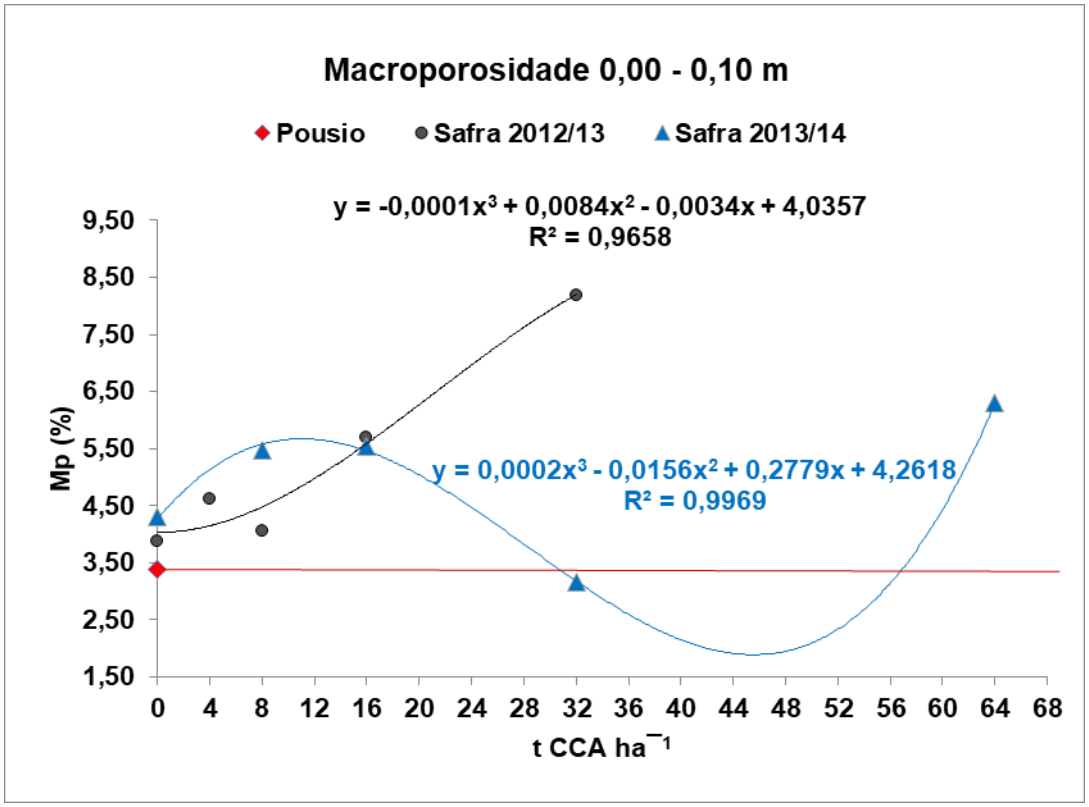

Figura 7 – Macroporosidade na profundidade de 0,00 – 0,10 m na área em pousio e área experimental com diferentes doses de CCA. Safras 2012/2013 e 2013/2014. A primeira aplicação de CCA no solo ocorreu em 15/9/2012 e as coletas em 24/11/2012 (69 dias após a incorporação). A segunda aplicação de CCA foi em 20/9/2013 e as coletas em 31/10/2013 (41 dias após a incorporação).

Na camada de 0,00 – 0,10 m, todos os valores de macroporosidade do solo apresentaram-se superiores ao da testemunha, com exceção do tratamento com 32 t de CCA (Fig. 7). O tratamento com 32 t de CCA incorporada apresentou o maior valor médio de macroporosidade na camada superior (Fig. 7). Na camada de 0,10 a 0,20 m, os maiores valores de Mp média encontrados foram nos tratamentos com 8 e 16 t CCA ha^{-1} no segundo ano de incorporação da CCA (Fig. 8).

Como os valores médios da Mp da testemunha, em ambos os anos, também foram superiores aos do pousio, isso sugere que o preparo do solo teve um efeito positivo sobre esse parâmetro na camada de 0,00 a 0,10 m (Fig. 7). Esse fato não foi observado na camada inferior considerada, pois os valores médios de Mp da testemunha da área experimental foram inferiores aos do pousio (Fig. 8).

No segundo ano da incorporação da CCA, na camada de 0,10 – 0,20 m, observou-se uma elevada dispersão entre os valores médios da Mp dos tratamentos (Fig. 8).

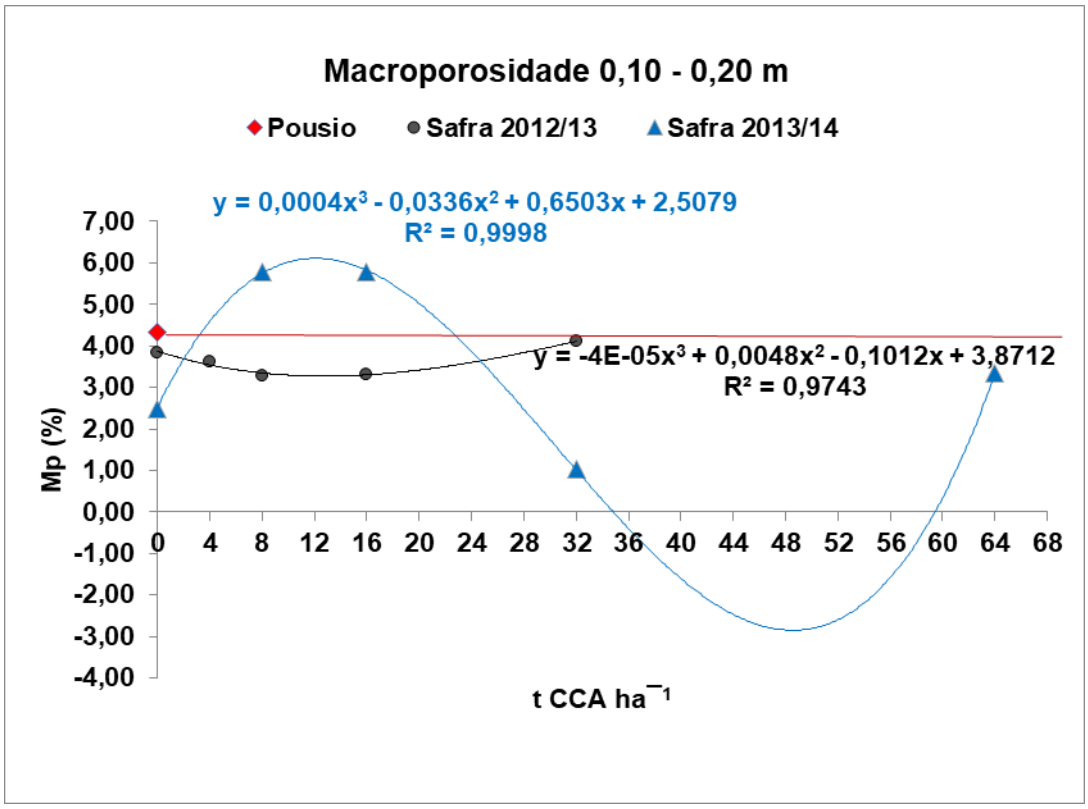

Figura 8 – Macroporosidade na profundidade de 0,10 – 0,20 m na área em pousio e área experimental com diferentes doses de CCA. Safras 2012/2013 e 2013/2014. A primeira aplicação de CCA no solo ocorreu em 15/9/2012 e as coletas em 24/11/2012 (69 dias após a incorporação). A segunda aplicação de CCA foi em 20/9/2013 e as coletas em 31/10/2013 (41 dias após a incorporação).

Na camada de 0,00 – 0,10 m, os valores de microporosidade da área experimental foram superiores aos do pousio em ambos os anos do experimento, sendo a maior influência da variação ocorrida no segundo, ano em que os valores médios da microporosidade dos tratamentos podem ser justificados em 99% pelas diferentes doses de CCA (Fig. 9).

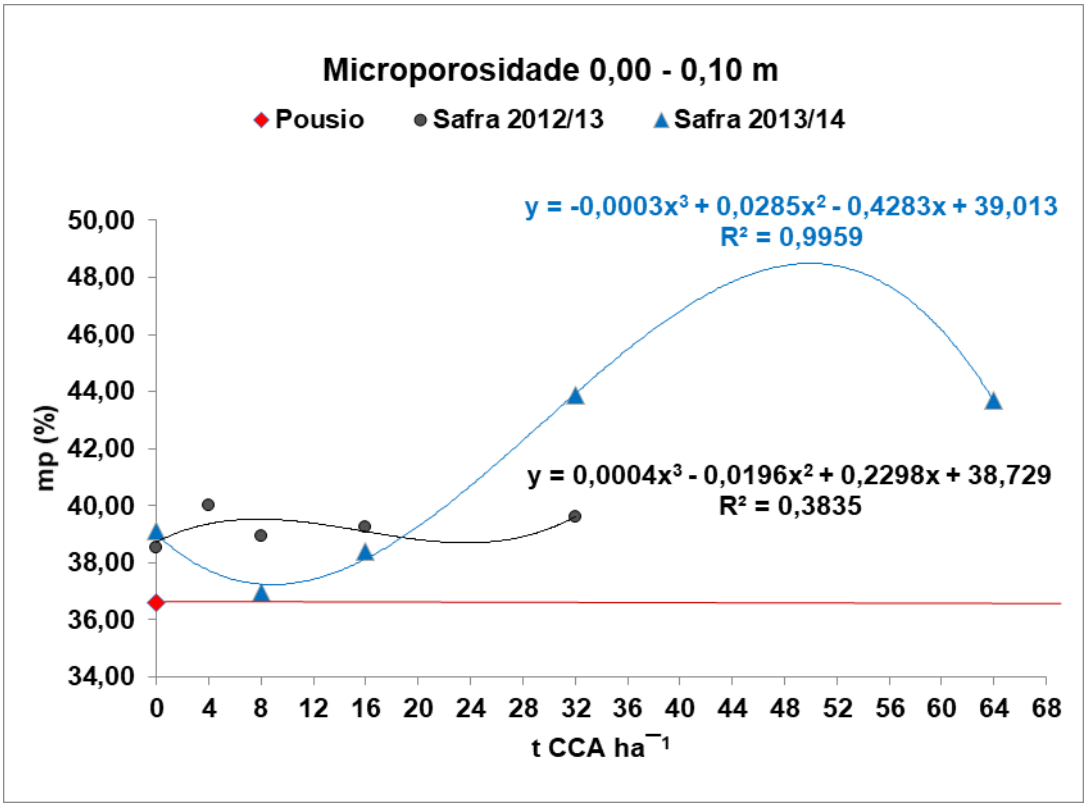

Figura 9 – Microporosidade na profundidade de 0,00 – 0,10 m na área em pousio e área experimental com diferentes doses de CCA. Safras 2012/2013 e 2013/2014. A primeira aplicação de CCA no solo ocorreu em 15/9/2012 e as coletas em 24/11/2012 (69 dias após a incorporação). A segunda aplicação de CCA foi em 20/9/2013 e as coletas em 31/10/2013 (41 dias após a incorporação).

No primeiro ano, na camada de 0,10 a 0,20 m, os valores da microporosidade foram todos superiores ao do pousio. No segundo ano do experimento, a variação nos valores médios da microporosidade podem ser justificados em 99,9% pelas diferentes doses de CCA no solo (Fig. 10).

Islabão et al. (2016), utilizando 40 a 80 t CCA ha^{-1}, em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO, não observaram interferência da incorporação de CCA na microporosidade do solo, nas mesmas camadas consideradas.

Segundo Rabot et al. (2018) a densidade do solo não é considerada um bom indicador das funções do solo, porque não leva em conta outros importantes atributos estruturais do solo, como porosidade, macroporosidade, distância e conectividade dos poros.

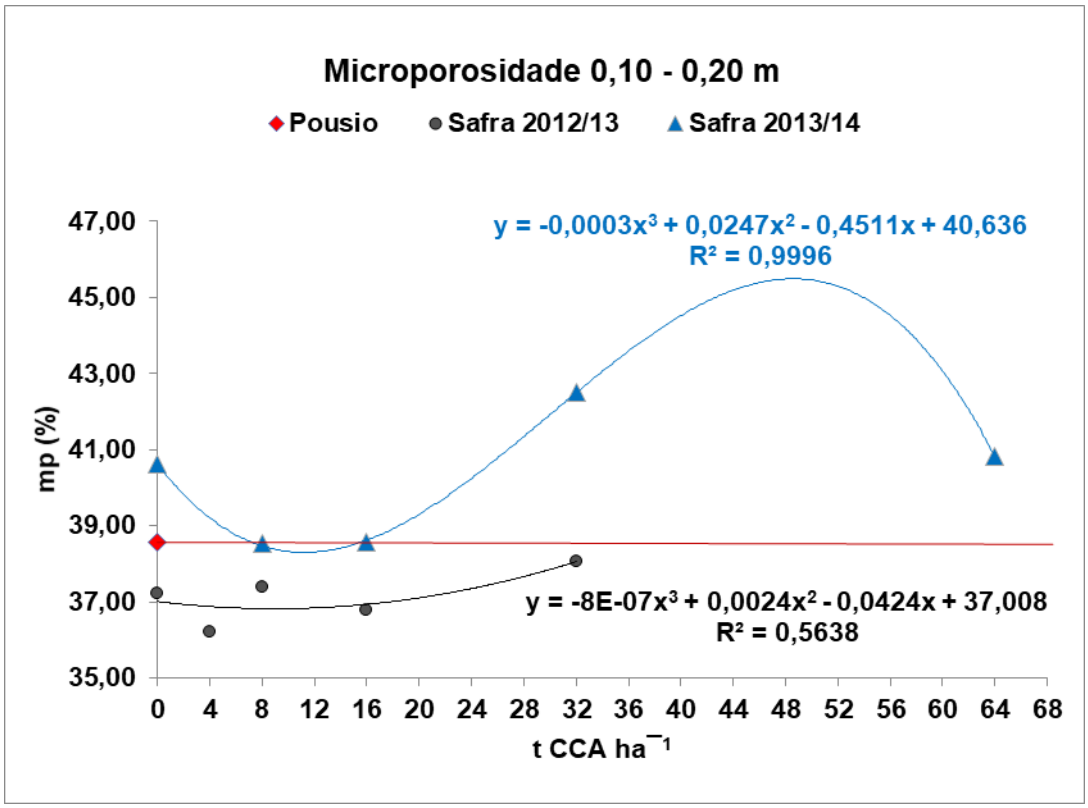

Figura 10 – Microporosidade na profundidade de 0,10 – 0,20 m na área em pousio e área experimental com diferentes doses de CCA. Safras 2012/2013 e 2013/2014. A primeira aplicação de CCA no solo ocorreu em 15/9/2012 e as coletas em 24/11/2012 (69 dias após a incorporação). A segunda aplicação de CCA foi em 20/9/2013 e as coletas em 31/10/2013 (41 dias após a incorporação).

Portanto, considerando os estudos de Carlesso et al. (2007) e Carlesso et al. (2009), que apontam a maior incidência de compactação em solos com menos de 10% de macroporosidade e teores de argila inferiores a 30%, este estudo relacionou os valores médios de porosidade com os valores médios de Ds e teores de argila encontrados, na tentativa de verificar possíveis interferências da CCA na relação entre esses parâmetros (Tab. 4).

Segundo Brady e Weil (2013), um solo mineral típico de textura média apresenta uma Ds em torno de 1,25 g cm^{-3}. Os valores de Ds dos tratamentos e da própria área em pousio, apresentam valores superiores a esse, indicando a possibilidade de compactação do solo da área experimental (Tab. 4). No entanto, Klein (2012) considera que os solos agrícolas possuem um intervalo de Ds entre 0,8 g cm^{-3} e 1,8 g cm^{-3}, alertando que solos com maiores teores de argila e matéria orgânica, apresentam valores de Ds menores.

Considerando que os valores de Ds se reduzem no segundo ano em ambas as camadas e progressivamente com o aumento das doses de CCA, esta pode ser uma alternativa para a descompactação de solo.

Considerando os valores restritivos propostos pelos autores Carlesso et al. (2007) e Carlesso et al. (2009) e comparando-os com os valores encontrados na avaliação da macroporosidade, conclui-se que tanto a área do pousio quanto a experimental, que teve interferência do manejo do solo e incorporação da resteva e da CCA, apresentam restrições para o desenvolvimento das plantas, já que a macroporosidade encontrada foi inferior a 10% na camada de 0,00 a 0,20 m e o teor de argila do NEOSSOLO é de 26%.

Tabela 4 – Densidade de solo (Ds), porosidade total, macro e microporosidade do solo da área em pousio e da área experimental com doses cumulativas de CCA nos anos de 2013 e 2014.

CCA (t ha^{-1})	0,00 - 0,10 m				0,10 - 0,20 m			
	Ds (g cm^{-3})	Porosidade (%)			Ds (g cm^{-3})	Porosidade (%)		
		Total	Macro	Micro		Total	Macro	Micro
		Pousio				Pousio		
0	1,57	40,00	3,38	36,62	1,54	42,90	4,34	38,56
		Pós CCA 2013				Pós CCA 2013		
0	1,47	42,39	3,88	38,51	1,54	41,07	3,84	37,22
4	1,43	44,51	4,62	40,02	1,58	39,84	3,62	36,22
8	1,46	43,02	4,07	38,95	1,58	40,67	3,28	37,39
16	1,41	44,93	5,69	39,24	1,54	40,11	3,32	36,79
32	1,35	47,80	8,19	39,61	1,52	42,17	4,11	38,06
		Pós CCA 2014				Pós CCA 2014		
0	1,44	43,40	4,29	39,11	1,49	43,11	2,49	40,62
8	1,47	42,43	5,48	36,95	1,55	41,26	5,79	38,52
16	1,43	43,94	5,55	38,40	1,48	44,36	5,79	38,58
32	1,36	47,02	3,16	43,86	1,45	43,63	1,02	42,51
64	1,29	49,97	6,29	43,67	1,47	44,14	3,33	40,81

Horizonte A (0,00 - 0,25 m) da área experimental possui textura Franco-argilo-arenoso, com 26% de argila. A primeira aplicação de CCA no solo ocorreu em 15/9/2012 e as coletas em 24/11/2012 (69 dias após a incorporação). A segunda aplicação de CCA foi em 20/9/2013 e as coletas em 31/10/2013 (41 dias após a incorporação).

Carlesso et al. (2007) e Carlesso et al. (2009) também consideraram o valor de 1,55 g cm^{-3} como crítico para uma faixa de argila entre 20 a 30%. Portanto, considerando o teor de argila de 26% e os valores médios de Ds apresentados na Tabela 4 (hachurados em amarelo), apenas o pousio (camada de 0,0 a 0,10 m) e os tratamentos com 4 e 8 t de CCA (camada de 0,10 a 0,20

m, em 2013), apresentam valores de Ds acima do valor considerado crítico pelos autores.

Assim, a partir dos resultados observados de Ds e macroporosidade, as amostras de solo podem ser classificadas como compactadas em função da macroporosidade abaixo do nível crítico estabelecido para a faixa de argila do solo.

Na avaliação do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados obtidos após as colheitas de 2013 e 2014 (Tab. 5), foram observadas diferenças estatísticas no DMP dos agregados dos diferentes tratamentos, apenas nas amostras coletadas na camada de 0,10 a 0,20 m, após a colheita de 2014 (safra 2013/14). Apenas o tratamento com 64 t CCA ha^{-1} (doses anuais cumulativas de 32 t) não diferiu da área que se encontra em pousio. Os tratamentos testemunha e com CCA não apresentaram diferenças significativas de DMP com 5 % de significância.

Tabela 5 – Diâmetro médio ponderado (mm) de agregados do pousio e dos tratamentos e seu acréscimo (+%) ou decréscimo (-%) em relação à área de referência (pousio), nas profundidades de 0,00 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, safras 2012/13 e 2013/14

Tratamentos	2012/13	2013/14	2012/13	2013/14
	0,00 - 0,10 m		0,10 - 0,20 m	
Pousio	3,23	3,23	2,59	2,59 a
T0	**3,72**	2,18	**2,70**	1,25 b
Δref. (%)	**15,21**	**-32,48**	**4,21**	-51,74
T1	**3,40**	1,83	1,83	1,06 b
Δref. (%)	**5,26**	-43,30	-29,52	-59,07
T2	2,92	2,08	2,34	0,83 b
Δref. (%)	-9,64	-35,52	-9,70	-67,95
T3	2,83	2,08	2,44	1,31 b
Δref. (%)	-12,38	-35,57	-5,84	-49,42
T4	3,18	1,93	**2,58**	1,74 ab
Δref. (%)	-1,53	-40,11	**-0,26**	-32,82

Pousio: área do entorno do experimento. Tratamentos (T) em kg de CCA ha^{-1} ano: T0: 0,0; T1: 4.000; T2: 8.000; T3: 16.000 e T4: 32.000. A primeira aplicação de CCA no solo ocorreu em 15/9/2012 e as coletas em 27/4/2013 (222 dias após a incorporação). A segunda aplicação de CCA foi em 20/9/2013 e as coletas em 15/9/2014 (355 dias após a incorporação). As amostras do pousio foram coletadas uma única vez. Letras iguais na coluna não diferem estatisticamente. Nível de significância: 5%. DMS (5%): 1,25. Δref. (%): acréscimo (+) ou decréscimo (-) corresponde a uma porcentagem da DMP do Pousio.

Kiehl (1979) salienta que “não se conhecem valores absolutos para interpretar, através da análise de agregados, quando um solo pode ser

considerado de boas ou más propriedades físicas", mas acrescenta que é aceitável considerar que solos com diâmetro médio ponderado (DMP) abaixo de 0,5 mm possuem baixa estabilidade e sofrem encrostamento superficial quando molhados. Solos com valores de DMP acima de 0,5 mm podem ser considerados estáveis quanto ao esboroamento e à dispersão.

Considerando que nenhum tratamento com CCA da área experimental apresentou valores médios de DMP inferior a 0,5 mm, pode-se afirmar que a CCA, nas condições e doses incorporadas nesse experimento, não trouxe prejuízos à estabilidade dos agregados.

Ainda observando a Tabela 5, percebe-se que, independente da camada considerada, todos os tratamentos apresentaram uma redução no DMP dos seus agregados de solo de um ano para outro, ou seja, após o segundo ano de uso da área e da incorporação da CCA. No entanto, a camada de 0,0 a 0,10 m mostrou-se menos propensa à redução do DMP dos agregados dos tratamentos, com o manejo e incorporação da CCA no solo.

Em 2013, na camada de 0,0 a 0,10 m, as amostras de solo coletadas da testemunha (sem CCA) e do tratamento com 4 t CCA ha^{-1} apresentaram valores de DMP superiores ao apresentado pelo pousio. Isso correspondeu a um incremento de 15,21% e 3,26% nessas DMPs, respectivamente, em relação ao DMP dos agregados do solo em pousio. No entanto, esses mesmos tratamentos foram os que mais reduziram o DMS no ano seguinte, com perdas de 1,54 mm e 1,57 mm respectivamente.

Em 2013, as amostras coletadas da testemunha e do solo com 4 t CCA ha^{-1} na camada de 0,10 a 0,20 apresentaram um DMP superior ao apresentado pela área em pousio, com uma variação positiva de 4,21%. Esse resultado pode indicar que doses de até 4 t CCA ha^{-1} podem contribuir para um incremento no DMP dos agregados. Nessa profundidade, os tratamentos que mais reduziram seu DMP no ano seguinte, foram os tratamentos testemunha e o tratamento com 16 t CCA ha^{-1}, com perdas de 1,45 mm e 1,51 mm respectivamente.

A menor redução ou variação negativa (-0,26%) ocorreu na camada de 0,10 a 0,20 m, no primeiro ano do experimento. No entanto, as maiores variações (-) ocorreram no ano seguinte desta mesma camada. Como a

testemunha teve maior redução do DMP de seus agregados do que os tratamentos com maiores doses de CCA acumuladas (T3= 32 t ha^{-1} e T4= 64 t ha^{-1}), pode ser um indicativo que o manejo do solo, e não a CCA possa ter interferido nesses resultados.

A tabela 6 apresenta as porcentagens de agregados estáveis em água em cada tratamento, por classe (macro e microagregados) e a relação entre essas classes. Observa-se que todos os tratamentos apresentaram valores menores de macroagregados (%Ma) e maiores de microagregados (%Mi) do que os do pousio, em ambas as profundidades e anos considerados neste estudo, especialmente na camada de 0,0 a 0,10 m, o que pode ser justificado pelo tempo em que área não sofreu ações de movimentação do solo por maquinários agrícolas.

No primeiro ano (2012/13) de incorporação da CCA na área experimental, os valores encontrados para macro e microagregados da testemunha e do tratamento T4 com 32 t CCA ha^{-1} foram próximos, indicando que uma maior dose de CCA pouco interferiu na relação Macro/Micro na profundidade de 0,00 a 0,10 m.

Na camada de 0,10 a 0,20 m, os valores (%) mais próximos aos da testemunha foram os do tratamento T3 com 16 t CCA ha^{-1} (Tab. 6).

Tabela 6 – Agregados estáveis em água (%), macro (Ma) e microagregados (Mi) e relação Ma/Mi, por classe e tratamentos, nas profundidades 0,00 – 0,10 m e 0,10 – 0,20 m, após as safras de 2012/13 e 2013/14.

	2012/13			2013/14			2012/13			2013/14		
	0,00 - 0,10 m						0,10 - 0,20 m					
	Ma	Mi	Ma/Mi	Ma	Mi	Ma/Mi	Ma	Mi	Ma/Mi	Ma	Mi	Ma/Mi
Pousio	62,67	37,33	1,68	62,67	37,33	1,68	56,51	43,49	1,30	56,51	43,49	1,30
T0	58,09	41,91	1,39	40,39	59,61	0,68	51,96	48,04	1,08	29,29	70,71	0,41
T1	60,80	39,20	1,55	39,31	60,69	0,65	41,66	58,34	0,71	27,95	72,05	0,39
T2	56,53	43,47	1,30	42,41	57,59	0,74	49,32	50,68	0,97	18,57	81,43	0,23
T3	53,27	46,73	1,14	44,09	55,91	0,79	50,17	49,83	1,01	31,41	68,59	0,46
T4	58,61	41,39	1,42	42,56	57,44	0,74	52,25	47,75	1,09	37,61	62,39	0,60

Pousio: área do entorno do experimento. Tratamentos (T) em kg de CCA ha^{-1} ano: T0: 0,00; T1: 4.000; T2: 8.000; T3: 16.000 e T4: 32.000. A primeira aplicação de CCA no solo ocorreu em 15/9/2012 e as coletas em 27/4/2013 (222 dias após a incorporação). A segunda aplicação de CCA foi em 20/9/2013 e as coletas em 15/9/2014 (355 dias após a incorporação). Ma= macroagregados, Mi= microagregados, Ma/Mi= relação entre macro e microagregados. As coletas no pousio ocorreram apenas no primeiro ano do estudo.

Com a incorporação cumulativa da CCA, ocorreu um decréscimo (%) dos macroagregados dos tratamentos da área experimental, em relação aos do

primeiro ano, e um aumento considerável dos microagregados (Mi) em relação ao ano anterior, em ambas as camadas. O tratamento T2, na camada de 0,10 a 0,20 m, com 16 t de CCA ha^{-1} em 2014, foi o que apresentou a maior redução nos percentuais de macroagregados entre os tratamentos, passando de 49,32% para 18,57%. Os demais tratamentos apresentam valores muito próximos entre si, o que pode indicar que o fator que pode ter influenciado mais na redução dos macroagregados pode ter sido o segundo ano de manejo do solo no trabalho com a grade e não a adição da cinza, já que o tratamento T4 com 64 t de CCA ha^{-1} apresenta maior percentual de macroagregados que o tratamento T0 sem cinza em ambas as camadas.

Os processos que estabilizam os macroagregados, ou os que promovem a sua desagregação e a consequente formação de microagregados, podem ser de certa forma sintetizados na relação macro/microagregados. Apesar da importância dos macroagregados para a melhor aeração e drenagem do solo, essas estruturas complexas apresentam uma estabilidade transitória que pode ser destruída pelo manejo inadequado do solo. O material cimentante dentro do Mi é mais resistente que aquele que liga os Mi que formam os Ma. Por isso é desejável uma proporção adequada entre essas duas classes de agregados.

Tisdall e Oades (1982) afirmam que os microagregados são mais estáveis à dispersão pela água e resistentes aos distúrbios mecânicos, incluindo o cultivo do solo, porque são sedimentados por materiais transitórios (polissacarídeos associados a metais) ou persistentes (material húmico, ferro amorfo e aluminossilicatos), enquanto que os macroagregados são mantidos por elementos transitórios como raízes e hifas de fungos, de decomposição mais fácil. Assim, embora um equilíbrio entre macro e micro agregados seja desejável, existe um consenso de que os teores de carbono (C) e de nutrientes preservados nos microagregados são mais duradouros, ou seja, menos alterados com o manejo do solo (WAN; El-SWAIFY, 1998; BURAK, FONTES e BECQUER, 2011).

Durante o preparo das amostras para avaliação da estabilidade dos agregados em água, foram realizadas observações visuais e seu respectivo registro (Fig. 11).

Figura 11 – Fotos da esquerda para a direita: 1) raízes achatadas, cinza da casca de arroz com distribuição desuniforme e a presença de óxidos de ferro; 2) agregados formados por solo, raízes e cinza; 3) solo com presença de porosidades incluindo bioporos, raízes arredondadas, óxidos de ferro; 4) agregado com muitos poros e a presença de minhocas.

Percebeu-se que nas partes do solo onde a distribuição das CCA foi desuniforme as raízes eram achatadas (Fig. 11, foto 1) e, nas áreas onde a CCA ficou melhor incorporada ao solo, as raízes encontradas eram arredondadas (Fig. 11, foto 2). Também foram observadas nos monólitos a presença de bioporos (Fig. 11, foto 3), minhocas (Fig. 11, foto 4) e a forte presença de óxidos de ferro (Fig. 11, fotos 1 e 3).

5.5. CONCLUSÕES

A macroporosidade do solo da área experimental é limitante para o crescimento das plantas;

A CCA diminui a densidade do solo e aumenta a porosidade total, a macro e a microporosidade na camada superficial de 0 a 0,2m, sendo este efeito mais evidentemente após o segundo ano, com a reaplicação da cinza;

A estabilidade dos agregados não é afetada pela incorporação da CCA.

5.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADOLPHO, D. O.; SILVA, M. F. M. M. DA; JORGE, R. R.; MACHADO, R. F.; NEUMANN, S. A.; CAZABONET, L. R.; PYDD, E. B. Efeitos da adubação com cinza de casca de arroz em parâmetros produtivos de arroz irrigado. XII Conferência Internacional de Arroz para América Latina e Caribe – 23 a 26/02/2015 – Porto Alegre, RS. Anais eletrônicos... Porto Alegre, RS. 2015.

AIRES, R. K. A ação da casca de arroz queimada sobre nematoide da cenoura e atributos químicos do solo. Tese (Doutorado em Ciências, área de concentração Fitotecnia). 2012, 80p. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014.

BARBETTA, P. A. et al. **Estatística aplicada às ciências sociais.** 8. ed. Florianópolis: UFSC, 2012. 318 p.

BERNI, Rodrigo Fascin. Efeito da cinza da casca do arroz no controle da brusone nas folhas do arroz. Pesquisa Agropecuária Tropical. 31, n. 1, jan./jun. 2001.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos. 3. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRASIL. Decreto n° 4954, de 14/01/2004. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 15 jan. 2004. Seção 1, p. 2.

BURAK, D. L.; FONTES, M. P. F; BECQUER, T. Microagregados estáveis e reserva de nutrientes em Latossolo Vermelho sob pastagem em região de cerrado. e-ISSN 1983-4063 - www.agro.ufg.br/pat - Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 41, n. 2, p. 229-241, abr./jun. 2011

CAAL – Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda. Disponível em: <http://www.caal.com.br/site/noticias>. Acesso em: 2/jan./2015.

CARLESSO, R.; MICHELON, C. J.; PETRY, M. T.; DE DAVID, G.; DALLA SANTA, C. Qualidade física de solos irrigados do Estado do Rio Grande do Sul. Ciência Rural, v.37, n.5, set-out, 2007.

CARLESSO, R.; MICHELON, C. J.; PETRY, M. T. Qualidade física de solos irrigados por aspersão no Brasil. In CYTED – Red de Riego de Iberoamerica Disponível em: <http://ceer.isa.utl.pt/cyted/mexico2006/tema%202/8_RCarlesso_Brazil.pdf>. Acesso em: março/2016.

DELLA, V. P., KÜHNA, I.; HOTZA, D. Reciclagem de resíduos agro-industriais: cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. Cerâmica Industrial, 10 (2) Março/Abril, 2005. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v10n02/Publicado_v10n2a03.pdf.>. Acesso em: Dez./2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER DO RIO GRANDE DO SUL – FEPAM. Diretriz Técnica Nº 002/2011 – DIRTEC: gestão de resíduos caracterizados como casca de arroz e cinzas resultantes do processo de queima da casca. FEPAM. Disponível em:

<http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/Diret_Tec_02_2011.pdf>. Acesso em: Out./2014.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. pt.1, p.383-411.

GREEN, C; A VAN GRIENSVEN,. Autocalibration in hydrologic modeling: Using SWAT2005 in small-scale watersheds. **Environmental Modelling & Software,** [s.l.], v. 23, n. 4, p.422-434, abr. 2008. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.06.002. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815207001168>. Acesso em: 18 out. 2016.

ISLABÃO, Gláucia Oliveira. Uso da cinza de casca de arroz como corretivo e condicionador do solo. 2013. 80p. Tese - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - Brasil.

ISLABÃO, G. O. et al. Hydro-Physical Properties of a Typic Hapludult under the Effect of Rice Husk Ash. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2016; v40:e0150161.

JORGE, R. R.; SILVA, M. F. M. M DA.; VAHL, L. C.; TIMM, L. C.; MACHADO, R. F.; NEUMANN, S. A.; Efeitos da adubação com cinza na fertilidade de um Neossolo Litólito eutrófico. In: X REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, 16 e 17 de outubro de 2014, Pelotas. Anais eletrônicos (card drive)... Pelotas, RS. 2014.

KARMAKAR, S.; MITTRA, B.N.; GHOSH, B.C. Influence of industrial solid wastes on soil-plant. Interactionin rice under acid lateritic soil. In: World of Coal Ash (WOCA) Conference; 2009; Lexington.Lexington, KY: 2009. p.1-13.

KATH, A. H.; MARQUES, G. C.; VAHL, L. C.; Cinza de casca de arroz, lodo de estação de tratamento de esgoto e esterco bovino como fontes de nutrientes para a cultura do trigo. In: IX REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 08 a 09 de novembro de 2012, Lages. Anais eletrônicos (CD)... Lages, SC, 2012.

KATH, A. H.; ISLABÃO, G. O.; PAUL, D. L.; SOUSA, R. O. de; VAHL, L. C. Efeito residual da cinza de casca de arroz na disponibilidade defósforo e silício no solo.In: XIV ENCONTRO DA PÓS-GRADUAÇÃO UFPEL. **Anais...**Disponível em: <http://www2.ufpel.edu.br/enpos/2012/anais/pdf/CA/CA_00591.pdf>. Acesso em: Out../2012.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute A, editor. Methodsof soil analysis; physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy;1986. Pt 1. p.425-42.

KIEHL, E. J.; Manual de Edafologia. São Paulo, SP: Editora Ceres, 1979.

KLEIN, V. A. Física do Solo. 2ed. Passo fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012. 240p.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: Black CA, editor. Methods of soil analysis;Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy; 1986. p.635.

MASULILI, A.; UTOMO, W. H.; SYECHFANI, M. S. Rice husk biochar for rice based cropping systemin acid soil. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties ofacid sulfate soils and rice growth in west Kalimantan, Indonésia. J Agric Sci. 2010;2:39-47.doi:10.5539/jas.v2n1p39.

MORIASI, D. N. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the Asabe,** [s.l.], v. 50, n. 3, p.885-900, 2007. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). http://dx.doi.org/10.13031/2013.23153. Disponível em: <https://www.scienceopen.com/document?vid=0407b969-7eb9-4361-83ea-b7e5c5225ea3>. Acesso em: 19 jan. 2016.

PALMEIRA, P. R. T.; PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J.B. Agregação de um Planossolosubmetido a diferentes sistemas de cultivo. Rev Bras Cienc Solo. 1999;23:189-95.doi:10.1590/S0100-06831999000200001.

PAUL, D. L.; ISLABÃO, G. O.; VAHL, L. C.; TIMM, L. C.; PAULETTO, E. A. Caracterização física de argissolo com cinza de casca de arroz. CIC 2011. Disponível em: < http://www.ufpel.edu.br/cic/2011/anais/pdf/CA/CA_00573.pdf > Acesso em: Jan./2012.

PAULETTO, E. A.; NACHTIGALL, G. R.; GUADAGNIN, C. A. Adição de cinza de casca de arroz em dois solos do município de Pelotas, RS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 14:255-258, 1990.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; TURATTI, A.L. & CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. Pesq. Agropec. Bras., 36:709-715, 2001.

RABOT, E., WIESMEIER, M., SCHLÜTER, S.; VOGEL, H.-J. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. Geoderma. Volume 314, 15 de março de 2018, páginas 122-137. Disponível em:<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>. Acesso em: 19/nov./2017.

RAMESH, V.; KORWAR, G. R.; MANDAL, U. K.; PRASAD, J. V. N. S.; SHARMA, K. L.; YEZZU, S. R.; KANDULA, V. Influenceof fly ash mixtures on early tree growth and physicochemical properties of soil in semi-aridtropical Alfsols. Agrofor Syst. 2008;73:13-22. doi:10.1080/03601234.2012.669288.

REIS, L. E; XAVIER, F. M; ISLABÃO, G. O; VAHL, L. C; TIMM, L. C. Cinza de casca de arroz como corretivo de acidez do solo. In: 21^{0} CONGRESSO DE

INICIAÇÃO CIENTÍFICA UFPEL, Pelotas, 2011. Anais eletrônicos... Pelotas: CIC,2011. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/cic/2011/anais/pdf/CA/CA 00564.pdf> Acesso em: 10 de out. 2014.

SALÉ, L. Y.; CHANASYK, D. S.; NAETH, M. A. Temporal influence of fly ash on select soil physicalproperties. Can J Soil Sci. 1997;77:677-83. doi:10.4141/S96-078.

SANTOS, H. G. dos [et al]. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 3 ed. rer. ampl..- Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353 p.

SAVANT, A. S.; PATIL, V. H.; SAVANT, N. K. Rice hull ash applied to seedbed reduces dead hearts in transplanted rice. International Rice Research Notes, Los Baños, v.19, n.4, p.21-22, 1994.

SILVA, F. F.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; MUNIZ, A. S.; R. C. FERREIRA. 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, Vol. 1, No. 1. 2008.

SILVA, M. F. M .M da. VAHL, L.C.; TIMM, L.C.; JORGE, R.R.; MACHADO, R. F. Impacto da adição da cinza da casca de arroz na água percolada de solo sob cultivo de arroz, soja e milho. In: XX CONGRESO LATINOAMERICANO Y XVI CONGRESO PERUANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 09-15 de novembro de 2014, Cusco. Anais eletrônicos... Cusco, Peru. 2014.

SILVA, M. F. M. M da. CASTILHOS, D. D.; VEÇOSI, T. A.; TIMM, L. C.; JORGE, R. R.; VAHL, L. C. Parâmetros biológicos de um Neossolo Regolítico submetido à incorporação de diferentes dosagens de cinza de casca de arroz. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 11-14 de agosto de 2015, Porto Alegre. Anais eletrônicos... Porto Alegre, RS. 2015.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

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

WAN, Y.; El-SWAIFY, S. A. Sediment enrichment mechanisms of organic carbon and phosphorus in a wellaggregated Oxisol. Journal of Environmental Quality, Madison, v. 27, n. 1, p. 132-138, 1998.

WALKLEY, A. & BLACK, J.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37: 29-38, 1934.

YODER, R. A. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature oferosion losses. Agron J. 1936;28:337-51. doi:10.2134/agronj1936.00021962002800050001x

6. ARTIGO 2 – ANÁLISE TEMPORAL DA FERTILIDADE DE UM NEOSSOLO SUBMETIDO À INCORPORAÇÃO SUCESSIVA DE CINZA DA CASCA DE ARROZ

6.1. RESUMO

Face aos elevados custos com energia elétrica as agroindústrias têm usado a biomassa casca para gerar sua própria energia, mas produzindo grandes volumes de cinza. Alguns trabalhos científicos têm sido publicados mostrando que a cinza pode melhorar a estrutura do solo e suas propriedades físicas, é corretiva da acidez do solo, melhora a fertilidade e a produtividade, é benéfica para a microbiota do solo e não apresenta riscos de contaminação de corpos hídricos pela percolação. Portanto, existe a necessidade de que se avalie o potencial de utilização da CCA na agricultura bem como seus possíveis impactos sobre os recursos naturais, justificando o presente trabalho. A pesquisa foi realizada no município de Alegrete (RS), em NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com cinco doses de CCA, equivalentes a 0, 4, 8, 16 e 32 Mg/ha, e quatro repetições, totalizando 20 parcelas. Foi adotada a área em pousio em torno do experimento como testemunha absoluta, livre de perturbações. Os dados obtidos foram submetidos à análise regressão. Foram constatados redução da acidez e aumento da saturação de bases, da CTC_{ef}, dos teores médios de K, Ca, Mg, Mn, P e S, mas não foram observadas alterações significativas dos teores de Zn e Cu. Apesar do decréscimo da MOS média da área em pousio após o preparo da área para a implantação das parcelas, esta apresenta uma relação direta e significativa, com o aumento das doses de CCA ao longo do tempo. Ocorreu redução nos teores de Fe e os teores de Na se mantiveram estáveis ao longo do período.

6.2. INTRODUÇÃO

Dentre os pontos positivos da presença do Si no solo pode-se citar o favorecimento da correção da acidez, pela ação neutralizante resultante da dissociação do silicato de cálcio e do silicato de magnésio, com posterior formação de íons hidroxilas que irão neutralizar o íon hidrogênio da solução do solo, responsável pela sua acidez. Ocorre também o aumento dos teores de P_2O_5, CaO, MgO e SiO_2, e da saturação por bases. Além disso, ocorre diminuição do efeito tóxico do Fe, Mn, Al e Na (PRADO et al., 2002; KORNDÖRFER et al., 2004; RAMOS et al., 2008).

Segundo Korndörfer e Datnoff (1995), o uso de silicatos tem um efeito positivo normalmente associado ao aumento na disponibilidade do Si solúvel, ao efeito do pH e também dos micronutrientes que esses produtos podem conter. Os autores afirmam ainda que o Si pode atuar na redução do Mn e Fe tóxicos para as plantas.

Filho & Pabhu (2002) alertam para o fato de que embora ainda não exista um critério de recomendação de doses de silicatados, os dados disponíveis indicam que as doses devem variar de 4 a 6 t ha^{-1} de silicato de cálcio. Os autores afirmam também que existe a possibilidade de que essa dosagem possa ser reduzida, se forem utilizados produtos com uma granulometria menor que 0,15mm. No Japão, apesar da dose recomendada de 1,5 t ha^{-1} a 2 t ha^{-1}, os agricultores usam 0,5 t ha^{-1} a 1,0 t ha^{-1}.

A cinza resultante da queima da casca de arroz (CCA) pelas indústrias de beneficiamento pode possuir até 95% de sílica amorfa. Esse resíduo é gerado ao se utilizar as cascas do grão de arroz como fonte de energia para a secagem e parboilização do cereal. De acordo com informações fornecidas pela própria cooperativa (CAAL), a produção anual de cinzas é de aproximadamente 5,5 mil t.

Apesar de serem encontradas várias pesquisas sobre o uso da CCA na área da construção civil e mesmo para a estabilização de estradas não pavimentadas (NASSIRI et al, 2016), ainda são escassos os estudos sobre seu

uso agrícola, o que indica um campo pouco explorado e com a possibilidade de inúmeras frentes de pesquisas.

Apenas recentemente a legislação ambiental regulamentou a disposição das cascas e cinzas geradas pelo beneficiamento do arroz através da Diretriz Técnica da FEPAM Nº. 002/2011 (FUNDAÇÃO..., 2011) e seu retorno da CCA aos sistemas produtivos seria a forma mais sustentável de fechamento da cadeia produtiva, a qual poderia reintegrar os seus resíduos.

Segundo Ueda et al. (2007), na Tailândia toda a cinza produzida pela queima da casca de arroz é reutilizada como condicionador de solo para terras agrícolas. As cinzas de casca de arroz são uma grande fonte de potássio muito utilizada na agricultura orgânica e na agroecologia, indicando até 5 t CCA ha^{-1}.

Somam-se a esses argumentos, alguns trabalhos têm mostrado que a cinza pode melhorar a estrutura do solo e suas propriedades físicas (ISLABÃO et al., 2016; ISLABÃO, 2013; REIS et al., 2011; MASULILI et al., 2010; KARMAKAR et al., 2009; RAMESH et al., 2008; SALÉ et al.,1997).

Alguns trabalhos mostram ainda, a CCA como corretiva da acidez do solo (ISLABÃO, 2013; REIS, et al., 2011; PAULETTO, NACHTIGALL e GUADAGNIN, 1990), com efeitos sobre a disponibilidade de nutrientes no solo (AIRES, 2014; JORGE., 2014; KATH, MARQUES, VAHL, 2012; KATH et al., 2012) e proporcionando incremento de produtividade (ADOLPHO et al., 2015; SILVA et al., 2008).

Além disso, a CCA auxilia no controle de doenças foliares e ataque de insetos (BERNI, 2001; SAVANT et al., 1994) e pode ser considerada benéfica para a microbiota do solo (SILVA et al., 2015), não apresentando riscos de contaminação de corpos hídricos pela percolação da água no perfil do solo que recebeu esse resíduo (SILVA et al., 2014).

A CCA vem sendo utilizada como condicionadora dos solos sem conhecimento técnico-científico na região onde se desenvolve a pesquisa, mas os agricultores ressaltam os efeitos benéficos dessa para as culturas e o solo.

Portanto, supondo-se esse resíduo possa ser utilizado em propriedades agrícolas, cria-se uma logística reversa entre o elo da agroindústria e os sistemas produtivos da cadeia orizícola da cidade em que os produtores

entregam o arroz com casca, pois podem receber de volta a cinza para ser utilizada como adubo natural e corretiva de solos.

A revisão do estado da arte do uso agrícola das CCA, mostrou que existem limitações quando ao tempo de duração das pesquisas, à carência de avaliação de parâmetros mais diversificados e à inexistência de trabalhos com os efeitos cumulativos da cinza. Existe, portanto, a necessidade de que se avalie o potencial de utilização da CCA e seus possíveis impactos sobre os recursos naturais e à principal cultura da região, ao longo do tempo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da CCA nos diferentes parâmetros de fertilidade de solo, através da simulação das condições de campo em que a CCA é utilizada pelos produtores, ou seja, de forma cumulativa.

6.3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Alegrete, estado do Rio Grande do Sul, em uma área pertencente ao Centro Tecnológico Experimental da CAAL localizada nas coordenadas geográficas 29º48’30,12”S - 55º50’59,93”W, altitude de 126 m em relação ao nível médio do mar.

A área possui vegetação nativa espontânea com histórico de aproximadamente 15 anos de cultivos experimentais com arroz, milho, milheto e pastagem de azevém. Há aproximadamente cinco anos a área encontrava-se em pousio, mas com pastejo de um pequeno rebanho de gado de leite.

Considerando as características do perfil e os horizontes presentes (Tab. 1), o solo foi classificado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico (STRECK et al., 2002; SANTOS et al. 2013).

Tabela 1 – Granulometria dos horizontes do NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico do Centro Tecnológico Experimental da CAAL e classificação textural

Horizonte	Areia	Silte	Argila	Silte/ Argila	Classe textural
m	---------- % ----------				
A (0,00 – 0,25)	47	27	26	1,1	Franco-argilo-arenoso
AC (0,25 – 0,50)	44	18	38	0,5	Argiloso
C (0,50 – 0,80)	41	18	41	0,5	Argiloso
CR(0,80 - 1,0 +)	-	-	-	-	-

A densidade média de partículas (Dp) na camada de 0,00 – 0,10 m foi de 2,61 g cm^{-3} enquanto que na camada de 0,10 – 0,20 m foi de 2,69 g cm^{-3} (Fig. 1 e 2, respectivamente). Tais valores se encontram dentro dos parâmetros (2,60 a 2,75 g cm^{-3}) citados por diferentes autores para as condições de solos tropicais e subtropicais, nos quais predominam minerais como quartzo, feldspato, mica e coloides silicatados que possuem densidades dentro desse intervalo (KLEIN, 2012; BRADY & WEIL, 2013). A presença do quartzo evidenciada nos 47% de areia no horizonte A e a presença dos óxidos de ferro (0,7%) constatada pelas análises do solo da área experimental, também podem justificar os valores encontrados.

As propriedades químicas do solo para cada horizonte (Tabela 2) foram determinadas segundo EMBRAPA (2011), sendo os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} determinados por espectrometria de absorção atômica após extração com KCl 1,0 mol L^{-1}.

Tabela 2 – Atributos químicos do solo em cada horizonte do perfil do NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico localizado no Centro Técnico Experimental da CAAL

Horizonte	$pH_{água}$	Ca^{++}	Mg^{++}	K^{+}	Na^{+}	Al^{+++}	H+Al	V	m	C	S
		.....		$cmol_c\ kg^{-1}$		.....		..... %			$mg\ kg^{-1}$
A	5,5	7,90	3,41	0,14	0,10	0,29	2,41	82,71	2,06	2,21	2,94
AC	5,0	3,72	2,31	0,05	0,11	3,48	3,54	63,61	35,70	0,91	3,38
C	5,1	5,16	3,12	0,06	0,17	2,71	3,31	72,01	22,92	1,05	0,00

O Na^{+} e o K^{+} trocáveis foram extraídos com solução de HCl 0,05 mol L^{-1}+ H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} e determinados por fotometria de chama. O Al^{3+} trocável foi extraído com solução KCl 1,0 mol L^{-1} e titulado com NaOH 0,0125 mol L^{-1}. Os teores de S foram determinados por espectofotometria após extração com $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$.

A partir dos dados analíticos obtidos foram calculadas a soma de bases ($SB = Ca^{++} + Mg^{++} + K^{+} + Na^{+}$), a porcentagem de saturação por bases [$V = (100 \times \text{valor de S}) / (S + (H^{+} + Al^{+++})$] e a saturação por alumínio [$m = (100 \times Al^{+++}) / (S + Al^{+++})$].

O teor de carbono orgânico (CO) do solo foi determinado pela oxidação da matéria orgânica via úmida com dicromato de potássio em meio sulfúrico - método de combustão de Walkley-Black (1934). Os resultados foram expressos

como matéria orgânica do solo (MOS), multiplicando o teor de CO por 1,72, fator de Van Bemmelen usado para regiões temperadas (EMBRAPA, 2011).

Antes da implantação do experimento (12 e 13/7/2012), foram coletadas com trado calador, 20 amostras simples aleatórias da área em pousio, na profundidade de 0,00 a 0,20 m, compondo uma amostra composta para avaliações dos parâmetros de fertilidade do solo.

Para o acompanhamento variações na fertilidade solo, foram coletadas ao longo do experimento, 14 amostras simples em cada uma das 20 parcelas, para compor uma amostra composta. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para as análises químicas.

As coletas do pousio foram realizadas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias). A avaliação dos parâmetros de fertilidade das amostras coletadas seguiu a mesma metodologia de avaliação do perfil (EMBRAPA, 2011).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com cinco doses de CCA, equivalentes a 0, 4, 8, 16 e 16 Mg/ha e quatro repetições.

A CCA foi espalhada com o auxílio de rastilhos e, posteriormente, utilizou-se uma grade para incorporá-la na camada de aproximadamente 0,00 – 0,20 m.

Foi considerada a área em pousio em torno do experimento como testemunha absoluta, livre de perturbações. Essa escolha foi sustentada pelas considerações de Rabot et al. (2018), onde os autores afirmam que devem ser usadas amostras de solo não perturbadas como um indicador eficiente das funções do solo.

As cinzas utilizadas a cada ano foram enviadas para análise e caracterização. A Tabela 3 apresenta as características e a composição das cinzas de diferentes estudos e a cinza utilizada nos três anos de cultivo na área experimental.

Os relatórios de ensaio (RE) 26305/15.11, 26306/15.11 e 66833-001-135447/12.15, fornecidos pela ECONSULTING (Laboratório de Gestão

Ambiental e Higiene Ocupacional), indicam que a cinza utilizada no presente trabalho não apresenta inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxidade ou patogenicidade de acordo com os termos referidos na norma, sendo classificada de acordo com os parâmetros analisados e com a NBR 10004 como resíduo não inerte – Classe IIA (ABNT, 2004).

Tabela 3 - Composição química da cinza de casca de arroz utilizada em cada ano

Parâmetros	Unidades	CCA CAAL (RE1)*	CCA CAAL (RE2)*	CCA CAAL (RE3)*	CCA CAAL (RE4)*
pH	-	8,89	6,89	9,40	9,4
PN	%	-	< 1,0	-	1,0
Cinzas	%	89,6	89,6	87,3	-
COT	%	5,7	5,6	6,4	5,3
Umidade	%	0,5	0,5	1,7	-
Densidade	g cm^{-3}	-	0,23	-	-
CTC	mmol kg^{-1}	-	-		182
DBO	mg L^{-1}	-	-	-	1,08
DQO	mg L^{-1}	-	-	-	26,98
Si	g kg^{-1}	-	682	-	-
N	g kg^{-1}	-	0,51	-	-
P	g kg^{-1}	-	0,33	-	-
S	g kg^{-1}	-	0,10	-	-
K	g kg^{-1}	-	4,49	-	-
Ca	g kg^{-1}	-	1,50	-	-
Mg	g kg^{-1}	-	0,37	-	-
Cu	g kg^{-1}	-	1,52	-	-
Mn	g kg^{-1}	-	0,29	-	-
Na	g kg^{-1}	-	0,12	-	-
Zn	g kg^{-1}	-	0,01	-	-

Fontes: *As CCA utilizadas no presente estudo foram submetida à análise no Laboratório ECONSULTING que forneceu os laudos ou Relatórios de Ensaio (RE): RE1 (26305/15.11), RE2 (26306/15.11), RE3 (66833-001-135447/12.15) e RE4 (66833-002-135448/19.15).

Ainda segundo os relatórios, os níveis de boro, cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio, níquel, arsênio, bário, prata, selênio, fenol e cianeto ficaram abaixo dos limites mínimos de detecção das metodologias e equipamentos utilizados para as análises.

Todos os conjuntos de dados obtidos das análises de laboratórios, foram submetidos à análise de regressão e de variância (ANOVA) e, quando houve significância estatística, foram realizados testes de média (Tukey a 5%), utilizando o programa estatístico Assistat. Os melhores ajustes para a regressão foram obtidos com linhas polinomiais e, para o ajuste do coeficiente de determinação (R^2), foi adotado o valor mínimo de 0,50 como sendo

adequado (BARBETTA, 2012; GREEN; VAN GRIENSVE, 2008; MORIASI et al., 2007). Todos os cálculos realizados, como a obtenção das curvas e suas respectivas equações de ajuste, foram realizados por meio de planilhas eletrônicas.

6.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.4.1. Acidez ativa e acidez potencial

A área em pousio apresentou pH 5,2, enquanto que a área experimental apresentou valores sempre superiores a 5,6 nos três anos de condução da pesquisa (Fig. 1).

Com a primeira incorporação das doses de CCA o pH se elevou nos tratamentos ficando entre 5,6 e 5,8, podendo ser justificado em 86% pelas doses de cinza.

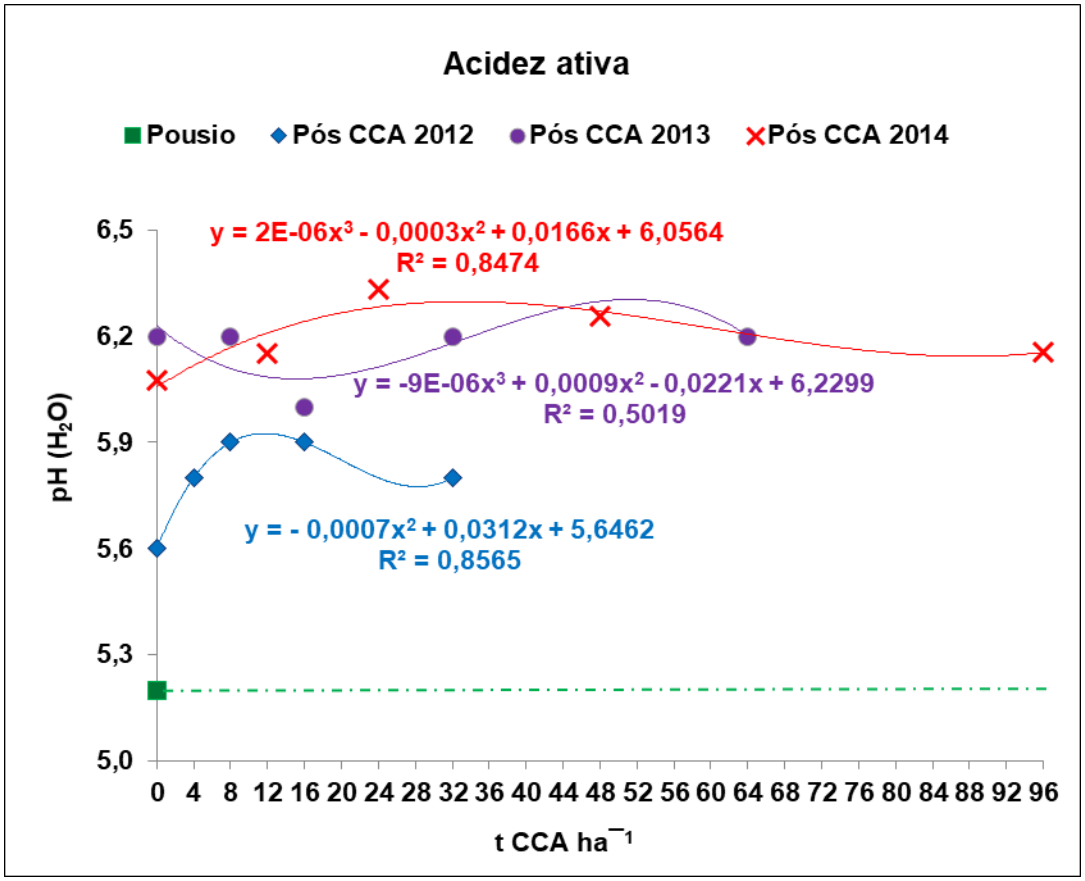

Figura 1 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e a acidez ativa (pH H_2O) na camada de 0,00 - 0,20 m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

Após a segunda incorporação cumulativa (0, 8, 16, 32, 64 t CCA ha^{-1}), a acidez ativa reduziu em todos os tratamentos. Após a terceira incorporação cumulativa (0, 12, 24, 48, 96 t CCA ha^{-1}), o pH ficou entre 6,1 e 6,3, com a maior variação igual a 0,3 no tratamento com 24 t CCA ha^{-1}. A equação mostra uma relação elevada entre a variação apresentada pelos tratamentos e as diferentes doses acumuladas (85%).

No entanto, devido à também alteração da testemunha, o manejo do solo com a incorporação da resteva do arroz, pode ter contribuído consideravelmente para as variações. Essa conclusão se justifica pelo fato de que, a redução da acidez ativa após os três anos do experimento foi praticamente a mesma na testemunha e no tratamento com 96 t CCA ha^{-1}, pois o pH se elevou 0,9 e 1,0 em relação ao pousio, respectivamente.

De qualquer forma, o efeito geral do manejo com a permanência da resteva sobre o solo e sua posterior incorporação junto com a CCA no ano seguinte, contribuíram para elevar o pH do solo, reduzindo assim, a acidez ativa do mesmo. Esse resultado ou faixa de pH, com acidez fraca, é benéfico para a microbiota do solo envolvida nos processos de nitrificação, nodulacão e fixação biológica do nitrogênio (LEITE; ARAUJO, 2004). Com isso, as culturas agrícolas em geral, em especial o arroz, se beneficiam, pelos processos biológicos envolvidos e também porque as plantas sofrem os efeitos dos solos ácidos da região até o momento em que se dará a irrigação por inundação e a auto calagem do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Reis et al. (2011) em um Argissolo e por Machado e Luz (2009) em um Latossolo Vermelho Amarelo. Os autores verificaram um aumento nos valores do pH em função das crescentes doses de cinza de casca de arroz aplicadas ao solo.

Reis et al (2011) observaram que a CCA afetou todos os parâmetros relacionados à acidez analisados, principalmente na camada superficial de 0,00 a 0,10 m, onde o material foi incorporado, mas com pouca influência na camada de 0,10 a 0,20m.

A área em pousio apresenta um valor médio de 4,4 $cmol_c$ kg^{-1} para a acidez potencial. Após o preparo da área e a incorporação da CCA, ocorreu um decréscimo considerável desse valor em toda a área, exceto nos tratamentos

com 16 t de CCA ha^{-1}. A variação nos valores médios da acidez potencial dos tratamentos nesse primeiro ano pode ser justificada em 86% pela incorporação da cinza (Fig. 2).

As amostras coletadas em 2013, 41 dias após a adição da cinza, apresentaram valores médios em torno de cerca de 50% inferiores ao inicial da área em pousio. A variação dos valores médios de acidez potencial, apresentou uma amplitude de variação entre os tratamentos, menor do que no ano anterior. Essa variação média tem uma relação positiva com o aporte de CCA no solo e pode ser justificada em boa parte (98%) pelas doses crescentes de CCA incorporadas (Fig. 2).

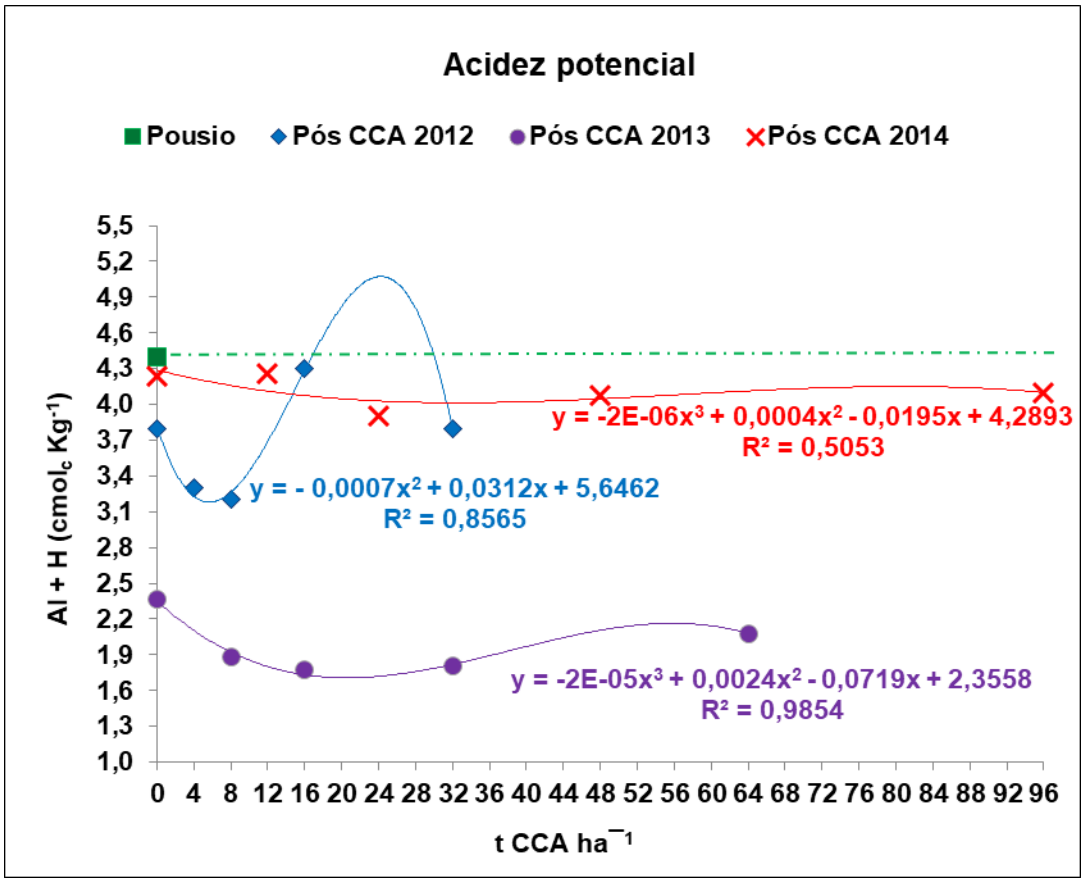

Figura 2 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e a acidez potencial (Al + H) na camada de 0,00 - 0,20 m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

As amostras coletadas em 2014, 13 dias após a adição da cinza, apresentaram valores de acidez potencial muito próximos ao da área em pousio (acidez potencial média) (Fig. 2).

Reis et al. (2011) avaliaram o efeito de diferentes doses de cinza de casca de arroz nos parâmetros de acidez do solo Argissolo, no Centro Agropecuário da Palma da UFPel utilizando doses de CCA equivalentes a zero, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120 e 140 Mg ha^{-1} e duas referências, sendo uma testemunha absoluta (solo natural, mantido sem cultivo) e a outra a adubação recomendada (calagem e adubação de correção e manutenção). Os autores observaram que a CCA afetou todos os parâmetros relacionados à acidez, principalmente na camada superficial de 0,0 a 0,10 m e concluíram que a CCA apresentou efeito significativo nos teores de Al trocável e H+Al tituláveis, que diminuíram com a aplicação da CCA.

6.4.2. Matéria orgânica do solo (MOS)

Na figura 3 pode-se observar que a MOS média da área em pousio era de 3%, decrescendo após o preparo da área para a implantação das parcelas. No entanto, os valores médios da MOS na testemunha sem CCA, se mantiveram estáveis.

Nos três anos avaliados, as variações de MOS nos tratamentos apresentaram uma relação muito significativa e direta, com as doses de CCA especialmente na segunda e terceira aplicação (98%).

O tratamento com 8 t de CCA ha^{-1} foi o único que variou de um ano para o outro. Os demais tratamentos apresentaram-se estáveis ao longo dos três anos do experimento e, mesmo com as incorporações sucessivas da CCA (Fig. 3), se mantiveram baixos em toda área experimental (COMISSÃO..., 2014).

Como a resteva foi incorporada em todas as parcelas e a testemunha apresentou valores médios até superiores aos tratamentos com cinza, essa pode ter contribuído mais do que a própria cinza para a estabilidade dos teores médios de MOS dos diferentes tratamentos.

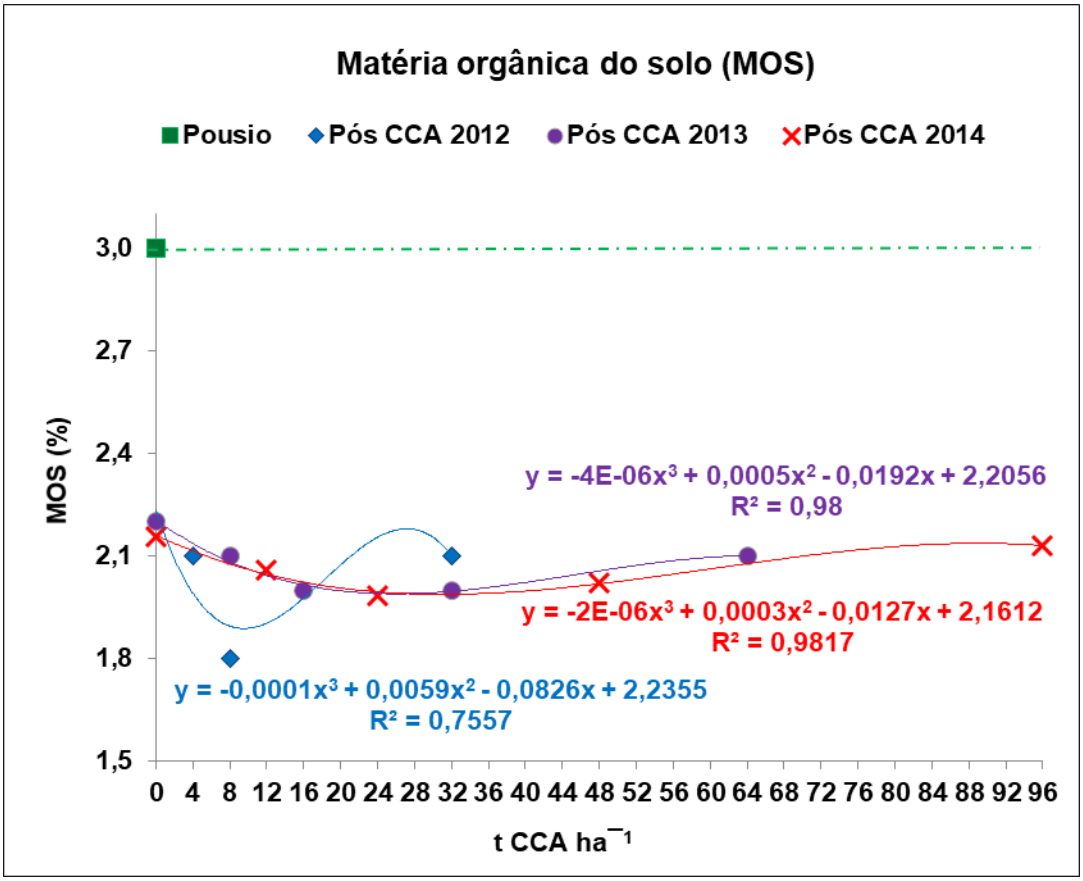

Figura 3 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e a matéria orgânica do solo (%MOS) na camada de 0,00 - 0,20 m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

6.4.3. Saturação por bases ($V_{\%}$), capacidade de troca de cátions (CTC_{ef}) e saturação por alumínio ($m_{\%}$)

Ocorreu uma sensível variação nos valores de saturação de bases dos tratamentos em relação ao pousio (Δ= 17,7), ao longo dos três anos de incorporação da CCA. Embora apresentando uma relação inversa com as diferentes doses de CCA aplicadas no solo, as variações da saturação por bases das amostras coletadas dos tratamentos em 2013 podem ser justificadas em 96% pela presença da cinza.

O tratamento que só teve a resteva incorporada apresentou valores de V% levemente inferiores aos tratamentos com CCA, exceto em 2012, em que o tratamento com 16 t ha^{-1} foi o que apresentou o menor valor de V% entre os 5 tratamentos considerados. Após a incorporação da cinza em 2014, os valores foram superiores de saturação de base foram todos superiores aos anos anteriores, inclusive a testemunha.

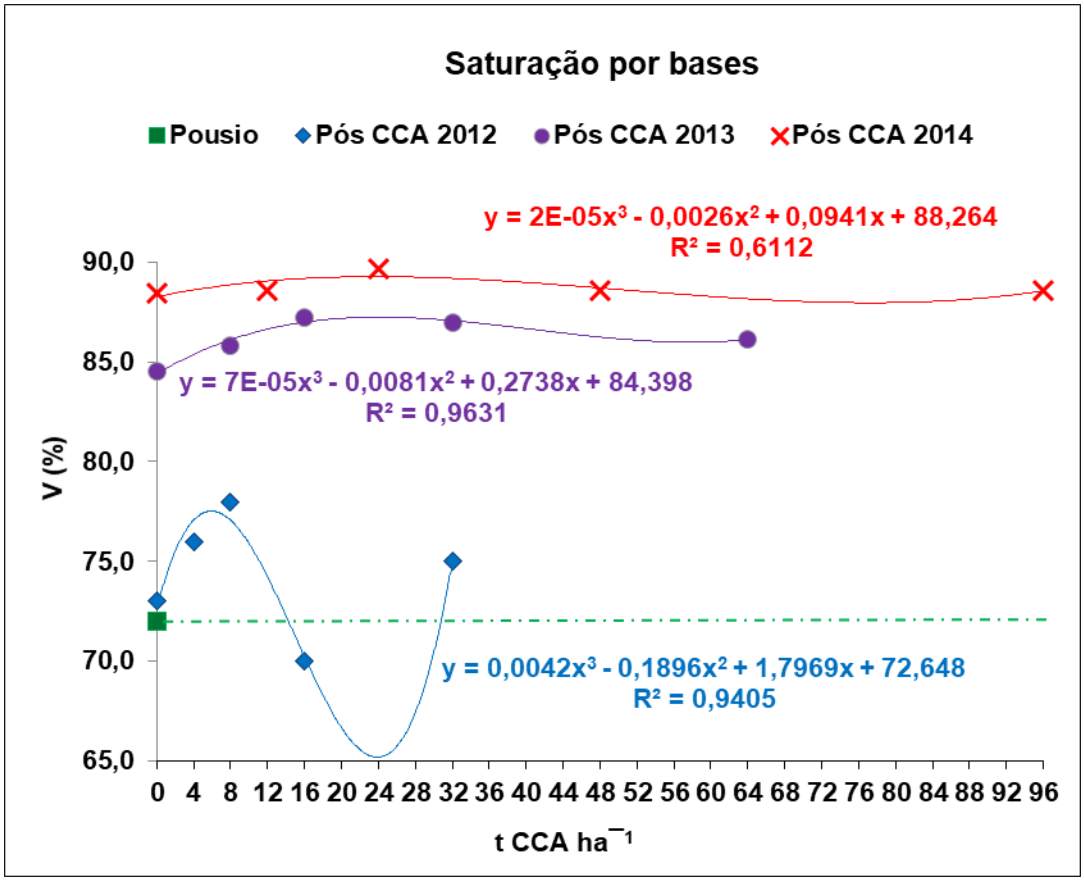

Figura 4 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e a saturação por bases (V%) na camada de 0,00 - 0,20 m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

A CTC efetiva da área em pousio era de 16,4 $cmol_c$ kg^{-1} e, após o preparo da área e primeira incorporação de CCA nos tratamentos em 2012, os valores médios caíram para valores entre 14,2 e 14,9 $cmol_c$ kg^{-1}. Essa variação apresenta uma relação negativa com as diferentes doses incorporadas e pode ser justificada em 74% pela adição da cinza (Fig. 5).

Na figura 5 observa-se que as variações da saturação por bases das amostras coletadas em 2013 apresentaram uma relação positiva, porém menos significativa (64%) que nos outros anos do experimento.

Foram observados valores médios elevados de CTC_{ef} nas amostras coletadas após a adição da última dose de CCA em 2014, cujos valores chegaram a ultrapassar o valor inicial do pousio nos tratamentos com 12 e 24 t CCA ha^{-1}.

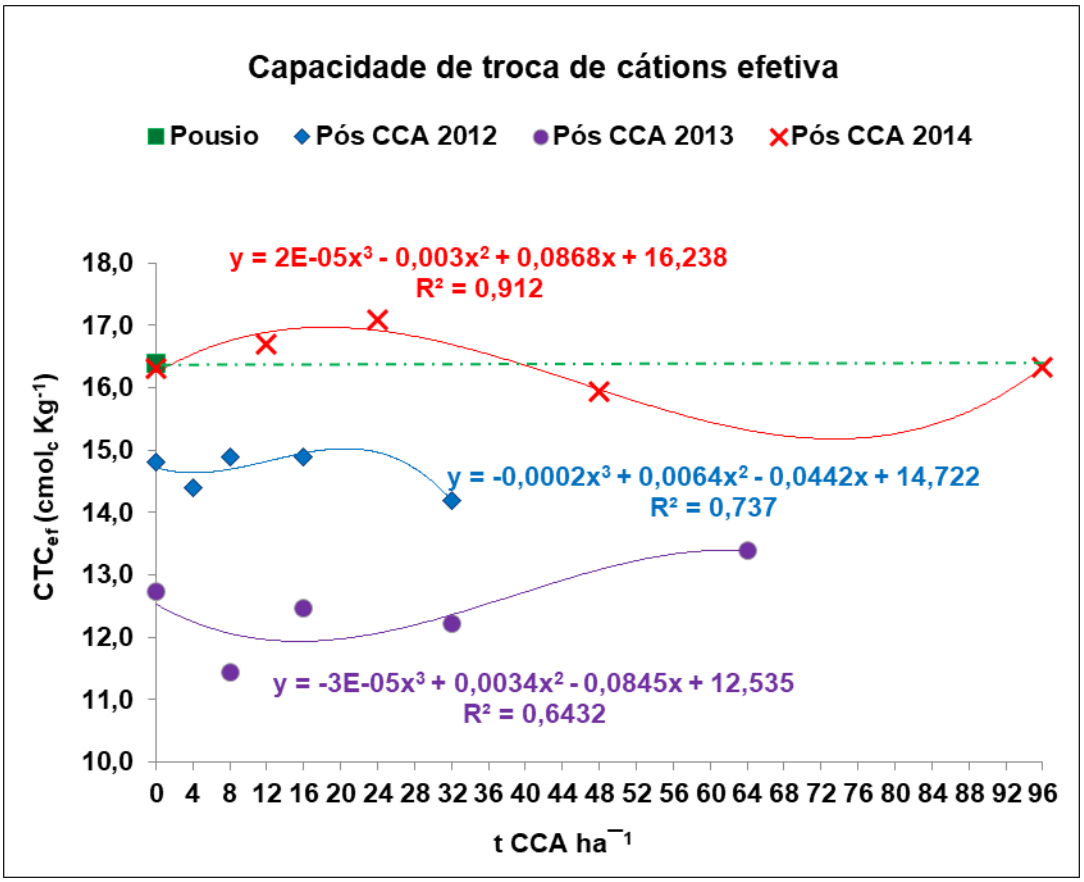

Figura 5 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e a capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_{ef}) na camada de 0,00 - 0,20 m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

Apesar da cinza possuir valores de 18,2 $cmol_c$ kg^{-1}, valor esse superior ao das argilas tipo 1:1 (3 a 15 $cmol_c$ kg^{-1}) (STRECK et al., 2002; SANTOS et al., 2013), os resultados obtidos não podem ser justificados apenas pela presença da cinza no solo, já que a parcela testemunha também apresentou valores elevados de CTC.

Na figura 6 observa-se que a saturação por alumínio, que inicialmente era zero na área em pousio (pós CCA 2012) e, apesar de não ser provável encontrar mais Al em pH em água acima de 5,6 pois este já deve ter sido todo precipitado na forma de $Al(OH)^3$ no pós CCA de 2012, sofreu uma oscilação e passou a 0,5% no tratamento com 4 t CCA ha^{-1} e 0,3% no tratamento com 32 t de CCA ha^{-1}. Tais variações não podem ser justificadas pela incorporação da CCA (Fig. 6).

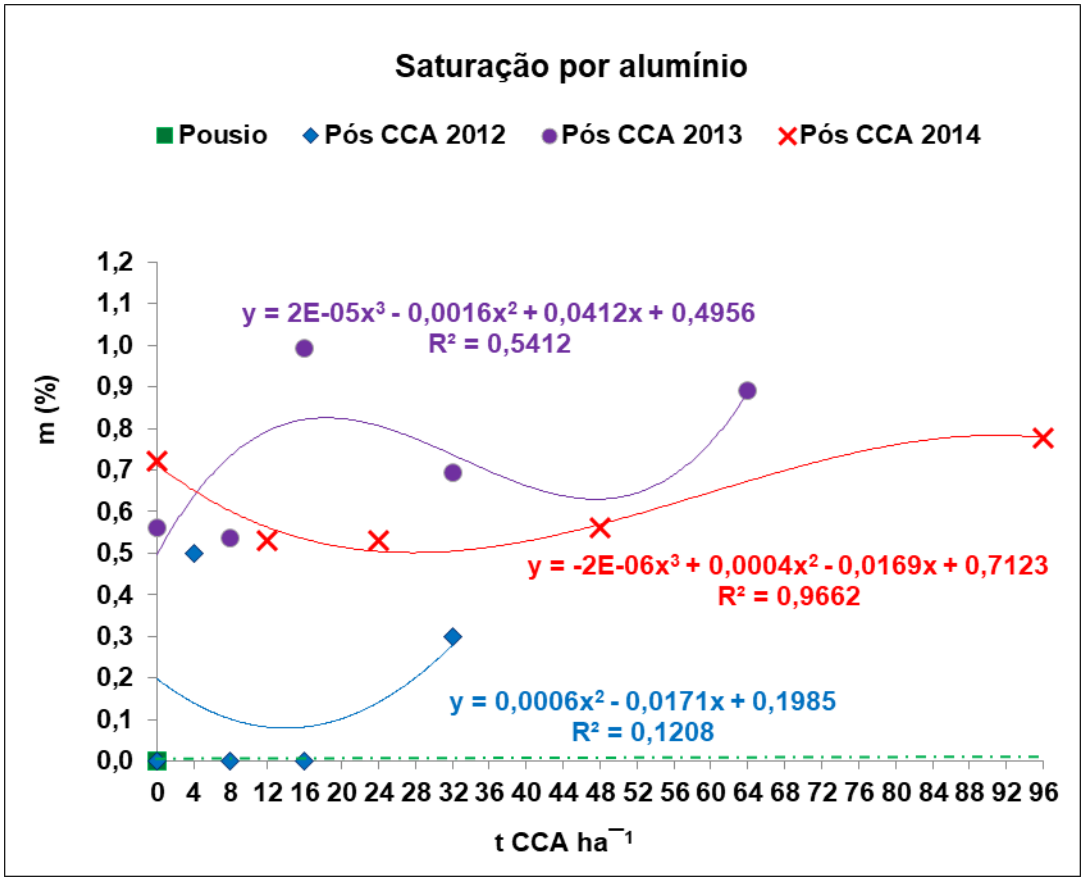

Figura 6 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e a saturação por alumínio (m%) na camada de 0,00 - 0,20 m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

Após a adição da cinza em 2013, a saturação por Al nos tratamentos oscilou entre 0,6% na testemunha e 0,9% no tratamento com 32 t de CCA ha^{-1} e essas variações nos valores médios da saturação por alumínio podem ser justificadas apenas em 54% devidas à incorporação da CCA no solo.

A amplitude de variação média da saturação de alumínio (m%) nas amostras 13 dias após a terceira adição de cinza no solo, em 2014, foram menores que no ano anterior, mas apresentam uma relação significativa e direta (97%) com as diferentes doses de CCA incorporadas no solo.

Os níveis de saturação por alumínio podem ser considerados de muito baixos (<1%) a baixos (1 – 10%) no solo da área, mesmo após o manejo e as incorporações de CCA (COMISSÃO..., 2004).

6.4.4. Potássio, cálcio e magnésio trocáveis

Pela figura 7, pode-se observar ao longo dos 3 anos do experimento, a amplitude dos teores de cálcio no solo ficou entre 7, 4 e 8,8 $cmol_c\ kg^{-1}$, sendo esse valor mais elevado observado no segundo ano na média das parcelas com 64 t CCA ha^{-1}.

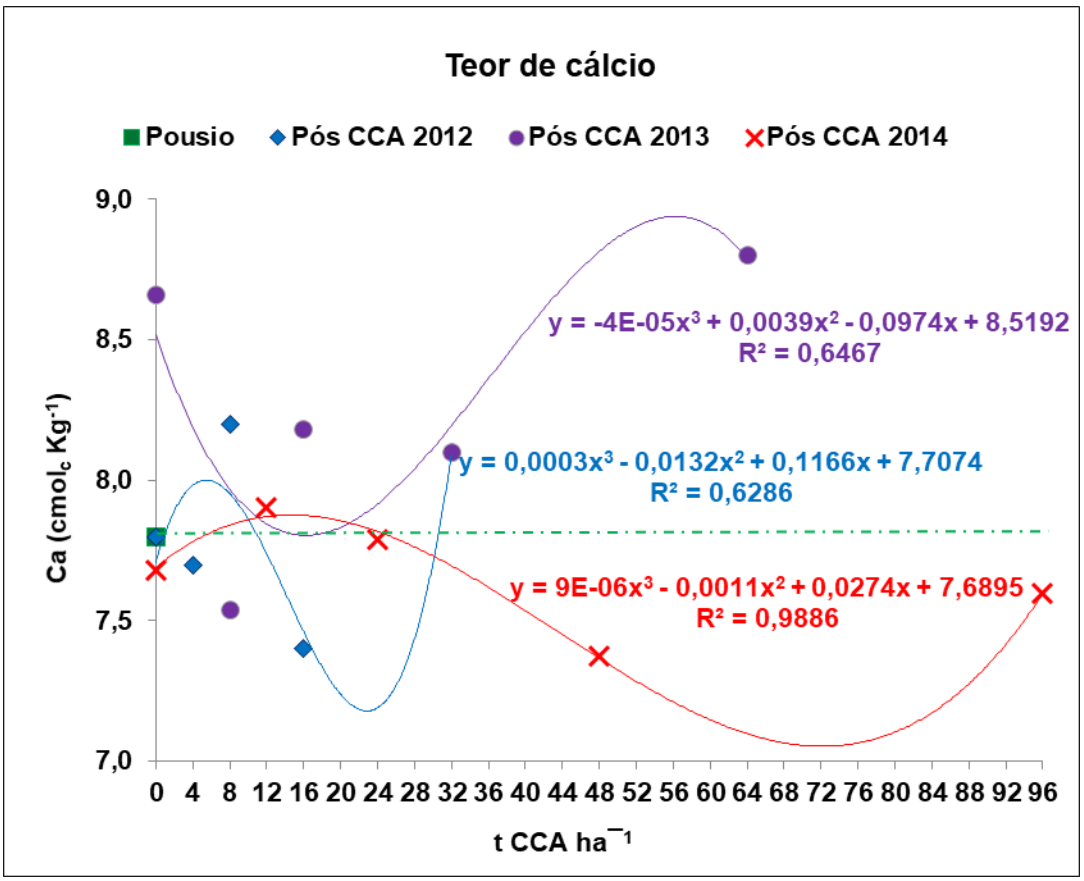

Figura 7 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e teor de Ca ($cmol_c\ kg^{-1}$) na camada de 0,00 - 0,20 m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

Dado que as parcelas testemunha apresentaram valores médios de Ca muito próximos aos tratamentos com as maiores dosagens de cinza incorporadas (96 t CCA ha^{-1}) identifica-se que as variações ocorridas no último ano estão mais relacionadas com o aporte de cinza no solo (Fig. 7).

O teor inicial de Mg no solo era de 3,8 $cmol_c$ kg^{-1} e os valores médios ficaram um pouco abaixo nos primeiros anos de incorporação, aproximam-se do pousio no segundo ano e no último ano dobram seus valores (Fig. 8).

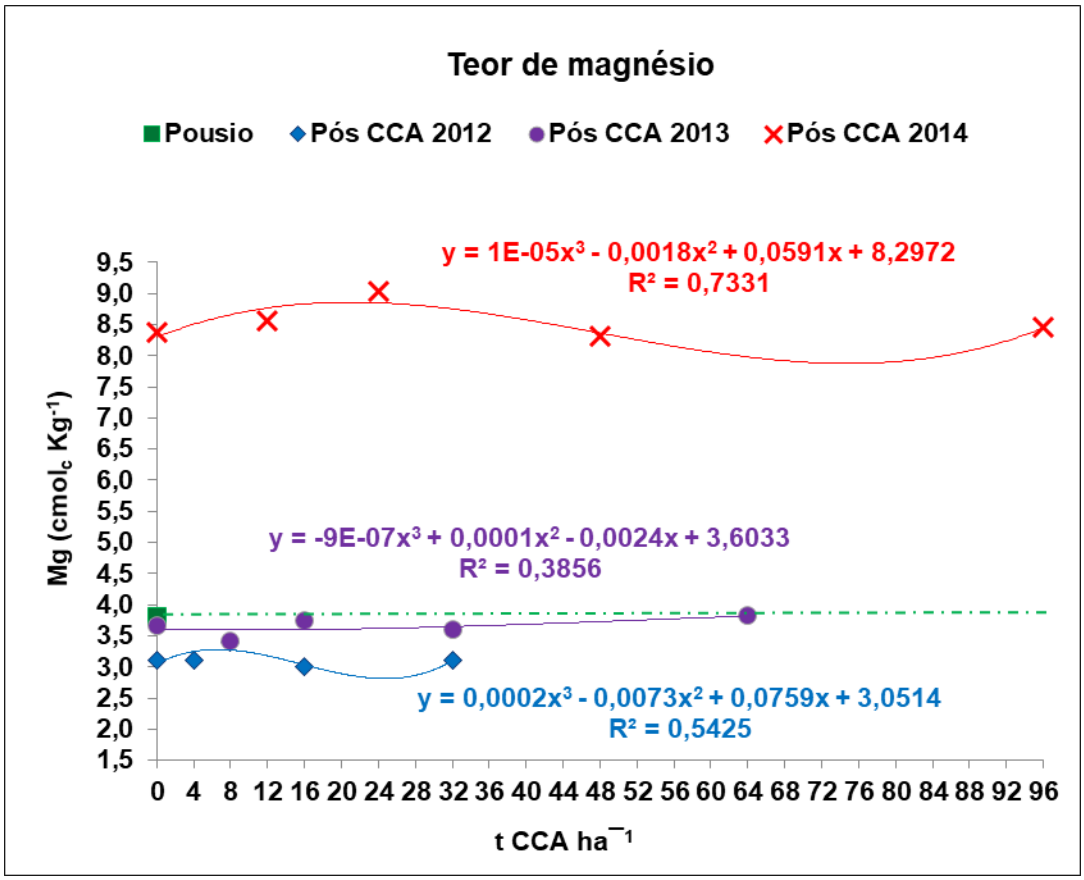

Figura 8 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e teor de Mg ($cmol_c$ kg^{-1}) na camada de 0,00 - 0,20 m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

Como a testemunha apresentou valores médios superiores aos de algumas parcelas com cinza acumulada, não se pode afirmar que essa elevação foi por efeito da cinza e, caso tenha sido, poderia ser em função da infiltração lateral da solução do solo contendo esse cátion no solo (Fig. 8).

Nolla et al. (2010) compararam o efeito da aplicação superficial de calcário, silicatos e casca de arroz carbonizada quanto à capacidade de fornecer nutrientes e corrigir a acidez do solo em solo arenoso ácido de mata natural e concluíram que a casca de arroz foi eficiente na fertilização cálcica e magnesiana.

Machado e Luz (2009) apresentaram a influência da adubação com cinza de casca de arroz nas características fenotípicas do arroz de sequeiro em um Latossolo Vermelho Amarelo e obtiveram como resultados alterações químicas consideráveis nos tratamentos testados, verificando um aumento nos valores do pH, P, Ca, Mg, Si e as bases em função das doses crescentes de cinza aplicadas ao solo.

A relação Ca/Mg 2,1 no pousio, oscilou entre 2,4 e 2,6 em 2012, entre 2,2, e 2,4 3m 2013 e, em 2014 manteve-se com o valor de 0,9 em todos os tratamentos, inclusive a testemunha.

Tanto os teores de Mg quanto os de Ca no pousio e tratamentos podem ser considerados altos: > 1,0 $cmol_c\ kg^{-1}$ e > 4,0 $cmol_c\ kg^{-1}$, respectivamente (COMISSÃO..., 2004).

As análises realizadas após a primeira incorporação de CCA ao solo mostraram uma redução acentuada nos teores médios de K em todas as parcelas da área experimental, provavelmente devido ao revolvimento da área e lixiviação do K (Fig. 9).

Ao longo dos três anos de avaliação, os teores de potássio de todas as amostras coletadas na área experimental apresentaram-se abaixo dos valores iniciais, todavia com patamares situados entre teores baixos (21 – 40 mg kg^{-1}) a altos (61 – 120 mg kg^{-1}) (COMISSÃO..., 2004).

Apesar da relação entre a variação dos valores médios de K no solo dos tratamentos ter sido insignificante no segundo ano do estudo (34%), em 2012 e 2014, foi direta e mais expressiva, respondendo por 73% e 99%, da variação do K nos tratamentos, respectivamente.

Entre os tratamentos da área experimental, a testemunha apresentou teores médios de K no solo inferiores aos tratamentos com CCA incorporada, exceto em 2012 (T0= 33 mg kg^{-1} > T2= 28 mg kg^{-1}) e em 2014 (T0= 35,8 mg kg^{-1} > T3= 33,8 mg kg^{-1}).

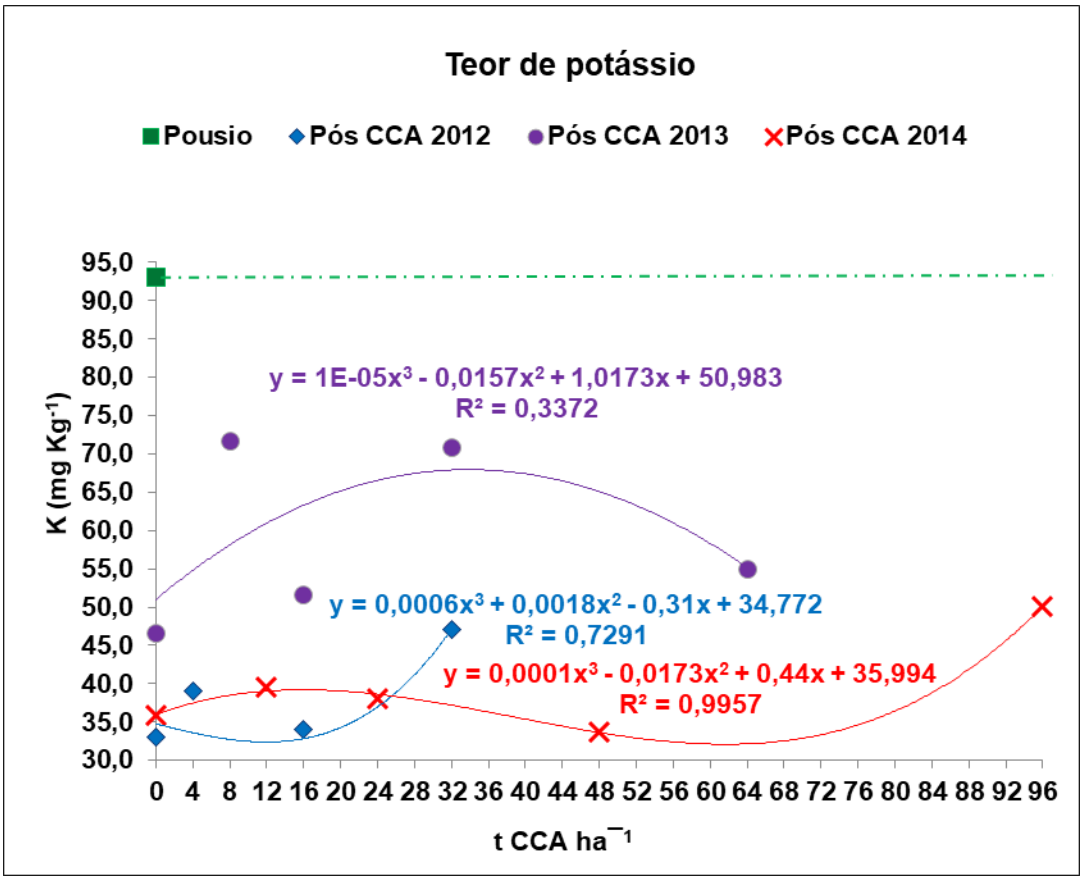

Figura 9 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e teor de K (mg kg^{-1}) na camada de 0,00 - 0,20 m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

Com relação aos cátions básicos, Reis et al. (2011) identificaram uma ordem decrescente, mais marcante no Mg, seguido pelo K, Ca e Na. Entretanto, consideraram que, devido ao curto período entre a aplicação dos tratamentos e as avaliações (15 dias), apesar do efeito da CCA ter sido marcante como corretivo de acidez, é provável que não tenha atingido o clímax. Concluíram que a CCA tem valor expressivo como corretivo de acidez e que é fonte de Ca, Mg e, especialmente, K.

6.4.5. Fósforo e enxofre

No primeiro ano de incorporação da CCA no solo, os teores médios de P nos tratamentos reduziram cerca de 50% em relação os teores iniciais (7,0 mg kg^{-1}) da área em pousio, sendo que a testemunha da área experimental foi a

que menos redução sofreu (4,5 mg kg^{-1}) e, no tratamento com 8 t ha^{-1} foi observada a maior redução de P (2,7 mg kg^{-1}) (Fig. 10).

Considerado o teor de argila do solo (26%) e o manejo da cultura irrigada por alagamento, os teores de P oscilaram entre muito baixo (≤ 4,0) a baixo (4,1 – 8,0) (Fig. 10).

As amostras coletadas após a adição das CCA em 2013, apresentaram redução dos tores médios de P no solo em relação em ano anterior em todos os tratamentos, exceto o tratamento com 8 t ha^{-1} que se manteve estável.

As amostras de solo coletadas após a incorporação das CCA em 2014, apresentaram teores bem mais elevados de P que o ano anterior. A variação nos teores de P apresentada entre os tratamentos desse ano, pode ser justificada em 98% como efeito das cinzas.

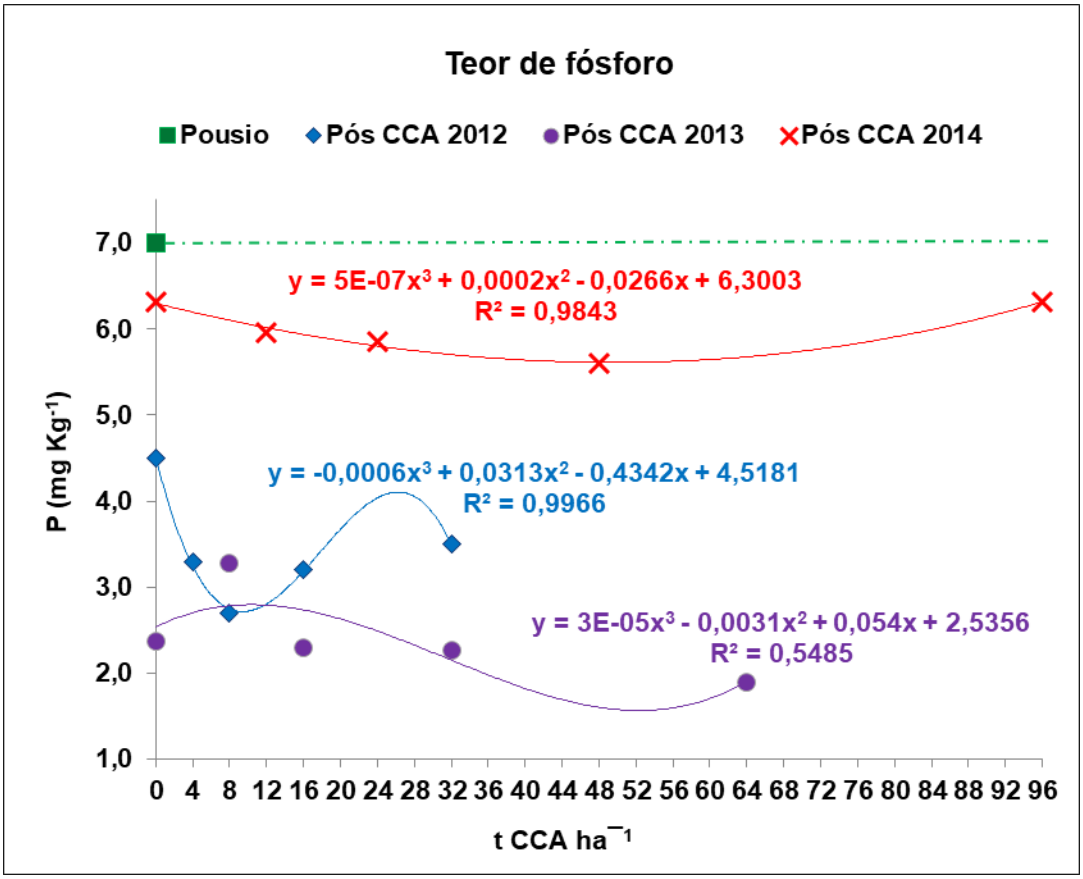

Figura 10 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e teor de P (mg kg^{-1}) na camada de 0,00 -0,20 m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

Percebe-se pela figura 10, que o tratamento com 96 t ha^{-1} apresentou teores de P iguais aos valores médios do tratamento testemunha (e mais próximo ao pousio), o que pode indicar que doses mais elevadas de cinza podem contribuir para elevar os teores de P no solo.

Considerando o pousio (7,0 mg kg^{-1}), o período em que os tratamentos apresentaram os melhores valores para o P, foi no pós CCA 2014. Como a testemunha apresentou valores iguais ao tratamento com 96 t CCA ha^{-1}, os resultados provavelmente possam ser atribuídos ao manejo com máquinas leves, incorporação da resteva e consequente elevação da MOS.

De acordo com a Comissão de Fertilidade (2004), para o teor de argila (26%) do solo da área onde se encontra o experimento, os teores de enxofre, encontram-se em níveis considerados altos (> 5,0 mg/Kg^{-1}) (Fig. 11).

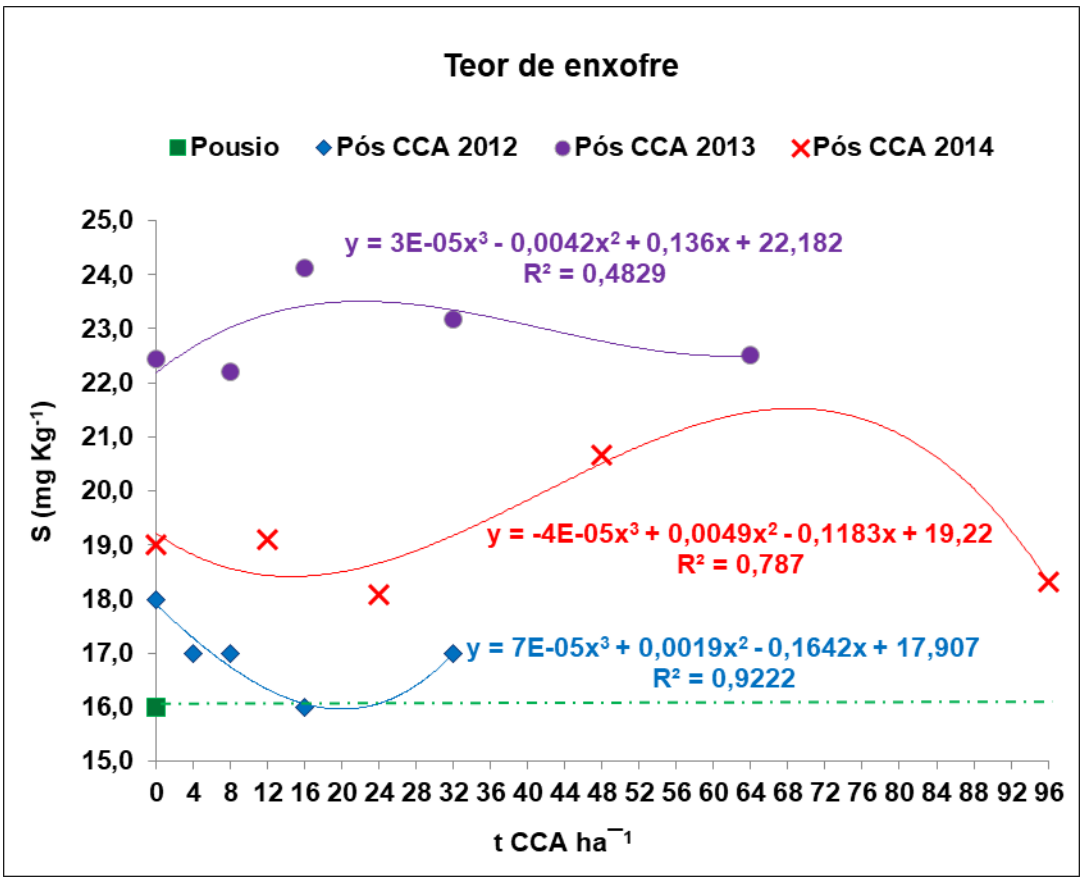

Figura 11 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e teor de S (mg kg^{-1}) na camada de 0,00 - 0,20 m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

Na figura 11 observa-se que no primeiro ano de incorporação da cinza no solo, os teores de S dos tratamentos sofreram a maior variação em relação ao pousio, exceto o tratamento com 16 t ha^{-1}, que apresentou um teor de S igual ao da área inicial. A variação ocorrida apresenta uma relação positiva com a incorporação da cinza no solo e é fortemente influenciada por ela (92%).

Nos dois anos subsequentes, observou-se um aumento nos teores de enxofre no solo, em relação ao ano de 2012, inclusive na testemunha sem cinza incorporada, no entanto a relação com o aumento das doses é inversa.

6.4.6. Cobre, ferro, manganês, zinco e sódio

Os teores médios de Zn encontrados do pousio foram de 1,6 mg kg^{-1} e a maior amplitude de variação ocorreu no primeiro ano de incorporação da cinza no solo (Δ= 0,7 mg kg^{-1}) (Fig. 12).

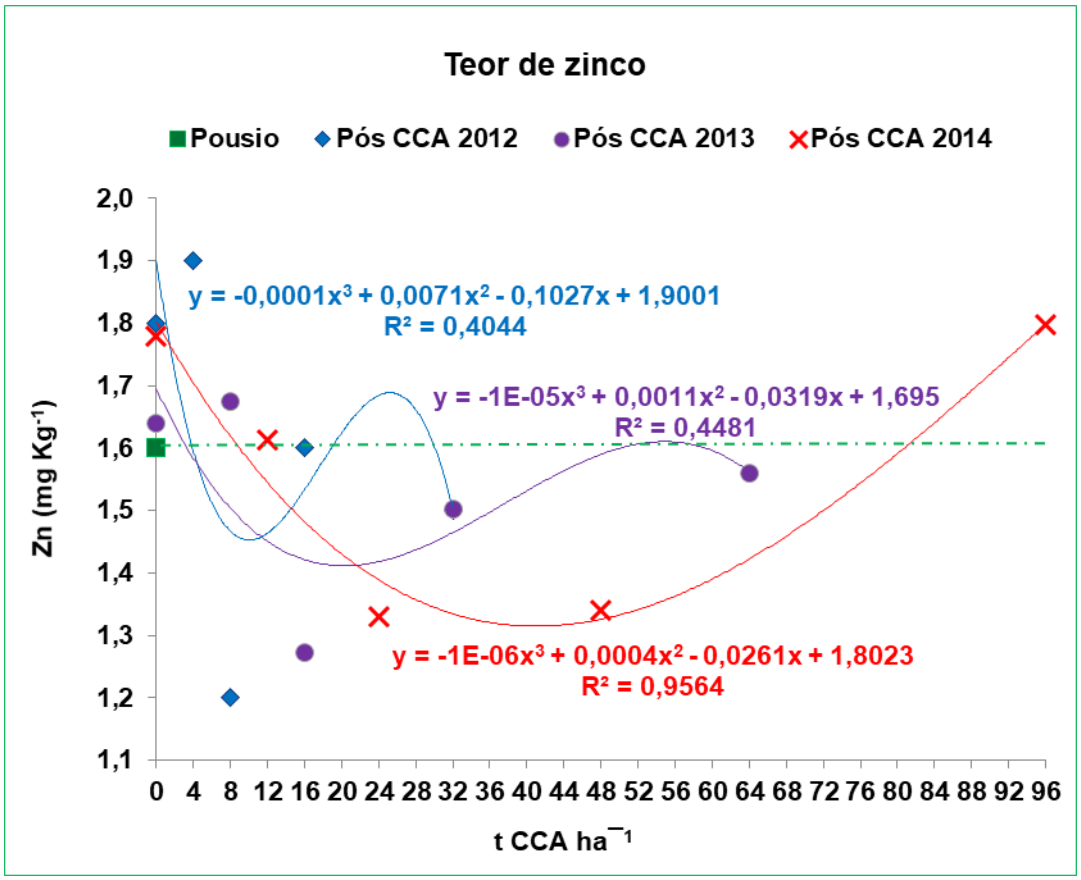

Figura 12 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e teor de Zn (mg kg^{-1}) na camada de 0,00 - 0,20 m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

Pela figura 12 é possível observar que, em 2012, o tratamento com 4 t CCA ha^{-1} apresentou teores médios de Zn da ordem de 1,9 mg kg^{-1}, enquanto que o tratamento com o dobro de cinza (8 t CCA ha^{-1}) apresentou teores médios de 1,2 mg kg^{-1}, o menor observado nos três anos do estudo. Apenas em 2014 observou-se uma tendência de aumento nos teores médios e Zn influenciados por doses maiores de CCA (94%).

Os teores iniciais de Cu na camada de 20 cm da área em pousio foram de 4,5 mg kg^{-1}. Após o manejo do solo e a incorporação das primeiras doses de CCA, ocorreu um incremento nos teores de Cu do solo, inclusive da testemunha, com uma amplitude de variação de 0,6 mg kg^{-1}. A relação com as diferentes doses de CCA foi negativa e pouco significativa no primeiro ano (49%) (Fig. 13).

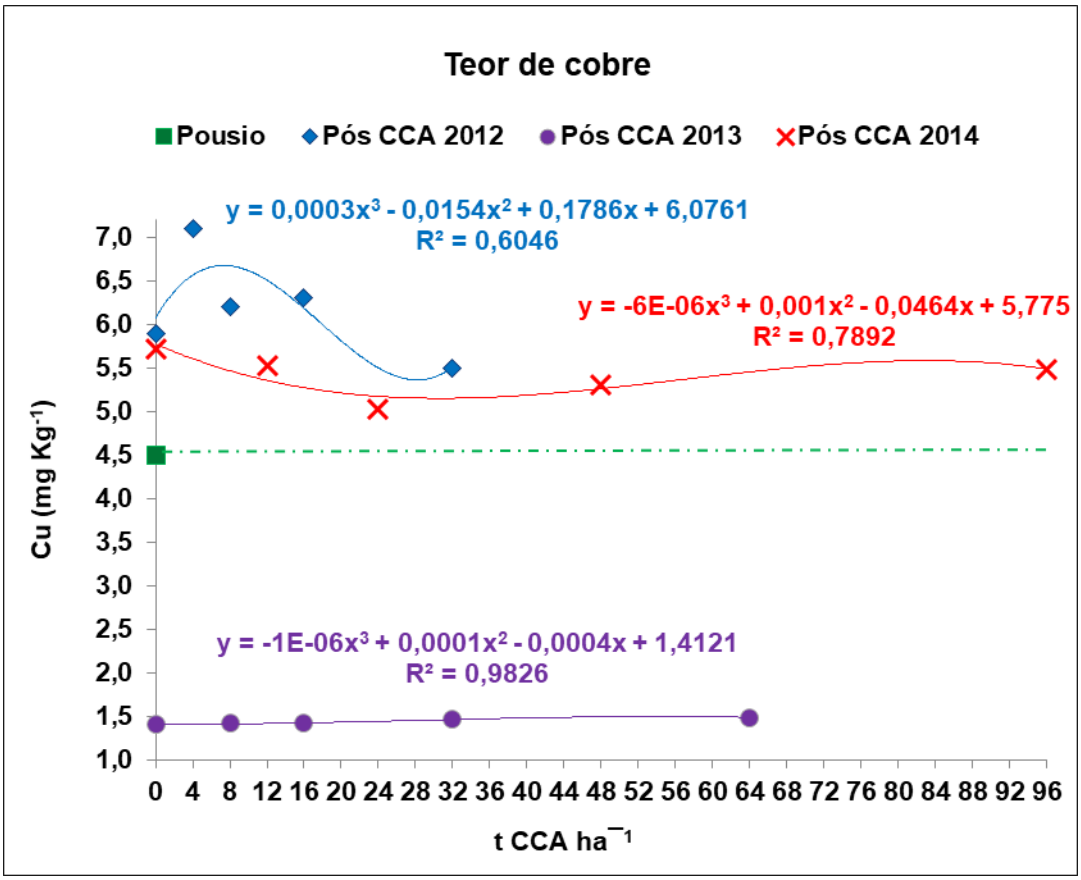

Figura 13 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e teor de Cu (mg kg^{-1}) na camada de 0,0 -0,20m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

Após a incorporação cumulativa de cinza no solo no ano seguinte (2013), os teores de cobre no solo sofreram uma redução significativa e as variações apresentadas podem ser justificada em 98% pelas incorporações de cinza no solo. As amostras de solo coletadas em 2014 apresentaram teores de Cu superiores ao pousio e uma alta relação (79%) com os aportes de cinza. A testemunha apresentou valor médio superior ao tratamento com 96 t ha^{-1} (Fig. 13). De acordo com a Comissão de Fertilidade (2004), tanto os teores de Zn (Fig.12) quanto de Cu (Fig. 13) são considerados altos em toda a área, (> 5,0 mg kg^{-1}) e (> 4,0 mg kg^{-1}), respectivamente.

O alto teor de Mn (> 5,0 mg kg^{-1}) no solo dos tratamentos teve oscilações consideráveis durante o período de condução do experimento, saindo de um patamar de 134 mg kg^{-1} no pousio para 77 mg kg^{-1} no tratamento com 8 t ha^{-1} no pós CCA 2012 e atingindo 247 t ha^{-1} na testemunha do período pós CCA 2014 (Fig. 14).

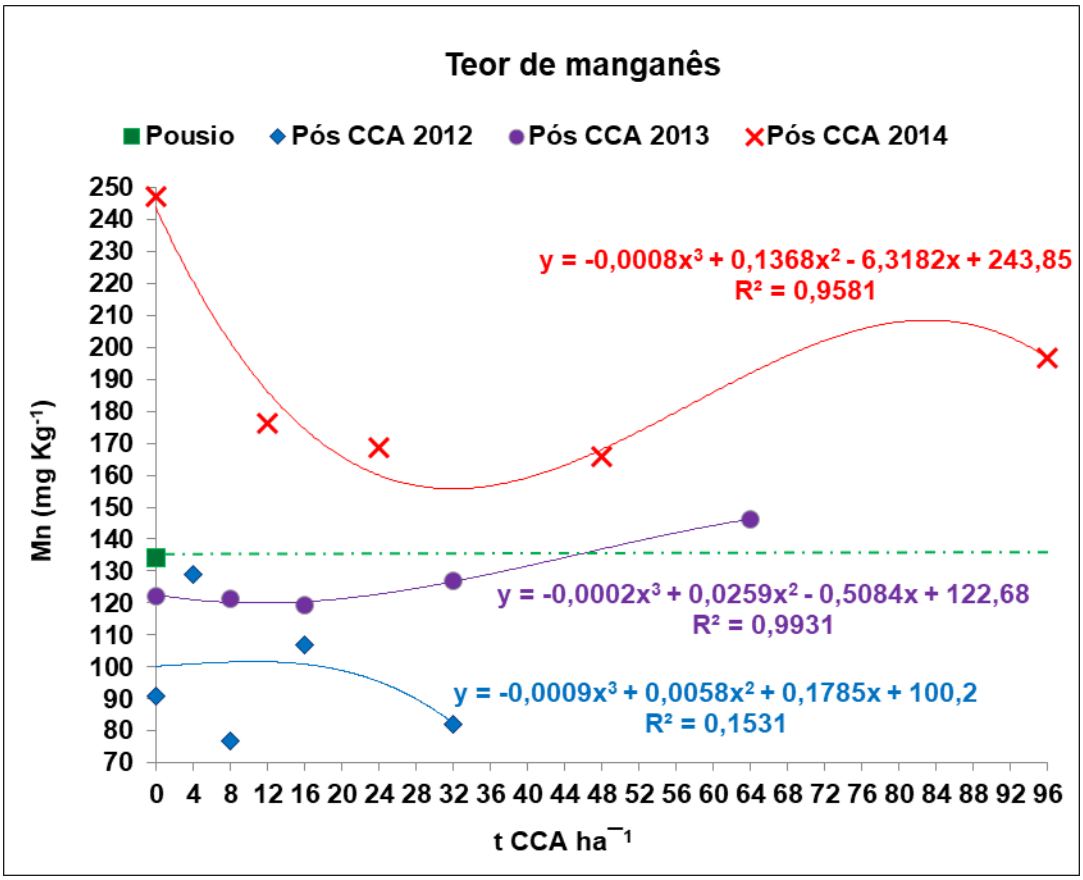

Figura 14 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e teor de Mn (mg Kg^{-1}) na camada de 0,0 -0,20m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

Com exceção do período pós CCA 2012, as variações ocorridas nos teores de Mn no solo das amostras coletadas em 2013 e 2014, apresentam uma relação bastante significativa com o aporte das doses de CCA no solo, respondendo por 99% e 96% das variações, respectivamente (Fig. 14).

No período pós CCA 2013 foram observados os maiores teores de Fe nas amostras, que oscilaram entre 0,9 e 1,0%. Ambas, testemunha e tratamento com 32 t ha^{-1} de CCA, apresentaram 1,0% de Fe (Fig. 15).

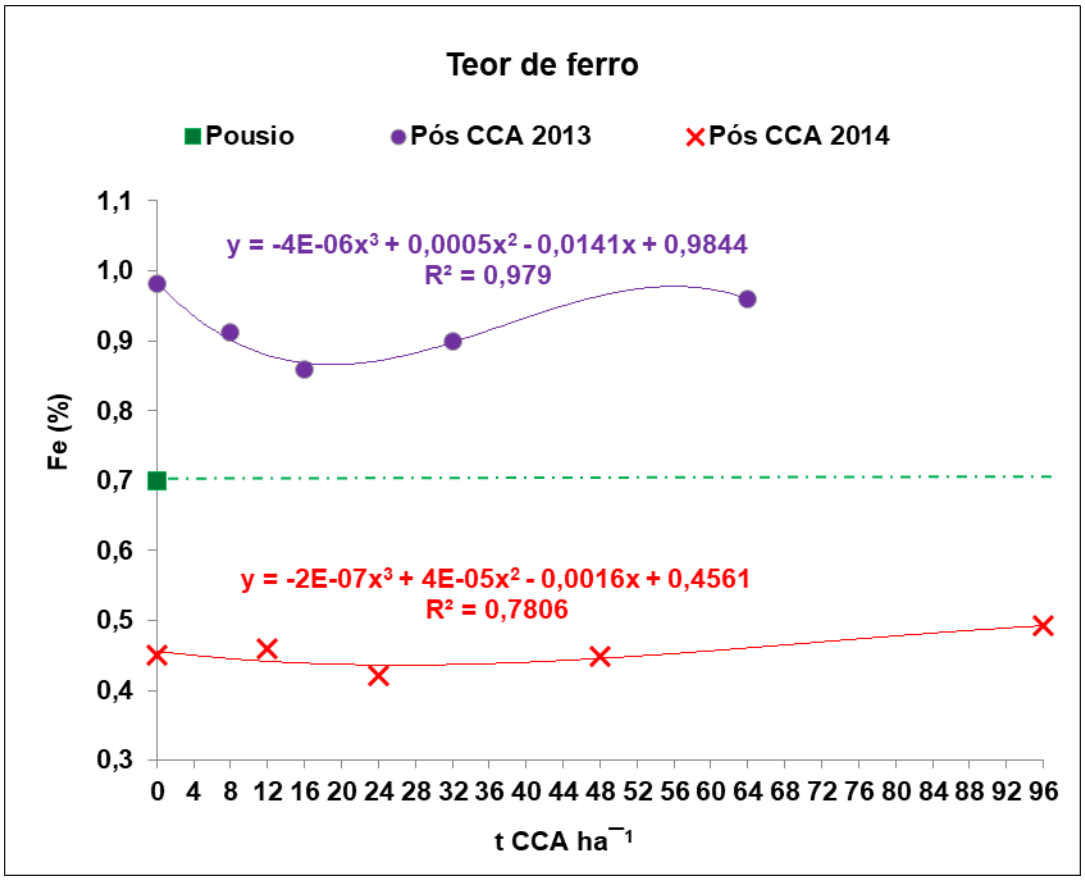

Figura 15 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e teor de Fe (%) na camada de 0,0 - 0,20m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

Os valores encontrados nas amostras coletadas dos tratamentos dos períodos pós CCA 2013 e pós CCA 2014, apresentaram relação com a adição de cinza e, as variações nas porcentagens de Fe puderam ser justificadas pelas diferentes doses de CCA em 98% e 78%, respectivamente.

Nas amostras coletadas no período pós CCA 2014, percebeu-se uma estabilização em torno de 0,4% a 0,5% de Fe em todos os tratamentos, um valor mais próximo do pousio (0,7%) (Fig. 15).

Em 2012 as amostras de solo foram enviadas para análise no laboratório do IRGA que não estava realizando tal avaliações de Fe e Na.

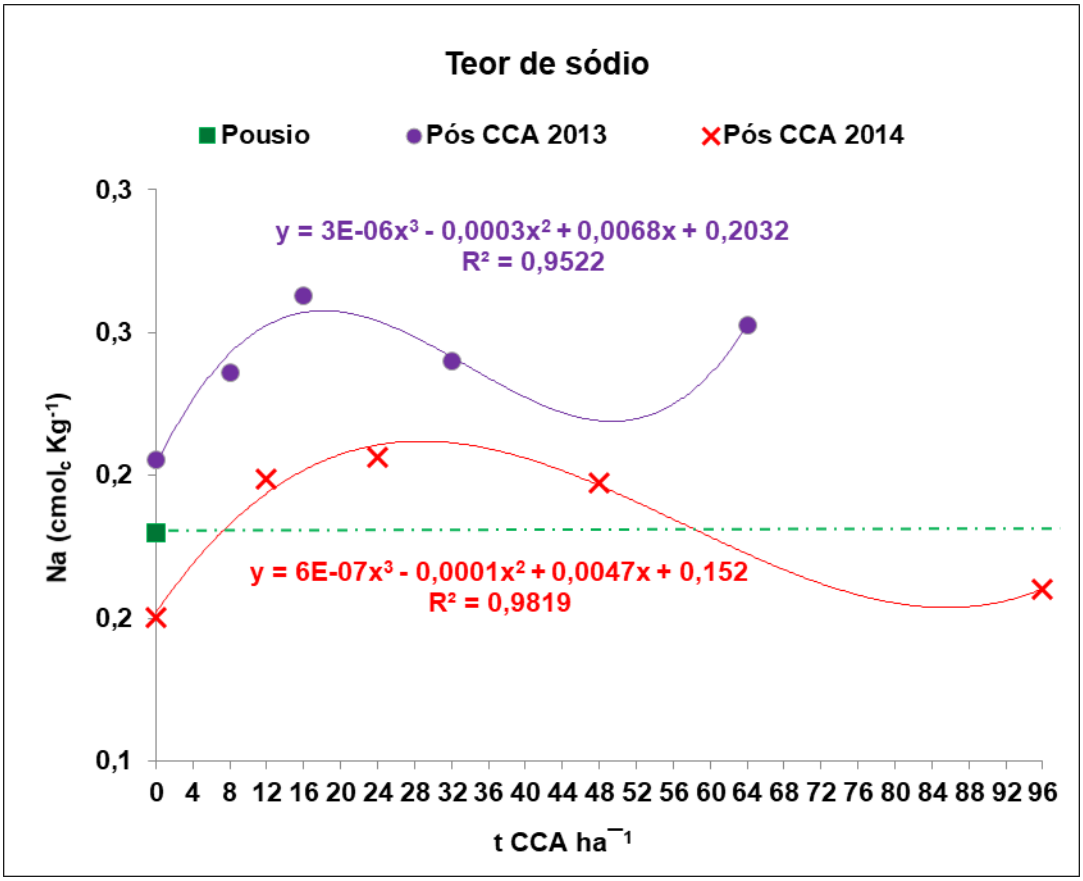

Figura 16 - Relação entre doses de cinza de casca de arroz e teor de Na ($cmol_c\ kg^{-1}$) na camada de 0,0 - 0,20m na área em pousio e nos tratamentos. Pousio: coletas em 13/7/2012; Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

Os teores médios de Na encontrados na área em pousio foram de 0,2 $cmol_c\ Kg^{-1}$ e se mantiveram com uma amplitude de variação da ordem de 0,1 $cmol_c\ Kg^{-1}$. As variações ocorridas dos tratamentos apresentaram uma elevada relação com as doses de cinza no solo tanto no pós CCA 2013 e 2014 (77%).

6.5. CONCLUSÕES

O manejo adotado, com a manutenção e incorporação da resteva aliada à incorporação da cinza, contribuiu para o aumento de pH, da saturação de bases, da CTC efetiva e dos teores de potássio e magnésio trocáveis.

6.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADOLPHO, D. O.; SILVA, M. F. M. M. DA; JORGE, R. R.; MACHADO, R. F.; NEUMANN, S. A.; CAZABONET, L. R.; PYDD, E. B. Efeitos da adubação com cinza de casca de arroz em parâmetros produtivos de arroz irrigado. XII Conferência Internacional de Arroz para América Latina e Caribe – 23 a 26/02/2015 – Porto Alegre, RS. Anais eletrônicos... Porto Alegre, RS. 2015.

AIRES, R. K. A ação da casca de arroz queimada sobre nematoide da cenoura e atributos químicos do solo. Tese (Doutorado em Ciências, área de concentração Fitotecnia). 2012, 80p. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2014.

BARBETTA, P. A. et al. Estatística aplicada às ciências sociais. 8. ed. Florianópolis: UFSC, 2012. 318 p.

BERNI, Rodrigo Fascin. Efeito da cinza da casca do arroz no controle da brusone nas folhas do arroz. Pesquisa Agropecuária Tropical. 31, n. 1, jan./jun. 2001.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos. 3. ed. – Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRASIL. Decreto n° 4954, de 14/01/2004. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 15 jan. 2004. Seção 1, p. 2.

CAAL – Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda. Disponível em: <http://www.caal.com.br/site/noticias>. Acesso em: 2/jan./2015.

CARLESSO, R.; MICHELON, C. J.; PETRY, M. T.; DE DAVID, G.; DALLA SANTA, C. Qualidade física de solos irrigados do Estado do Rio Grande do Sul. Ciência Rural, v.37, n.5, set-out, 2007.

CARLESSO, R.; MICHELON, C. J.; PETRY, M. T. Qualidade física de solos irrigados por aspersão no Brasil. In CYTED – Red de Riego de Iberoamerica Disponível em: <http://ceer.isa.utl.pt/cyted/mexico2006/tema%202/8_RCarlesso_Brazil.pdf>. Acesso em: março/2016.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre: SBCS-CQFS, 2004. 400 p.

DELLA, V. P., KÜHNA, I.; HOTZA, D. Reciclagem de resíduos agro-industriais: cinza de casca de arroz como fonte alternativa de sílica. Cerâmica Industrial, 10 (2) Março/Abril, 2005. Disponível em: <http://www.ceramicaindustrial.org.br/pdf/v10n02/Publicado_v10n2a03.pdf.>. Acesso em: Dez./2011.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solos. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER DO RIO GRANDE DO SUL – FEPAM. Diretriz Técnica Nº 002/2011 – DIRTEC: gestão de resíduos caracterizados como casca de arroz e cinzas resultantes do processo de queima da casca. FEPAM. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/Diret_Tec_02_2011.pdf>. Acesso em: Out./2014.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.). Methods of soil analysis. 2nd ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. pt.1, p.383-411.

GREEN, C; A VAN GRIENSVEN,. Autocalibration in hydrologic modeling: Using SWAT2005 in small-scale watersheds. Environmental Modelling & Software, [s.l.], v. 23, n. 4, p.422-434, abr. 2008. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.06.002. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815207001168>. Acesso em: 18 out. 2016.

ISLABÃO, Gláucia Oliveira. Uso da cinza de casca de arroz como corretivo e condicionador do solo. 2013. 80p. Tese - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Solos. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - Brasil.

ISLABÃO, G. O. et al. Hydro-Physical Properties of a Typic Hapludult under the Effect of Rice Husk Ash. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2016; v40:e0150161.

JORGE, R. R.; SILVA, M. F. M. M DA.; VAHL, L. C.; TIMM, L. C.; MACHADO, R. F.; NEUMANN, S. A.; Efeitos da adubação com cinza na fertilidade de um Neossolo Litólito eutrófico. In: X REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, 16 e 17 de outubro de 2014, Pelotas. Anais eletrônicos (card drive)... Pelotas, RS. 2014.

KARMAKAR, S.; MITTRA, B.N.; GHOSH, B.C. Influence of industrial solid wastes on soil-plant. Interactionin rice under acid lateritic soil. In: World of Coal Ash (WOCA) Conference; 2009; Lexington.Lexington, KY: 2009. p.1-13

KATH, A. H.; MARQUES, G. C.; VAHL, L. C.; Cinza de casca de arroz, lodo de estação de tratamento de esgoto e esterco bovino como fontes de nutrientes para a cultura do trigo. In: IX REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO

SOLO, 08 a 09 de novembro de 2012, Lages. Anais eletrônicos (CD)... Lages, SC, 2012.

KATH, A. H.; ISLABÃO, G. O.; PAUL, D. L.; SOUSA, R. O. de; VAHL, L. C. Efeito residual da cinza de casca de arroz na disponibilidade defósforo e silício no solo.In: XIV ENCONTRO DA PÓS-GRADUAÇÃO UFPEL. **Anais...**Disponível em: <http://www2.ufpel.edu.br/enpos/2012/anais/pdf/CA/CA_00591.pdf>. Acesso em: Out../2012.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: Klute A, editor. Methodsof soil analysis; physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy;1986. Pt 1. p.425-42.

KIEHL, E. J.; Manual de Edafologia. São Paulo, SP: Editora Ceres, 1979.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: Black CA, editor. Methods of soil analysis;Physical and mineralogical methods. Madison: American Society of Agronomy; 1986. p.635

KLEIN, V. A. Física do Solo. 2ed. Passo fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2012. 240p.

LEITE, L. F. C.; ARAUJO A. S. Ecologia microbiana do solo. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. 24 p.; 21 cm. Documentos / Embrapa Meio-Norte. ISSN 0104-866X 164.

MASULILI, A.; UTOMO, W. H.; SYECHFANI, M. S. Rice husk biochar for rice based cropping systemin acid soil. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties ofacid sulfate soils and rice growth in west Kalimantan, Indonésia. J Agric Sci. 2010;2:39-47.doi:10.5539/jas.v2n1p39.

MORIASI, D. N. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the Asabe, [s.l.], v. 50, n. 3, p.885-900, 2007. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). http://dx.doi.org/10.13031/2013.23153. Disponível em: <https://www.scienceopen.com/document?vid=0407b969-7eb9-4361-83ea-b7e5c5225ea3>. Acesso em: 19 jan. 2016.

NASIRI, M.; LOTFALIAN, M.; MODARRES, A.; WU, W. Use of rice husk ash as a stabilizer to reduce soil loss and runoff rates on sub-base materials of forest roads from rainfall simulation tests. Catena 150: 116–123. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.11.010.

PALMEIRA, P. R. T.; PAULETTO, E. A.; TEIXEIRA, C. F. A.; GOMES, A. S.; SILVA, J.B. Agregação de um Planossolosubmetido a diferentes sistemas de cultivo. Rev Bras Cienc Solo. 1999;23:189-95.doi:10.1590/S0100-06831999000200001

PAUL, D. L.; ISLABÃO, G. O.; VAHL, L. C.; TIMM, L. C.; PAULETTO, E. A. Caracterização física de argissolo com cinza de casca de arroz. CIC 2011.

Disponível em: < http://www.ufpel.edu.br/cic/2011/anais/pdf/CA/CA_00573.pdf > Acesso em: Jan./2012.

PAULETTO, E. A.; NACHTIGALL, G. R.; GUADAGNIN, C. A. Adição de cinza de casca de arroz em dois solos do município de Pelotas, RS. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 14:255-258, 1990.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; GOMES, A.S.; TURATTI, A.L. & CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. Pesq. Agropec. Bras., 36:709-715, 2001.

RABOT, E., WIESMEIER, M., SCHLÜTER, S.; VOGEL, H.-J. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. Geoderma. Volume 314, 15 de março de 2018, páginas 122-137. Disponível em:<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>. Acesso em: 19/nov./2017.

RAMESH, V.; KORWAR, G. R.; MANDAL, U. K.; PRASAD, J. V. N. S.; SHARMA, K. L.; YEZZU, S. R.; KANDULA, V. Influenceof fly ash mixtures on early tree growth and physicochemical properties of soil in semi-aridtropical Alfsols. Agrofor Syst. 2008;73:13-22. doi:10.1080/03601234.2012.669288.

REIS, L. E; XAVIER, F. M; ISLABÃO, G. O; VAHL, L. C; TIMM, L. C. Cinza de casca de arroz como corretivo de acidez do solo. In: 21^{0} CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA UFPEL, Pelotas, 2011. Anais eletrônicos... Pelotas: CIC, 2011. Disponível em: <http://www.ufpel.edu.br/cic/2011/anais/pdf/CA/CA_00564.pdf> Acesso em: 10 de out. 2014

SALÉ, L. Y.; CHANASYK, D. S.; NAETH, M. A. Temporal influence of fly ash on select soil physicalproperties. Can J Soil Sci. 1997;77:677-83. doi:10.4141/S96-078.

SANTOS, H. G. dos [et al]. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 3 ed. rer. ampl..- Brasília, DF: EMBRAPA, 2013. 353 p.

SAVANT, A. S.; PATIL, V. H.; SAVANT, N. K. Rice hull ash applied to seedbed reduces dead hearts in transplanted rice. International Rice Research Notes, Los Baños, v.19, n.4, p.21-22, 1994.

SILVA, F. F.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; MUNIZ, A. S.; R. C. FERREIRA. 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, Vol. 1, No. 1. 2008.

SILVA, M. F. M .M da. VAHL, L.C.; TIMM, L.C.; JORGE, R.R.; MACHADO, R. F. Impacto da adição da cinza da casca de arroz na água percolada de solo sob cultivo de arroz, soja e milho. In: XX CONGRESO LATINOAMERICANO Y XVI CONGRESO PERUANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 09-15 de novembro de 2014, Cusco. Anais eletrônicos... Cusco, Peru. 2014.

SILVA, M. F. M. M da. CASTILHOS, D. D.; VEÇOSI, T. A.; TIMM, L. C.; JORGE, R. R.; VAHL, L. C. Parâmetros biológicos de um Neossolo Regolítico submetido à incorporação de diferentes dosagens de cinza de casca de arroz. In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 11-14 de agosto de 2015, Porto Alegre. Anais eletrônicos... Porto Alegre, RS. 2015.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. Solos do Rio Grande do Sul. 2.ed. rev. e ampl. Porto Alegre: Emater/RS, 2008. 222p.

WALKLEY, A. & BLACK, J.A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science, 37: 29-38, 1934.

YODER, R. A. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature oferosion losses. Agron J. 1936;28:337-51. doi:10.2134/agronj1936.00021962002800050001x.

LEITE, L. F. C.; ARAUJO A. S. Ecologia microbiana do solo. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. 24 p.; 21 cm. Documentos / Embrapa Meio-Norte. ISSN 0104-866X 164.

7. Artigo 3 - ANÁLISE TEMPORAL DOS PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS DE UM NEOSSOLO SUBMETIDO À INCORPORAÇÃO SUCESSIVA DE CINZA DA CASCA DE ARROZ

7.1. RESUMO

Face aos elevados custos com energia elétrica, as agroindústrias têm usado a biomassa casca para gerar sua própria energia, mas produzindo grandes volumes de cinza. Alguns trabalhos científicos têm sido publicados mostrando que a cinza pode melhorar a estrutura do solo e suas propriedades físicas, é corretiva da acidez do solo, melhora a fertilidade e a produtividade, é benéfica para a microbiota do solo e não apresenta riscos de contaminação de corpos hídricos pela percolação. Portanto, existe a necessidade de que se avalie o potencial de utilização da CCA na agricultura bem como seus possíveis impactos sobre os recursos naturais, justificando o presente trabalho. O estudo foi realizado no município de Alegrete (RS),em NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com cinco doses de CCA, equivalentes a 0, 4, 8, 16 e 32 Mg/ha, e quatro repetições. Foi adotada a área em pousio em torno do experimento como testemunha absoluta, livre de perturbações. Os dados foram submetidos à análise regressão e de variância (ANOVA) e, quando houve significância estatística, foram realizados testes de média (Tukey a 5%) utilizando o programa estatístico Assistat. A adição de CCA no solo estudado promoveu um incremento no CBMS e da qualidade nutricional da microbiota, indicando que a mesma possa estar se beneficiando do C contido na CCA e o decréscimo dos valores de qCO_2 indicam que o tipo de solo do experimento tende à estabilidade. Nas condições climáticas do experimento, e considerando o tipo de solo da área, a incorporação de até 64 t de CCA ha^{-1}, não provoca impactos negativos para a microbiota do solo.

7.2. INTRODUÇÃO

De acordo com Doran e Parkin (1994), bioindicadores ou parâmetros biológicos são propriedades, processos biológicos ou respostas de microrganismos que ocorrem no interior do solo e que podem ser utilizados no biomonitoramento da qualidade do mesmo.

Estão diretamente relacionados com a estrutura e desenvolvimento do solo, pois são agentes promotores da estabilidade dos agregados e melhoram a aeração e a drenagem do perfil. Além disso, são responsáveis pelos processos de transformação da matéria orgânica e a ciclagem de nutrientes no solo (VEZZANI et al., 2008; GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008 BROOKES, 1995).

Os indicadores biológicos são parâmetros sensíveis e evidenciam rapidamente as mudanças no ambiente do solo em função do sistema de manejo adotado, pois refletem os efeitos dessas interferências nos microrganismos do solo.

A microbiota do solo é definida como o componente vivo da matéria orgânica do solo excluindo-se a macrofauna e as raízes das plantas e está constituída basicamente por organismos vivos como fungos, bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários e microfauna. Esses organismos constituem a biomassa microbiana do solo (BMS) que contém, em média, de 2 a 5% do C orgânico do solo, de 1 a 5% do N total do solo e ocupam uma fração menor que 0,5% do volume total do solo, o que representa menos que 10% da matéria orgânica (LEITE; ARAÚJO, 2007; ARAUJO; MONTEIRO, 2007).

A BMS constitui-se no compartimento central do ciclo do carbono e sua atividade biológica é altamente concentrada nas primeiras camadas do solo, na profundidade entre 1-30 cm. Diferentes autores afirmam que as ações antrópicas criam perturbações que irão refletir diretamente na BMS a qual pode ser uma indicadora sensível de perdas ou reduções na qualidade de um ambiente, na medida em que sua atividade metabólica é afetada devido às alterações naturais ou de práticas de manejo mal conduzidas (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008).

Portanto, a avaliação do desempenho da BMS pode ser utilizada para se obter informações rápidas sobre mudanças nas propriedades orgânicas do solo, avaliar os efeitos de poluentes e de manejos inadequados e também pode ser útil como índice de aferição da sustentabilidade de sistemas produtivos.

Alterações significativas nos teores da biomassa podem ser identificadas muito antes que alterações na matéria orgânica total possam ser percebidas. Isso permite que sejam adotadas as devidas medidas corretivas antes que a qualidade do solo seja prejudicada de forma mais severa (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008; ARAUJO; MONTEIRO, 2007).

Segundo Alvarez et al. (1995) o estudo da biomassa microbiana do solo tem implicações importantes na agricultura, pois quanto maior a biomassa microbiana no solo, maior será a imobilização temporária de carbono e outros nutrientes no sistema solo. Portanto, a avaliação da biomassa microbiana do solo (BMS) pode fornecer informações importantes sobre a dinâmica desse reservatório lábil da matéria orgânica do solo, já que o seu comportamento interfere diretamente na qualidade do solo (através de suas propriedades físico-químicas) e reflete, em longo prazo, nos parâmetros de produtividade das culturas e pastagens.

De acordo com Oliveira et al. (2001) a quantificação do carbono (C) da BMS é uma estimativa da massa microbiana viva total, sendo um importante parâmetro para avaliação do tamanho do reservatório mais ativo e dinâmico da matéria orgânica do solo.

Brookes (1995), no entanto, alerta para o fato de que, apesar de ser um indicador precoce de intervenções antrópicas, a biomassa microbiana pouco reflete as alterações na qualidade do solo se for avaliada de forma isolada, já que apresenta uma forte correlação com a matéria orgânica. Assim, considerar esse parâmetro isoladamente pode implicar em informações limitadas sobre a resposta do sistema solo, pois a BMS pode simplesmente estar refletindo uma mudança na concentração da matéria orgânica do solo (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008).

Anderson e Domsch (2010) também afirmam que a BMS deve ser avaliado juntamente com outros parâmetros, tais como a respiração basal e o coeficiente metabólico, em face da extrema heterogeneidade do ambiente

natural da microbiota e da sua diversidade no solo. Além disso, a BMS pode ser influenciada por limitações de C e N, adições de resíduos orgânicos (resteva, *mulshing*, incorporações), fertilizantes, poluentes, fatores físicos do solo e fatores climáticos.

No que se refere à atividade da BMS, esta pode ser medida através da determinação da RB proposta por Anderson e Domsh (1993) a qual converte dados da respiração em carbono de biomassa. A avaliação da RB é muito utilizada em trabalhos que visam analisar os efeitos da incorporação de resíduos orgânicos no solo, os quais muitas vezes contêm substâncias que os microrganismos não conseguem decompor, acarretando na contaminação do solo e dos recursos hídricos.

A RB é definida como a soma total de todas as funções metabólicas nas quais o CO_2 é produzido e reflete a atividade da BMS, a qual aumenta com o aporte de C no solo (SILVA et al., 2007). A preferência de utilizar o CO_2 ao invés do O_2 para estimar a RB, é que o primeiro pode refletir tanto a respiração aeróbia quanto a anaeróbia (GAMA-RODRIGUES; GAMA-RODRIGUES, 2008).

De acordo com Brookes (1995) a RB é bastante variável, influenciada, principalmente, pela disponibilidade de nutrientes do solo, profundidade, umidade, temperatura e diferentes tipos de manejos do solo. Além disso, os microrganismos respondem rapidamente às mudanças nas condições do solo após longos períodos de baixa atividade. Devido a isso, diferentes autores recomendam a avaliação conjunta de mais de um indicador biológico.

Os índices microbiológicos como o quociente microbiano (*q*Mic) e o quociente metabólico (qCO_2) e o índice de manejo de carbono (CMI – carbon management index) são baseados em mais de um parâmetro e são sensíveis aos efeitos ambientais e antropogênicos sobre a microbiota do solo, podendo constituir-se, também, em bons indicadores de perturbações dos ecossistemas (HARRIS, 2003; BLAIR et al., 1995).

O qCO_2, também chamado taxa de respiração específica da BMS, é um indicador da eficiência da biomassa em utilizar o C disponível para a biossíntese (ANDERSON & DOMSH, 1993; ARAUJO & MONTEIRO, 2007).

De acordo com a teoria do ecossistema em sucessão de Odum (1985), a relação (respiração total)/(biomassa total) diminui com o tempo ou com a sucessão num ecossistema. Odum sugeriu que o qCO_2 deve declinar durante a sucessão e aumentar durante uma perturbação. Este princípio baseia-se no fato de uma pequena biomassa ativa (imatura) está presente durante os estágios de desenvolvimento (ou sucessão) de um ecossistema onde o crescimento é essencial para o desenvolvimento e que ecossistemas mais maduros apresentam uma biomassa menos ativa.

De acordo com Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008) à medida que a BMS se torna mais eficiente, menos carbono é perdido como CO_2 pela respiração e uma maior proporção de carbono é incorporado ao tecido microbiano. Portanto, valores baixos de qCO_2 indicam ambientes estáveis, favoráveis à eficiência e ao desenvolvimento da BMS e menos CO_2 sendo liberado para a atmosfera. Os autores justificam essas oscilações pelo fato de que um qCO_2 elevado reflete uma alta demanda de carbono para a reparação dos danos causados por distúrbios no solo, o que requer desvios de energia que seriam empregados no crescimento e na reprodução para a manutenção e reposição celular.

Se o sistema solo não puder reabastecer o carbono que é perdido através da respiração, a biomassa microbiana torna-se ineficiente e entra em declínio. Portanto, valores mais elevados de qCO_2 podem ser indicadores de que o sistema está submetido a alguma situação de distúrbio (GAMA-RODRIGUES & GAMA-RODRIGUES, 2008).

A razão (respiração microbiana)/(biomassa microbiana) proposta por Anderson e Domsh (1993) pode ser utilizada para estimar o potencial de decomposição da MOS, ou seja, a eficiência do uso do substrato pelos microrganismos do solo, podendo ser utilizada como um indicador de estresse microbiano.

A interpretação dos resultados do qCO_2 deve ser cautelosa, visto que somente 15 a 30% da BMS do solo é metabolicamente ativa, estando o restante na forma inativa ou latente com baixa atividade e que o sistema pode estar dominado por organismos colonizadores de crescimento rápido (ANDERSON & DOMSH, 1985). Além disso, de acordo com Harris (2003),

medições do qCO_2 nem sempre refletem o modelo simples desenvolvido por Odum (1969). Segundo o autor, estudos que reanalisaram uma série de publicações que utilizam essa abordagem, concluíram que, embora o qCO_2 forneça um índice útil de eficiência microbiana, possui limitações devido aos efeitos de confusão entre estresse e perturbação em sistemas degradados e em recuperação.

Anderson e Domsh (2010) alertam para o fato deve-se ter cuidado ao avaliar quocientes metabólicos pelo fato de serem quocientes fisiológicos e que a biomassa microbiana não é estática e a velocidade da sua atividade metabólica é afetada por fatores edáficos como a estação do ano e a temperatura do solo.

No entanto, os resultados dessas avaliações são muito úteis como parâmetros de avaliação da qualidade dos solos onde estão implantados os sistemas agrícolas e fornecem indicativos para a melhor forma de manejo a fim de que as atividades humanas que fazem uso dos recursos naturais não causem impactos negativos no meio ambiente.

Assim como o quociente metabólico, o *q*Mic o é um indicador sensível utilizado para expressar a eficiência da biomassa microbiana em utilizar o C orgânico do solo e pode servir como indicador de perturbações naturais e antrópicas no solo (INSAM & DOMSCH, 1988; HARRIS, 2003).

O *q*Mic é obtido pela relação entre o C da biomassa microbiana (CBMS) e o C orgânico do solo (COS) expressando a quantidade de carbono imobilizado na biomassa. Por isso, é utilizado também como indicador da qualidade nutricional da matéria orgânica, pois em solos com pouco aporte ou baixa qualidade da matéria orgânica, a biomassa microbiana torna-se incapaz de utilizar totalmente o N e o C orgânico, encontrando-se sob condições de estresse (GAMA-RODRIGUES & GAMA-RODRIGUES, 2008).

Esse indicador pode variar de acordo com o pH, sistemas de preparo do solo, quantidade e a qualidade do aporte de carbono. Em situações de estresse, a capacidade de utilização de carbono reduz-se e a relação CBMS/COT diminui. Se ocorrer um aporte de matéria orgânica de boa qualidade o *q*Mic aumenta (GAMA-RODRIGUES & GAMA-RODRIGUES, 2008).

Os estoques de matéria orgânica do solo (MOS), em qualquer agroecossistema, são obtidos pela interação dos fatores que determinam sua formação e aqueles que promovem sua decomposição.

Em sistemas agrícolas, a dinâmica da MOS pode ser influenciada não só pelo manejo por meio da seleção de culturas e de formas de preparo do solo, mas também pela adição de fertilizantes químicos e materiais orgânicos. Esses fatores influem positivamente nos processos biológicos de decomposição e mineralização da matéria orgânica os quais dependem, essencialmente da taxa de decomposição, controlada pela temperatura, umidade, textura e mineralogia do solo, além da composição química do material orgânico utilizado (BAYER & MIELNICZUK, 2008).

Os sistemas de produção capazes de manterem ou incrementarem os teores de C orgânico no solo são fundamentais para o desenvolvimento de lavouras produtivas e a redução da emissão de gases de efeito estufa (CO_2). Como a MOS é um indicador da qualidade de um solo, qualquer perturbação, natural ou antrópica, que favoreça a diminuição dos estoques de carbono torna a propriedade ineficiente, tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista ambiental.

Blair et al. (1995) propuseram um índice de gestão de carbono para sistemas agrícolas (*carbon management index* - CMI) uma vez que a continuidade de fornecimento C depende tanto do tamanho total do conjunto quanto da sua labilidade (estimativa da taxa de rotação). Nesse trabalho será considerado apenas o Índice de reservatório de carbono (IRC) (*carbon pool index* – CPI) proposto pelo autor, tendo em vista a dificuldade em avaliar a labilidade ou recalcitrância da CCA dentro do sistema solo, já que não foram encontrados estudos sobre o tempo de decomposição desse material.

A CCA vem sendo utilizada como condicionadora dos solos sem conhecimento técnico-científico na região onde se desenvolve a pesquisa e os agricultores ressaltam os efeitos benéficos dessa para as culturas e o solo.

Supondo-se esse resíduo possa ser utilizado em propriedades agrícolas, cria-se uma logística reversa entre o elo da agroindústria e os sistemas produtivos da cadeia orizícola da cidade em que os produtores entregam o

arroz com casca, pois podem receber de volta a cinza para ser utilizada como adubo natural e corretivo de solos.

No entanto, a revisão do estado da arte do uso agrícola das CCA, mostrou que existem limitações quando ao tempo de duração das pesquisas, à carência de avaliação de parâmetros mais diversificados e à inexistência de trabalhos com os efeitos cumulativos da cinza. Existe, portanto, a necessidade de que se avalie o potencial de utilização da CCA e seus possíveis impactos sobre os recursos naturais e à principal cultura da região, ao longo do tempo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da adição cumulativa de CCA ao solo nos parâmetros biológicos: carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB), quociente microbiano (qMic), quociente metabólico (qCO2) e índice de reservatório de carbono (CRI).

7.3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Alegrete, estado do Rio Grande do Sul, em uma área pertencente ao Centro Tecnológico Experimental da CAAL localizada nas coordenadas geográficas 29º48’30,12”S - 55º50’59,93”W, altitude de 126 m em relação ao nível médio do mar.

A área possui vegetação nativa espontânea com histórico de aproximadamente 15 anos de cultivos experimentais com arroz, milho, milheto e pastagem de azevém, mas há aproximadamente cinco anos encontrava-se em pousio, com pastejo de um pequeno rebanho de gado.

Considerando as características do perfil e os horizontes presentes (Tabela1), o solo foi classificado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico (STRECK et al., 2002; SANTOS et al. 2013).

Tabela 1 – Granulometria dos horizontes do NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico do Centro Tecnológico Experimental da CAAL e classificação textural

Horizonte	Areia	Silte	Argila	Silte/ Argila	Classe textural
m	---------- % ----------				
A (0,00 – 0,25)	47	27	26	1,1	Franco-argilo-arenoso
AC (0,25 – 0,50)	44	18	38	0,5	Argiloso
C (0,50 – 0,80)	41	18	41	0,5	Argiloso
CR(0,80 - 1,0 +)	-	-	-	-	-

A densidade média de partículas (Dp) na camada de 0,00 – 0,10 m foi de 2,61 g cm^{-3} enquanto que na camada de 0,10 – 0,20 m foi de 2,69 g cm^{-3} (Fig. 1 e 2, respectivamente). Tais valores se encontram dentro dos parâmetros (2,60 a 2,75 g cm^{-3}) citados por diferentes autores para as condições de solos tropicais e subtropicais, nos quais predominam minerais como quartzo, feldspato, mica e coloides silicatados que possuem densidades dentro desse intervalo (KLEIN, 2012; BRADY & WEIL, 2013). A presença do quartzo evidenciada nos 47% de areia no horizonte A e a presença dos óxidos de ferro (0,7%) constatada pelas análises do solo da área experimental, também podem justificar os valores encontrados.

As propriedades químicas do solo para cada horizonte (Tabela 2) foram determinadas segundo EMBRAPA (2011), sendo os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} determinados por espectrometria de absorção atômica após extração com KCl 1,0 mol L^{-1}.

Os teores de Na^{+} e K^{+} trocáveis foram extraídos com solução de HCl 0,05 mol L^{-1} + $H_2SO_4$0, 0125 mol L^{-1} e determinados por fotometria de chama. O teor de Al^{3+} trocável foi extraído com solução KCl1,0 mol L^{-1} e titulado com NaOH 0,0125 mol L^{-1}. Os teores de S foram determinados por espectofotometria após utilizar uma solução extratora de $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$ em HCl 0,1N.

Tabela 2 – Atributos químicos do solo em cada horizonte do perfil do NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico localizado no Centro Técnico Experimental da CAAL

Horizonte	$pH_{água}$	Ca^{++}	Mg^{++}	K^{+}	Na^{+}	Al^{+++}	H+Al	V	m	C	S
		.....		$cmol_c\ kg^{-1}$		.....		..... %			$mg\ kg^{-1}$
A	5,5	7,90	3,41	0,14	0,10	0,29	2,41	82,71	2,06	2,21	2,94
AC	5,0	3,72	2,31	0,05	0,11	3,48	3,54	63,61	35,70	0,91	3,38
C	5,1	5,16	3,12	0,06	0,17	2,71	3,31	72,01	22,92	1,05	0,00

A partir dos dados analíticos obtidos foram calculadas a soma de bases (SB = Ca^{++} + Mg^{++} + K^{+} + Na^{+}), a porcentagem de saturação por bases [V = (100 x valor de S) / (S + (H^{+} + Al^{+++})] e a saturação por alumínio [m = (100 x Al^{+++}) / (S + Al^{+++})].

O teor de carbono orgânico (CO) do solo foi determinado pelo método de combustão Walkley-Black, onde o C orgânico foi oxidado a CO_2 pelo ácido

crômico produzido pela reação entre $K_2Cr_2O_7$ e H_2SO_4. Os resultados foram expressos como teores de MOS, assumindo 58 % de C na composição da MOS do solo usando como multiplicador o fator de Van Bemmelen de 1,72 (100/58) usado para regiões temperadas (EMBRAPA, 2011).

Antes da implantação do experimento (12 e 13/7/2012), foram coletadas com trado calador, 20 amostras simples aleatórias da área em pousio, na profundidade de 0,00 a 0,20 m, compondo uma amostra composta para avaliações dos parâmetros de fertilidade do solo.

Para o acompanhamento variações esperadas na fertilidade solo, foram coletadas ao longo das etapas do experimento, 14 amostras simples em cada uma das 20 parcelas, para compor uma amostra composta. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para as análises químicas.

As coletas do pousio foram realizadas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias).

A avaliação dos parâmetros de fertilidade das amostras coletadas seguiu a mesma metodologia de avaliação do perfil (EMBRAPA, 2011).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com cinco doses de CCA, equivalentes a 0, 4, 8, 16 e 32 Mg/ha, e quatro repetições.

A CCA foi espalhada com o auxílio de rastilhos e, posteriormente, utilizou-se uma grade para incorporá-la na camada de aproximadamente 0,00 – 0,20 m.

Foi considerada a área em pousio em torno do experimento como testemunha absoluta, livre de perturbações. Essa escolha foi sustentada pelas considerações de Rabot et al. (2018), onde os autores afirmam que devem ser usadas amostras de solo não perturbadas como um indicador eficiente das funções do solo.

As cinzas utilizadas a cada ano foram enviadas para análise e caracterização. A Tabela 3 apresenta as características e a composição das

cinzas de diferentes estudos e a cinza utilizada nos três anos de cultivo na área experimental.

Os relatórios de ensaio (RE) 26305/15.11, 26306/15.11 e 66833-001-135447/12.15, fornecidos pela ECONSULTING (Laboratório de Gestão Ambiental e Higiene Ocupacional), indicam que a cinza utilizada no presente trabalho não apresenta inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxidade ou patogenicidade de acordo com os termos referidos na norma, sendo classificada de acordo com os parâmetros analisados e com a NBR 10004 como resíduo não inerte – Classe IIA (ABNT, 2004).

Ainda segundo os relatórios, os níveis de boro, cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio, níquel, arsênio, bário, prata, selênio, fenol e cianeto ficaram abaixo dos limites mínimos de detecção das metodologias e equipamentos utilizados para as análises.

Tabela 3 - Composição química da cinza de casca de arroz utilizada em cada ano

Parâmetros	Unidades	CCA CAAL (RE1)*	CCA CAAL (RE2)*	CCA CAAL (RE3)*	CCA CAAL (RE4)*
pH	-	8,89	6,89	9,40	9,4
PN	%	-	< 1,0	-	1,0
Cinzas	%	89,6	89,6	87,3	-
COT	%	5,7	5,6	6,4	5,3
Umidade	%	0,5	0,5	1,7	-
Densidade	g cm^{-3}	-	0,23	-	-
CTC	mmol kg^{-1}	-	-		182
DBO	mg L^{-1}	-	-	-	1,08
DQO	mg L^{-1}	-	-	-	26,98
Si	g kg^{-1}	-	682	-	-
N	g kg^{-1}	-	0,51	-	-
P	g kg^{-1}	-	0,33	-	-
S	g kg^{-1}	-	0,10	-	-
K	g kg^{-1}	-	4,49	-	-
Ca	g kg^{-1}	-	1,50	-	-
Mg	g kg^{-1}	-	0,37	-	-
Cu	g kg^{-1}	-	1,52	-	-
Mn	g kg^{-1}	-	0,29	-	-
Na	g kg^{-1}	-	0,12	-	-
Zn	g kg^{-1}	-	0,01	-	-

Fontes: *As CCA utilizadas no presente estudo foram submetida à análise no Laboratório ECONSULTING que forneceu os laudos ou Relatórios de Ensaio (RE): RE1 (26305/15.11), RE2 (26306/15.11), RE3 (66833-001-135447/12.15) e RE4 (66833-002-135448/19.15).

As avaliações foram realizadas no segundo ano de incorporação cumulativa de CCA, dois meses após a colheita do arroz irrigado BR-IRGA 409 e 223 dias após a última aplicação da CCA.

Foram coletadas 10 amostras de cada parcela, em 03 de maio de 2014, na camada de 0,00 – 0,20 m, compondo uma amostra composta por parcela, as quais foram embaladas em sacos plásticos, transportadas resfriadas em caixas de isopor e conservadas refrigeradas a 4 ^{0}C até o momento das análises no Laboratório de Microbiologia do Solo da UFPel.

Os teores de C da biomassa microbiana foram determinados com base no método descrito por Vance et al. (1987). Entretanto, para eliminação dos microrganismos, seguiu-se a sugestão da irradiação-extração sugerida por Ferreira et al. (1999), que substitui a fumigação com clorofórmio pela irradiação em forno de micro-ondas a 2.450 MHz, durante 4 min.

O extrator utilizado foi o K_2SO_4 0,5 M e, o sulfato ferroso amoniacal 0,25 M, foi utilizado para titular o excesso de dicromato que não reagiu com o C.

O cálculo utilizado para a determinação do carbono da biomassa microbiana segue Tedesco et al. (1995):

$$C_{mic} = \frac{C_i - C_{ni}}{K_c}$$

$$C_{i,\ ni} = \frac{(mmol_c L^{-1} Cr_2O_7^{-1} - mmol\ L^{-1} Fe^{2+}) \times 3000}{g_{amostra}}$$

Onde:

C_{mic} = teor de C da biomassa microbiana do solo (mg kg^{-1});

C_i = teor de C da amostra irradiada (mg kg^{-1});

C_{ni} = teor de C da amostra não irradiada (mg kg^{-1}) e

K_c = 0,33 constante de mineralização do C para microbiota que representa a proporção do C da biomassa microbiana morta que é convertido em CO_2 durante o período de incubação (SPARLING et al.,1990).

$C_{i,\ ni}$ = carbono orgânico dos extratos de amostras irradiadas e não irradiadas, respectivamente (mg kg^{-1});

$mmol_c L^{-1} Cr_2O_7^{-1}$ = 5 ml ($K_2Cr_2O_7$) x 1,25 mol_c L^{-1} (= 6,25);

$mmol\ L^{-1} Fe^{2+}$ = (mol de FeSO gastos na titulação) x (mol_c L^{-1} $FeSO_4$);

mol_c L^{-1} $FeSO_4$ = 6,25/ml de $FeSO_4$ gastos na prova em branco;

3000 = resultado da relação entre o número de mols de $Cr_2O_7^{-1}$ que reagem com Fe^{+2} (1/6) multiplicado pelo número de mols de Cr_2O_7 que reagem com Fe^0 (3/2) multiplicado pelo peso equivalente C (12) multiplicado pelo fator de conversão de unidade (1000);

$g_{amostra}$ = peso do solo (20 g corrigida a umidade).

A atividade microbiana (RB) foi determinada pela quantificação do CO_2 liberado no processo da respiração microbiana, durante um período de 28 dias, conforme o método de Stotzky (1965).

Amostras equivalentes a 100g de solo seco foram retiradas de cada tratamento e acondicionadas em frascos de vidro com capacidade de 0,8 L hermeticamente fechados. Cada frasco recebeu um copo de polietileno de 50 ml contendo 20 ml de NaOH 1mol L^{-1} para reagir com o CO_2 liberado pela microbiota do solo. Como prova em branco, necessárias a esta análise, foram instalados dois frascos contendo apenas a solução de NaOH.

O CO_2 foi determinado aos 28 dias, adicionando 5 ml de uma solução de $BaCl_2$ (25%) e 3 gotas de fenolftaleína (1%) em cada copo, titulando-se o excesso de NaOH com uma solução de HCl 1mol L^{-1} padronizada.

A quantidade de CO_2 liberada em cada tratamento e período de avaliação foi calculada conforme a equação (em mg 100 g^{-1} de solo h^{-1}):

$$RB_{mg\ 100g^{-1}\ de\ solo\ h^{-1}} = (VPB - VA) x\ M\ ácido\ x\ Eq.\ CO_2\ x\ FC$$

Onde:

VPB = volume de HCl gasto na prova em branco;

VA = volume de HCl gasto na amostra na titulação do NaOH que recebeu o CO_2 desprendido do solo (ml);

M ácido = concentração de HCl 1 mol L^{-1};

Eq. CO_2 = equivalente grama do CO_2 (= 6 g) e

FC = Fator de correção (concentr. do ácido/concentr. da base) = 1,0.

A taxa de respiração por unidade de biomassa ou quociente metabólico (qCO_2) foi obtido pela razão entre o C da respiração basal (RB) e o carbono da biomassa microbiana (CBM) conforme Anderson e Domsch (1993).

$$qCO_2 = \frac{\mu gCO_2 g^{-1} \text{ de solo } h^{-1}}{\mu gC_{mic} g^{-1} \text{ de solo}}$$

O índice da qualidade nutricional foi expresso pela quantidade de carbono imobilizado na biomassa (qMic) o qual foi obtido pela razão entre o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o C orgânico total do solo (COT).

$$qMic_{\%} = \frac{\mu C_{mic} g^{-1} \text{ de solo}}{mgC_{total} Kg^{-1} \text{ de solo}} \; x \; 100$$

Com base nas mudanças no carbono orgânico total (COT), entre um sistema referência (área em pousio em torno do experimento) e a área sob os diferentes experimentos, foi utilizado o índice de reservatório de carbono (IRC), calculado pela razão entre o C medido na área experimental e o da área em pousio, considerada referência.

$$IRC = \frac{COT_{experimental}}{COT_{pousio}}$$

Todos os conjuntos de dados obtidos das análises de laboratórios, foram submetidos à análise de regressão e de variância (ANOVA) e, quando houve significância estatística, foram realizados testes de média (Tukey a 5%), utilizando o programa estatístico Assistat. Os melhores ajustes para a regressão foram obtidos com linhas polinomiais e, para o ajuste do coeficiente de determinação (R^2), foi adotado o valor mínimo de 0,50 como sendo adequado (BARBETTA, 2012; GREEN; VAN GRIENSVE, 2008; MORIASI et al., 2007). Todos os cálculos realizados, como a obtenção das curvas e suas respectivas equações de ajuste, foram realizados por meio de planilhas eletrônicas.

7.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.4.1. Carbono da biomassa microbiana do solo

O crescimento do CBM apresentou uma relação direta e positiva com as crescentes doses de CCA (Fig. 1) e o tratamento T4 superou a área em pousio em valores absolutos.

Os tratamentos localizados dentro da área experimental cultivados com arroz irrigado (T0 a T4) apresentaram um crescimento da biomassa do solo que pode ser explicada em 99% pela adição de CCA. Isso pode estar ocorrendo pelo aporte da CCA que, apesar de calcinada, ainda contém cerca de 6% de C orgânico.

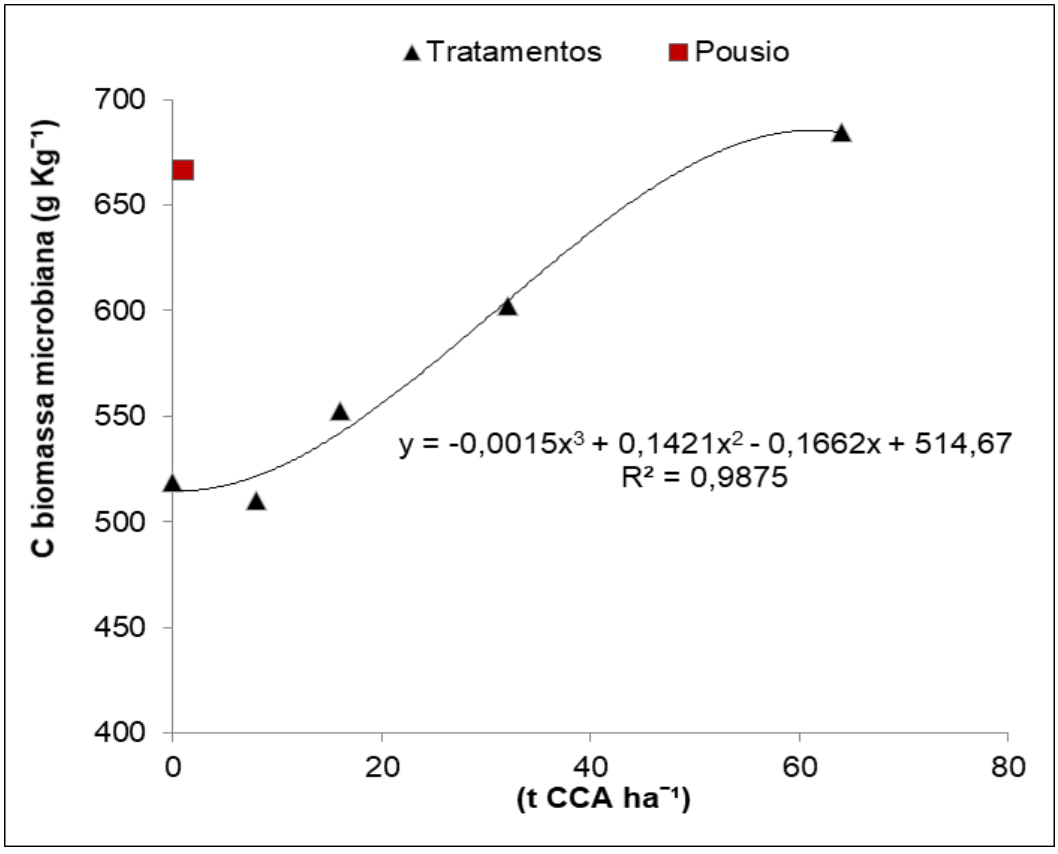

Figura 1 – Carbono da Biomassa Microbiana em solo cultivado com arroz irrigado com incorporação de diferentes doses de CCA (kg ha^{-1}): T0: 0,0; T1: 8.000; T2: 16.000; T3: 32.000 e T4: 64.000. Testemunha absoluta = área em pousio.

7.4.2. Respiração basal

A RB apresentou valores superiores nos tratamentos situados dentro da área experimental em relação à área em pousio (Fig. 2). A maior atividade da

biomassa dentro da área experimental pode ser justificada pelo aporte de C no solo, tanto da CCA quanto da resteva da cultura do arroz que ainda estava presente no momento das coletas de amostras de solo.

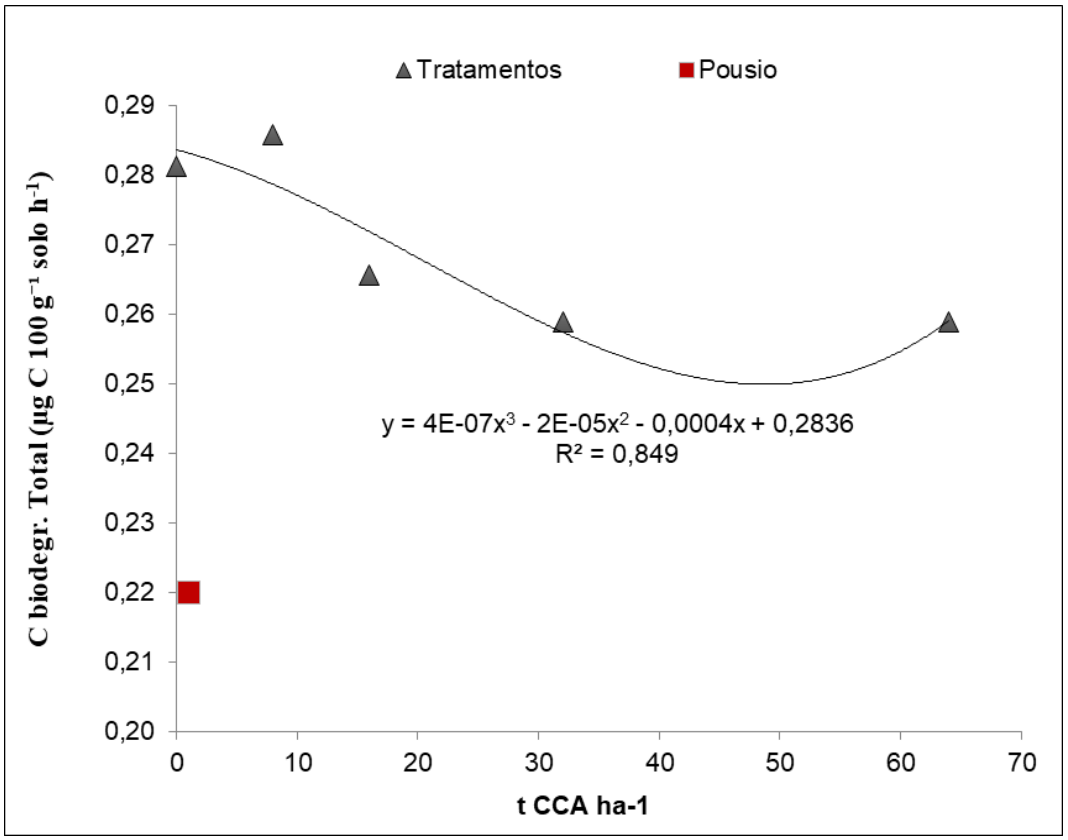

Figura 2 - Respiração Basal da biomassa em solo cultivado com arroz irrigado com incorporação de diferentes doses de CCA (kg ha^{-1}): T0: 0,0; T1: 8.000; T2: 16.000; T3: 32.000 e T4: 64.000. Testemunha absoluta = área em pousio.

Percebe-se uma tendência ao decaimento e ao equilíbrio com o maior aporte de CCA, indicando uma situação de possível estabilidade do sistema, sendo que as duas últimas médias da RB foram iguais a 0,26 µg CO_2 g^{-1} solo h^{-1} tanto para as dosagens de 32 quanto de 64 t de CCA ha^{-1}.

7.4.3. Quociente metabólico

Os quocientes metabólicos dos tratamentos situados dentro da área experimental apresentaram valores absolutos superiores ao da área em pousio (Fig. 3). No entanto, tendem a reduzir-se, aproximando-se do valor apresentado pela área em pousio, indicando que doses mais elevadas de CCA

incorporada no solo estão contribuindo para a redução do qCO_2 desse solo. Essa variação justifica-se em 96% com a adição da CCA.

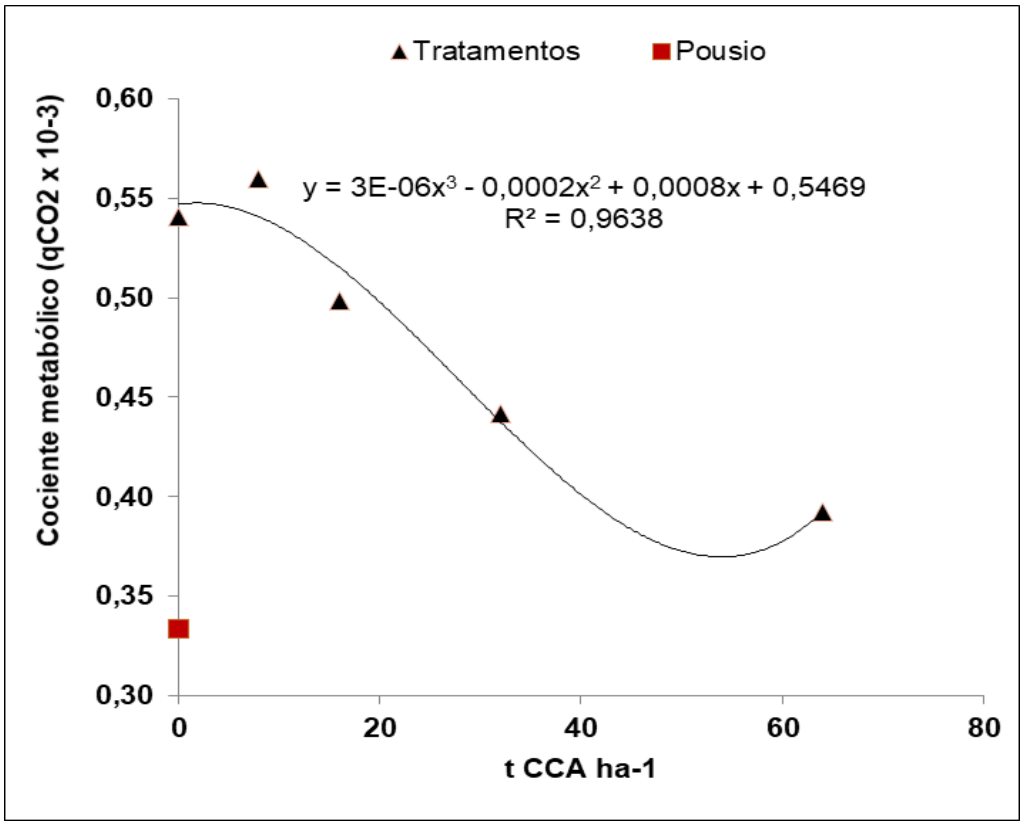

Figura 3 - Quociente metabólico da biomassa microbiana em solo cultivado com arroz irrigado com incorporação de diferentes doses de CCA(kg ha^{-1}): T0: 0,0; T1: 8.000; T2: 16.000; T3: 32.000 e T4: 64.000. Testemunha absoluta = área em pousio.

O decréscimo dos valores de qCO_2 indicam que o sistema tende à estabilidade, com maior eficiência na conversão do C em biomassa e menos CO_2 sendo liberado para a atmosfera com o aporte de dosagens de CCA até 64 t ha^{-1}. Esse comportamento é corroborado por Gama-Rodrigues e Gama-Rodrigues (2008) que afirmam que à medida que a BMS se torna mais eficiente, menos C é perdido como CO_2 pela respiração e uma maior proporção de C é incorporado ao tecido microbiano.

7.4.4. Quociente microbiano

Como pode ser observado na figura 4, todos os quocientes metabólicos da área experimental são superiores ao da área em pousio. Isso pode ser

explicado devido à presença da palha da resteva da cultura de arroz que ainda se encontrava sobre a área no momento das coletas de amostras.

Segundo Gama-Rodrigues e Gama- Rodrigues (2008) em situações de estresse, a capacidade de utilização de carbono reduz-se e a relação CBMS/COT diminui. Ainda segundo os autores, quando o aporte de matéria orgânica é de boa qualidade o *q*Mic aumenta.

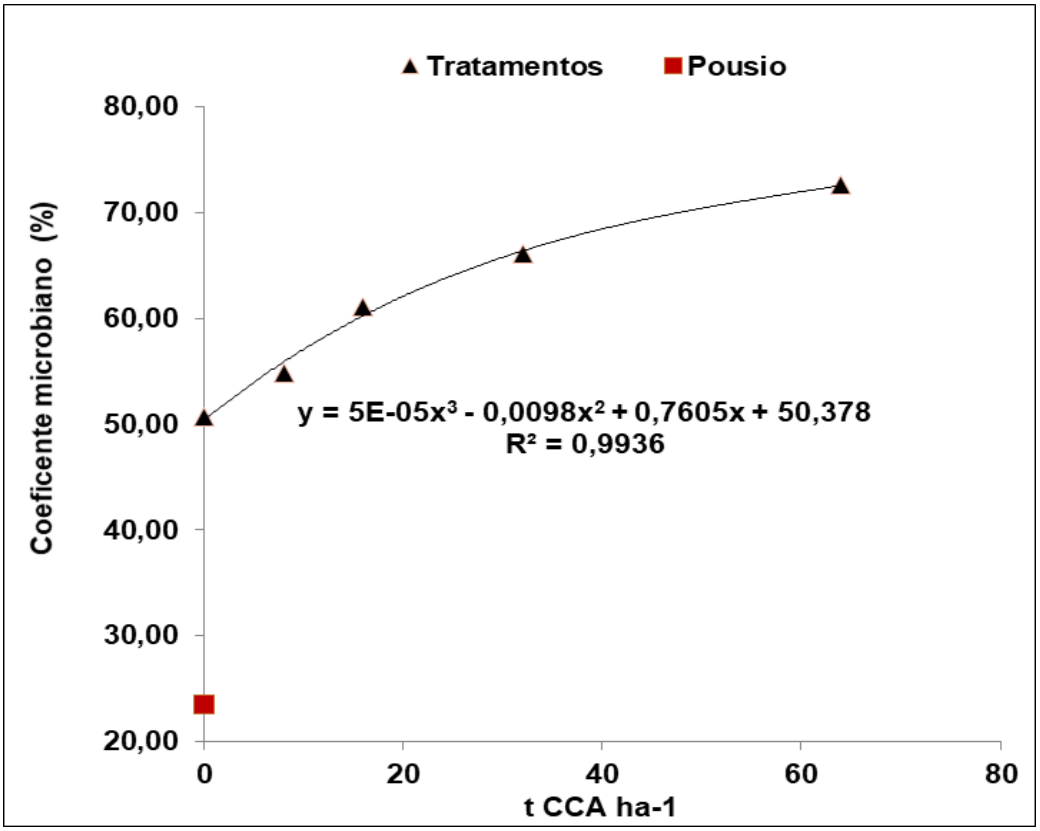

Figura 4 - Quociente microbiano em solo cultivado com arroz irrigado com incorporação de diferentes doses de CCA (kg ha^{-1}): T0: 0,0; T1: 8.000; T2: 16.000; T3: 32.000 e T4: 64.000. Testemunha absoluta = área em pousio.

Portanto, a incorporação da CCA no solo parece não afetar o metabolismo da microbiota do solo, já que o seu crescimento se justifica em 99% por esse aporte de C ao solo. Isso pode indicar que a microbiota do solo possa estar se beneficiando do C contido na CCA.

7.4.5. Índice de reservatório de carbono

Os índices de reservatório de carbono dos tratamentos situados dentro da área experimental apresentaram valores bem inferiores ao da área em

pousio (Fig. 5). Isso já era esperado e justifica-se pelo fato de que toda a área experimental teve o solo revolvido durante o seu preparo, o que pode ter contribuído para a diminuição dos estoques de carbono.

Os teores de matéria orgânica no solo na área em pousio são de 3% e decrescem para valores em torno de 2% após o preparo da área.

Pela Tabela 4 observa-se que não ocorreram diferenças estatísticas entre os valores do carbono da biomassa microbiana e da respiração basal dos cinco tratamentos (pousio e T0 a T4) da área experimental (T0 a T4) e a área de referência (pousio).

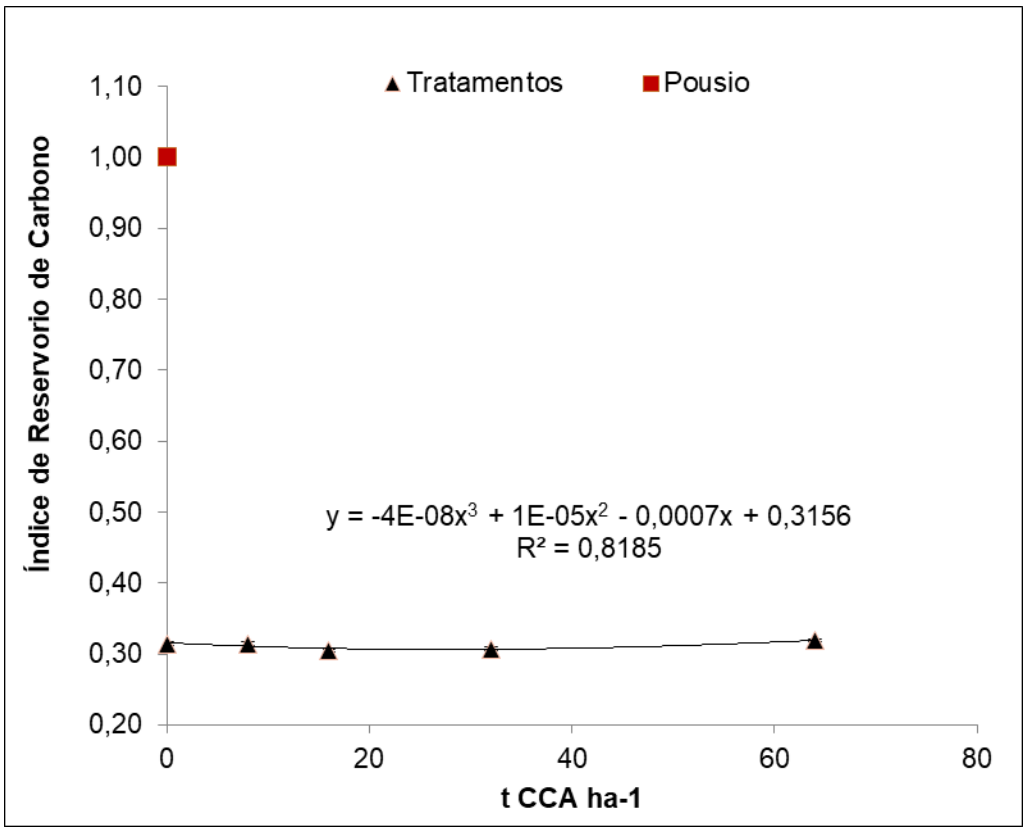

Figura 5 – Índice de Reservatório de Carbono em solo cultivado com arroz irrigado com incorporação de diferentes doses de CCA (kg ha^{-1}): T0: 0,0; T1: 8.000; T2: 16.000; T3: 32.000 e T4: 64.000. Testemunha absoluta = área em pousio.

.

Com relação ao qCO_2, os tratamentos não diferiram entre si dentro da área experimental. O único tratamento que diferiu da área de referência (pousio) foi o T1 com 8 t CCA ha^{-1} que apresentou um quociente metabólico 40% superior ao da área em pousio. Sandrini (2010) obteve resultados

semelhantes em que as doses de CCA aplicadas em um NEOSSOLO, não afetaram o quociente metabólico da biomassa microbiana do solo.

Os quocientes microbianos dos tratamentos T0 a T4 não deferiram entre si, mas diferiram da área de referência.

Todos os valores de IRC dos tratamentos da área experimental diferiram da área de referência. Os tratamentos T2 e T3 com 16 e 32 t de CCA ha^{-1}, respectivamente diferiram da testemunha T0.

Tabela 4 – Análise de variância dos tratamentos pousio, T0, T1, T2, T3 e T4 sob avalição dos parâmetros biológicos Cmic, RB, qCO_2, qMic e IRC.

Tratamentos	Parâmetros biológicos				
	Cmic	RB	qCO_2	qMic	IRC
Pousio	ns	ns	B	B	A
T0			AB	A	B
T1			A	A	BC
T2			AB	A	C
T3			AB	A	C
T4			AB	A	BC
Médias	625,13	18,3	0,5	51,8	0,65
CV%	17,21	15,1	19,83	20,67	3,33
dms	232,68	6,04	0,21	26	0,03
p-valor	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal

Aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. ns = não significativo (p >= .05). Médias seguidas pela mesma letra nas colunas, não diferem estatisticamente entre si.

7.5. CONCLUSÕES

A adição de CCA no solo estudado promove um incremento no CBMS e da qualidade nutricional da microbiota

Os tratamentos da área experimental apresentam índices de Reservatório de Carbono inferiores ao da área em pousio como reflexo do revolvimento do solo para a implantação da cultura.

O decréscimo dos valores de qCO_2 indicam que o tipo de solo do experimento tende à estabilidade, com maior eficiência na conversão do C em biomassa e menos CO_2 liberado para a atmosfera com o aporte de dosagens de CCA até 64 t ha^{-1}.

Nas condições climáticas do experimento, e considerando o tipo de solo da área, a incorporação de até 64 t de CCA ha^{-1}, não provoca impactos negativos para a microbiota do solo.

7.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, R.; DÍAZ, R. A.; BARBERO, N.; SANTANATOGLIA, O. J.; BLOTTA, L. (1995). Soil organic carbon, microbial biomass and CO2-C production from tree tillage systems. Soil and Tillage Research, 33, 17-28. http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(94)00432-E.

ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. Biology and Fertility of Soils, v.1, p.81-89, 1985.

ANDERSON, J.P.E. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient (qCO2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. Soil Biol. Biochem., 25:393-395, 1993.

ANDERSON T.H., DOMSCH K.H. Soil microbial biomass: the eco-physiological approach. Soil Biology and Biochemistry. 2010; 242:2039–2043.

ARAÚJO. A.S.F; MONTEIRO, R.T.R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. Bioscience Journal, v.23. n.3, p.66-75, 2007. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6684/4403>. Acesso em: 18 jul. 2017.

BARBETTA, P. A. et al. Estatística aplicada às ciências sociais. 8. ed. Florianópolis: UFSC, 2012. 318 p.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; SILVA, L.S. da; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p.7-18.

BLAIR. G. J.; LEFROY, R.D.B. & LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and development of a carbon management index for agricultural systems. Aust. J. Agric. Res., 46:1459-1466, 1995.

BROOKES, D. C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals. Biology and Fertility of Soils, Berlin, v. 19, p. 269-279, 1995.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Org.) Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: SSSA, 1994. p. 3-21.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de microondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. R. Bras. Ci. Solo, 23:991-996, 1999.

GREEN, C; A VAN GRIENSVEN,. Autocalibration in hydrologic modeling: Using SWAT2005 in small-scale watersheds. Environmental Modelling & Software, [s.l.], v. 23, n. 4, p.422-434, abr. 2008. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.06.002. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815207001168>. Acesso em: 18 out. 2016.

HARRIS, J.A. Measurements of the soil microbial community for estimating the success of restoration. European Journal Soil Science, 54:801-808, 2003.

GAMA-RODRIGUES, E. F. & GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.) Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais. 2ª ed. Porto Alegre: metrópole, p.159-170, 2008.

INSAM, H.; DOMSCH, K.H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. Microbial Ecology. v.15, p.177-188, 1988.

LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. Ecologia microbiana do solo. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. 24 p.; 21 cm. - Documentos Embrapa Meio-Norte.

MORIASI, D. N. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the Asabe, [s.l.], v. 50, n. 3, p.885-900, 2007. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). http://dx.doi.org/10.13031/2013.23153. Disponível em: <https://www.scienceopen.com/document?vid=0407b969-7eb9-4361-83ea-b7e5c5225ea3>. Acesso em: 19 jan. 2016.

ODUM, E. P. The strategy of ecosystem development. Science, v.64, p.262-270, 1969.

ODUM, E. P. Trends expected in stressed ecosystems. BioScience, Londres, v. 35, p. 419-422, 1985.

OLIVEIRA, J.R.A.; MENDES, I.C.; VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, n. 4, p. 863-871, out./dez. 2001

SILVA, E. E. da; AZEVEDO, P. H. S. de; DE-POLLI, H. Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO2). Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4 p. (Embrapa Agrobiologia. Comunicado Técnico, 99). Parceria: UFRRJ.

SANDRINI, W. C. Alterações químicas e microbiológicas do solo decorrentesda adição de cinza de casca de arroz. 2010. 70 f. Dissertação (Mestrado emAgronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Solos.Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. Orientador (a): Drª. Rosa Maria VargasCastilhos.

STOTZKY, G. Microbial respiratio. In Methods of soil analysis, Madison: Amer. Soc. of Agron., v.2, n.1, p. 1551-1572, 1965.

SPARLING, G. P.; FELTHAM, C. W.; REYNOLDS, J.; WEST, A. W.; SINGLETON, P. Estimation of soil microbial C by a fumigation-extraction method: Use on soils of high organic matter content, and a reassessment of the kec – factor. Soil Biology and Biochemistry, v.22, n.3, p.301-307, 1990.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5).

VANCE, E.D.; BROOKES, P.C. & JENKINSON, D.S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. Soil Biol. Biochem., 19:703-107, 1987.

VEZZANI, F.M.; CONCEIÇÃO, P.C.; MELLO, N.A. & DIECKOW, J. Matéria orgânica e qualidade do solo. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. & CAMARGO, F.A., eds. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. 2.ed. Porto Alegre, Cinco Continentes, 2008. p.483-494.

8. ARTIGO 4 - ANÁLISE TEMPORAL DE PARÂMETROS MORFOPRODUTIVOS DO ARROZ IRRIGADO EM SOLO SUBMETIDO À INCORPORAÇÃO SUCESSIVA DE CINZA DA CASCA DE ARROZ

8.1. RESUMO

Face aos elevados custos com energia elétrica as agroindústrias têm usado a biomassa casca para gerar sua própria energia, mas produzindo grandes volumes de cinza. Alguns trabalhos científicos têm sido publicados mostrando que a cinza pode melhorar a estrutura do solo e suas propriedades físicas, é corretiva da acidez do solo, melhora a fertilidade e a produtividade, é benéfica para a microbiota do solo e não apresenta riscos de contaminação de corpos hídricos pela percolação. Portanto, existe a necessidade de que se avalie o potencial de utilização da CCA na agricultura bem como seus possíveis impactos sobre os recursos naturais, justificando o presente trabalho. O estudo foi realizado no município de Alegrete (RS),em NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico. O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados (DBC), com cinco doses de CCA, equivalentes a 0, 4, 8, 16 e 32 Mg/ha, e quatro repetições. Foi adotada a área em pousio em torno do experimento como testemunha absoluta, livre de perturbações. Os dados foram submetidos à análise regressão e de variância (ANOVA) e, quando houve significância estatística, foram realizados testes de média (Tukey a 5%) utilizando o programa estatístico Assistat. A adição de CCA por três anos consecutivos não afetou significativamente a produtividade, a qualidade de indústria, os teores de macro e micronutrientes analisados, com exceção do potássio na dosagem de 32 t de CCA ha^{-1} ano.

8.2. INTRODUÇÃO

O arroz é a segunda cultura mais produzida no mundo e, de acordo com Azambuja et al. (2004), está presente principalmente nos países em desenvolvimento, onde desempenha importante papel estratégico, tanto no nível econômico quanto social. O arroz é o alimento básico para mais da metade da população do mundo e segundo a FAOSTAT (2016) o consumo per capta mundial está em torno de 54,2 kg/pessoa.

De acordo com a FAO (2014) o arroz desempenha um papel estratégico para a segurança alimentar mundial, sendo a principal fonte de emprego, renda e nutrição em muitas regiões pobres do mundo.

Os sistemas de produção de arroz e suas operações pós-colheita empregam cerca de 1.000 milhão de pessoas em áreas rurais de países em desenvolvimento.

Além disso, possui uma grande versatilidade de adaptação ambiental e movimenta mercados internos e internacionais, sendo considerada a espécie com maior potencial para o combate à fome no mundo (SOSBAI, 2012; AZAMBUJA et al., 2004).

Quando todos os países em desenvolvimento são considerados em conjunto, o arroz fornece 27% da energia e 20% das proteínas consumidas por pessoa/dia, o arroz também é uma boa fonte de vitaminas como a tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantotênico e fólico, diversos aminoácidos, lipídeos, sais minerais, fósforo, cálcio, ferro, zinco e fibra (NAVESI & BASSINELLI, 2006; FAO, 2014).

A produção mundial estimada do cereal para a safra 2016/17 é de 496,7 milhões de toneladas de arroz beneficiado (ou 748 milhões de toneladas em equivalente casca), ocupando aproximadamente 165,2 milhões de hectares, sendo os maiores produtores mundiais a China, Índia, Indonésia, Bangladesh, Vietnam, Tailândia, África, Myanmar, Filipinas e Brasil (FAOSTAT, 2016).

No Brasil, a maior parte da produção está concentrada nos estados do Rio Grande do Sul, onde predomina o arroz irrigado, com 71,6% (8.503 mil t) e Santa Catarina com 9,2% (1.078 mil t) da produção nacional de 2016/17. As

produtividades são elevadas nesses estados, superando os 7.500 Kg/ha (CONAB, 2017).

Para chegar à mesa dos consumidores, o cereal passa pelo processo de industrialização, onde é descascado, polido e classificado. A Instrução Normativa Nº 6/2009 define o padrão oficial de classificação do arroz, bem como os defeitos considerados pela agroindústria na avaliação da qualidade dos grãos (BRASIL, 2009 e 2012).

Os limites máximos de tolerância expressos em %/peso determinam a classificação do tipo do arroz que pode variar de Tipo 1 ao Tipo 5 (BRASIL, 2009 e 2012). A fração de grãos inteiros é referida como rendimento do grão, o qual é expresso como a porcentagem de grãos inteiros em relação ao produto bruto (em casca), e serve de base para a valoração comercial do arroz (CASTRO et al., 1999).

Os diferentes tipos de manejo do solo, da cultura, da adubação e da irrigação podem interferir na nutrição da planta, a produtividade da variedade e mesmo na qualidade do grão que será comercializado. Frente a isso, e dada a prática do uso cumulativo da cinza da casca de arroz incorporada aos solos agrícolas da região, faz-se necessário avaliar se esse procedimento adotado pelos agricultores pode estar influenciando os níveis de absorção de nutrientes pela planta ou mesmo afetando a produtividade e a qualidade dos grãos.

Alguns trabalhos têm mostrado que a cinza incorporada ao solo pode proporcionar incremento de produtividade (ADOLPHO et al., 2015; SILVA et al., 2008) e não apresenta riscos de contaminação de corpos hídricos pela percolação (SILVA et al., 2014). Ainda assim, a revisão do estado da arte do uso agrícola das CCA, mostrou que existem limitações quando ao tempo de duração das pesquisas, à carência de avaliação de parâmetros mais diversificados e à inexistência de trabalhos com os efeitos cumulativos da cinza. Existe, portanto, a necessidade de que se avalie o potencial de utilização da CCA e seus possíveis impactos sobre os recursos naturais e à principal cultura da região, ao longo do tempo

Partindo da hipótese de que o uso da cinza de casca de arroz pode trazer benefícios à estrutura do solo e fertilidade do solo ao longo do tempo e que isso pode trazer consequências benéficas às plantas, essa pesquisa

buscou completar a lacuna de conhecimento existente, avaliando os diferentes parâmetros morfológicos, nutricionais e produtivos da cultura implantada sobre diferentes tratamentos, simulando as condições de campo em que a CCA é utilizada pelos produtores, ou seja, de forma cumulativa.

8.3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no município de Alegrete, estado do Rio Grande do Sul, em uma área pertencente ao Centro Tecnológico Experimental da CAAL localizada nas coordenadas geográficas 29º48'30,12"S - 55º50'59,93"W, altitude de 126 m em relação ao nível médio do mar.

A área possui vegetação nativa espontânea com histórico de aproximadamente 15 anos de cultivos experimentais com arroz, milho, milheto e pastagem de azevém.

Há aproximadamente cinco anos a área encontrava-se em pousio, mas com pastejo de um pequeno rebanho de gado de leite.

Considerando as características do perfil e os horizontes presentes (Tab. 1), o solo foi classificado segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos como NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico (STRECK et al., 2002; SANTOS et al. 2013).

Tabela 1 – Granulometria dos horizontes do NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico do Centro Tecnológico Experimental da CAAL e classificação textural

Horizonte	Areia	Silte	Argila	Silte/ Argila	Classe textural
m	---------- % ----------				
A (0,00 – 0,25)	47	27	26	1,1	Franco-argilo-arenoso
AC (0,25 – 0,50)	44	18	38	0,5	Argiloso
C (0,50 – 0,80)	41	18	41	0,5	Argiloso
CR(0,80 - 1,0 +)	-	-	-	-	-

A densidade média de partículas (Dp) na camada de 0,00 – 0,10 m foi de 2,61 g cm^{-3} enquanto que na camada de 0,10 – 0,20 m foi de 2,69 g cm^{-3} (Fig. 1 e 2, respectivamente). Tais valores se encontram dentro dos parâmetros (2,60 a 2,75 g cm^{-3}) citados por diferentes autores para as condições de solos tropicais e subtropicais, nos quais predominam minerais como quartzo, feldspato, mica e coloides silicatados que possuem densidades dentro desse intervalo (KLEIN, 2012; BRADY & WEIL, 2013). A presença do quartzo

evidenciada nos 47% de areia no horizonte A e a presença dos óxidos de ferro (0,7%) constatada pelas análises do solo da área experimental, também podem justificar os valores encontrados.

As propriedades químicas do solo para cada horizonte (Tabela 2) foram determinadas segundo EMBRAPA (2011), sendo os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} determinados por espectrometria de absorção atômica após extração com KCl 1,0 mol L^{-1}. O Na^{+} e o K^{+} trocáveis foram extraídos com solução de HCl 0,05 mol L^{-1} + H_2SO_4 0,0125 mol L^{-1} e determinados por fotometria de chama. O Al^{3+} trocável foi extraído com KCl1,0 mol L^{-1} e titulado com NaOH 0,0125 mol L^{-1}. Os teores de S foram determinados por espectofotometria após extração com $Ca(H_2PO_4)_2.H_2O$.

Tabela 2 – Atributos químicos do solo em cada horizonte do perfil do NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico léptico localizado no Centro Técnico Experimental da CAAL

Horizonte	$pH_{água}$	Ca^{++}	Mg^{++}	K^{+}	Na^{+}	Al^{+++}	H+Al	V	m	C	S
		.....		$cmol_c\ kg^{-1}$		.....		..... %			$mg\ kg^{-1}$
A	5,5	7,90	3,41	0,14	0,10	0,29	2,41	82,71	2,06	2,21	2,94
AC	5,0	3,72	2,31	0,05	0,11	3,48	3,54	63,61	35,70	0,91	3,38
C	5,1	5,16	3,12	0,06	0,17	2,71	3,31	72,01	22,92	1,05	0,00

A partir dos dados analíticos obtidos foram calculadas a soma de bases (SB = Ca^{++} + Mg^{++} + K^{+} + Na^{+}), a porcentagem de saturação por bases [V = (100 x valor de S) / (S + (H^{+} + Al^{+++})] e a saturação por alumínio [m = (100 x Al^{+++}) / (S + Al^{+++})].

Para a determinação do C foi utilizado o método de combustão Walkley-Black, onde o C orgânico foi oxidado a CO_2 pelo ácido crômico produzido pela reação entre $K_2Cr_2O_7$ e H_2SO_4. Os resultados foram expressos como teores de MOS, assumindo 58% de C na composição da MOS do solo usando como multiplicador o fator de Van Bemmelen de 1,72 (100/58) usado para regiões temperadas (EMBRAPA, 2011).

Antes da implantação do experimento (12 e 13/7/2012), foram coletadas com trado calador, 20 amostras simples aleatórias da área em pousio, na profundidade de 0,00 a 0,20 m, compondo uma amostra composta para avaliações dos parâmetros de fertilidade do solo.

Para o acompanhamento variações esperadas na fertilidade solo, foram coletadas ao longo das etapas do experimento, 14 amostras simples em cada

uma das 20 parcelas, para compor uma amostra composta. As amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm para as análises químicas.

As coletas do pousio foram realizadas em 13/7/2012; Pós CCA 2012: incorporação da CCA em 15/9/2012 e coletas em 24/10/2012 (39 dias); Pós CCA 2013: incorporação da CCA em 20/9/2013 e Coletas em 31/10/2013 (41 dias); Pós CCA 2014: incorporação da CCA em 16/10/2014 e coletas em 29/10/2014 (13 dias). A avaliação dos parâmetros de fertilidade das amostras coletadas seguiu a mesma metodologia de avaliação do perfil (EMBRAPA, 2011).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com cinco doses de CCA, equivalentes a 0, 4, 8, 16 e 32 Mg/ha, e quatro repetições. Foi considerada a área em pousio em torno do experimento como testemunha absoluta, livre de perturbações. Essa escolha foi sustentada pelas considerações de Rabot et al. (2018), onde os autores afirmam que devem ser usadas amostras de solo não perturbadas como um indicador eficiente das funções do solo.

A CCA foi espalhada com o auxílio de rastilhos e, posteriormente, utilizou-se uma grade para incorporá-la na camada de aproximadamente 0,00 – 0,20 m.

As cinzas utilizadas a cada ano foram enviadas para análise e caracterização. A Tabela 3 apresenta as características e a composição das cinzas de diferentes estudos e a cinza utilizada nos três anos de cultivo na área experimental.

Os relatórios de ensaio (RE) 26305/15.11, 26306/15.11 e 66833-001-135447/12.15, fornecidos pela ECONSULTING (Laboratório de Gestão Ambiental e Higiene Ocupacional), indicam que a cinza utilizada no presente trabalho não apresenta inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxidade ou patogenicidade de acordo com os termos referidos na norma, sendo classificada de acordo com os parâmetros analisados e com a NBR 10004 como resíduo não inerte – Classe IIA (ABNT, 2004).

Tabela 3 - Composição química da cinza de casca de arroz utilizada em cada ano

Parâmetros	Unidades	CCA CAAL (RE1)*	CCA CAAL (RE2)*	CCA CAAL (RE3)*	CCA CAAL (RE4)*
pH	-	8,89	6,89	9,40	9,4
PN	%	-	< 1,0	-	1,0
Cinzas	%	89,6	89,6	87,3	-
COT	%	5,7	5,6	6,4	5,3
Umidade	%	0,5	0,5	1,7	-
Densidade	g cm^{-3}	-	0,23	-	-
CTC	mmol kg^{-1}	-	-		182
DBO	mg L^{-1}	-	-	-	1,08
DQO	mg L^{-1}	-	-	-	26,98
Si	g kg^{-1}	-	682	-	-
N	g kg^{-1}	-	0,51	-	-
P	g kg^{-1}	-	0,33	-	-
S	g kg^{-1}	-	0,10	-	-
K	g kg^{-1}	-	4,49	-	-
Ca	g kg^{-1}	-	1,50	-	-
Mg	g kg^{-1}	-	0,37	-	-
Cu	g kg^{-1}	-	1,52	-	-
Mn	g kg^{-1}	-	0,29	-	-
Na	g kg^{-1}	-	0,12	-	-
Zn	g kg^{-1}	-	0,01	-	-

Fontes: *As CCA utilizadas no presente estudo foram submetida à análise no Laboratório ECONSULTING que forneceu os laudos ou Relatórios de Ensaio (RE): RE1 (26305/15.11), RE2 (26306/15.11), RE3 (66833-001-135447/12.15) e RE4 (66833-002-135448/19.15).

Ainda segundo os relatórios, os níveis de boro, cádmio, chumbo, cromo total, mercúrio, níquel, arsênio, bário, prata, selênio, fenol e cianeto ficaram abaixo dos limites mínimos de detecção das metodologias e equipamentos utilizados para as análises.

Nos três anos da pesquisa foi respeitada uma bordadura de 2 fileiras ao longo do comprimento das parcelas (aproximadamente 0,34 m) e 0,5 m nas cabeceiras, para os procedimentos de medição de altura de plantas e para a colheita. As avaliações da altura de plantas foram sempre realizadas no mesmo dia da colheita. Foram 20 plantas escolhidas aleatoriamente em cada parcela, medidas com uma fita métrica de madeira desde a base da planta no solo até a extremidade da folha bandeira.

Para a determinação da produtividade na safra 2012/13, estendeu-se duas fitas de 1 m cada de forma aleatória e desencontradas dentro dos quadros no quadro e colheu-se as linhas dos dois lados dessas fitas, perfazendo uma amostragem de 0,68 m^2.

As plantas colhidas tiveram as panículas separadas da parte vegetativa e cada uma das partes foi acondicionada em sacos de papel identificados. As folhas e colmos foram enviados para o Laboratório de Solos da UNIPAMPA para secagem em estufa de circulação forçada de ar com temperatura entre 65 a 70ºC, onde o material permaneceu por 72 horas para posterior determinação da massa seca.

As panículas colhidas foram separadas para a determinação da produtividade no laboratório do IFSul e 20 delas foram selecionadas aleatoriamente para a determinação do peso médio dos grãos e número de grãos cheios por panícula. Portanto, os cálculos de produtividade consideraram o peso de 1.000 grãos (g), o número de grãos cheios por panícula e o número de panículas na área colhida, devido à indisponibilidade de uma trilhadora.

A produtividade obtida por peso de grão foi extrapolada para 1 ha descontada apenas a umidade.

Após a pesagem foi enviado cerca de 1 kg de grãos de cada parcela para o laboratório da CAAL para a classificação e determinação da qualidade dos grãos, umidade, impurezas e rendimento de indústria.

Na safra 2012/13 foram coletados 200 g de grãos com casca e 200 g de folhas que foram enviadas ao laboratório Bioagri para determinação dos teores de silício (Si) nos tecidos vegetais (folhas e grãos) a fim de verificar se ocorreu uma maior absorção desse elemento pela planta em decorrência da incorporação de CCA no solo.

Para as análises de macro e micronutrientes em tecidos, nas safras 2013/14 e 2014/15 foram coletadas de forma aleatória dentro das parcelas, 20 plantas com panículas maduras (entre 18-20% de umidade). Após a coleta das amostras de folhas, as mesmas foram identificadas e enviadas ao Laboratório de Nutrição e de Plantas do Departamento de Solos da UFPEL.

No laboratório os colmos e folhas e os grãos foram lavados com água destilada para retirada de partículas de solo e poeira, secos ao ar e posteriormente foram colocados em estufa de circulação forçada de ar com temperatura entre 65 a 70ºC, onde o material permaneceu por 72 horas. As folhas e colmos foram picados, os grãos foram descascados e a seguir

triturados separadamente em moinho tipo Müller e passados em peneira de 0,5 mm.

As amostras foram analisadas segundo a metodologia descrita por Tedesco et al. (1995) no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo e no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Solos da UFPEL.

Para a análise dos macroelementos foram usados 0,2 g de tecido moído e feita uma única digestão por H_2O_2 a 30% e H_2SO_4 concentrado com mistura de digestão (cobre e selênio) para a oxidação parcial dos compostos orgânicos. A digestão completa foi obtida colocando-se os tubos de ensaio com as amostras pré-digeridas em bloco digestor a uma temperatura de 350-375 ^{0}C. O material residual foi diluído até 50 ml no próprio tubo e deixado decantar por 12h para a retirada das alíquotas dos extratos.

Para a determinação do NH_4^+, foi retirada uma alíquota de 10 ml para destilação (destilador Marconi MA 036) após adição de NaOH 10 M, coletando-se o destilado em indicador ácido bórico e titulando-se com H_2SO_4 a 0,025 M.

O teor de P foi determinado por espectofotometria numa alíquota do extrato após adição com molibdato de amônio e ac. aminonaftolsulfônico. O K por fotometria de chama. O Ca e o Mg por espectrometria de absorção após diluição do extrato e adição de Sr 0,3% em HCl 0,2 M.

Para a análise dos microelementos foram usados 0,5 g de tecido moído e feita uma única digestão por HNO_3 – $HClO_4$ para a oxidação parcial dos compostos orgânicos. A digestão completa foi obtida colocando-se os tubos de ensaio com as amostras pré-digeridas em bloco digestor a uma temperatura de até 215 ^{0}C. O material residual foi diluído até 20 ml no próprio tubo e deixado decantar por 12 h para a retirada das alíquotas dos extratos. Os microelementos Cu, Zn, Fe e Mn foram determinados no fotômetro de absorção.

Para verificar a eficiência do transporte de fotoassimilados das folhas para os grãos foi utilizado o índice de colheita (IC), determinado pela relação entre a produtividade de grãos ou produtividade econômica (PE) e a massa seca acumulada (produtividade biológica - PB) nas folhas e colmo (IC = PE / PB) conforme Pereira & Machado (1987) sendo desconsideradas as raízes.

Os dados foram submetidos à análise de regressão e de variância (ANOVA) e, quando houve significância estatística, foram realizados testes de média (Tukey a 5%), utilizando o programa estatístico Assistat. Os melhores ajustes para a regressão foram obtidos com linhas polinomiais e, para o ajuste do coeficiente de determinação (R^2), foi adotado o valor mínimo de 0,50 como sendo adequado (BARBETTA, 2012; GREEN; VAN GRIENSVE, 2008; MORIASI et al., 2007).

8.4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.4.1. Altura de planta e massa seca

A Figura 1 constam os dados referentes às médias de alturas de plantas nos três anos de condução do experimento.

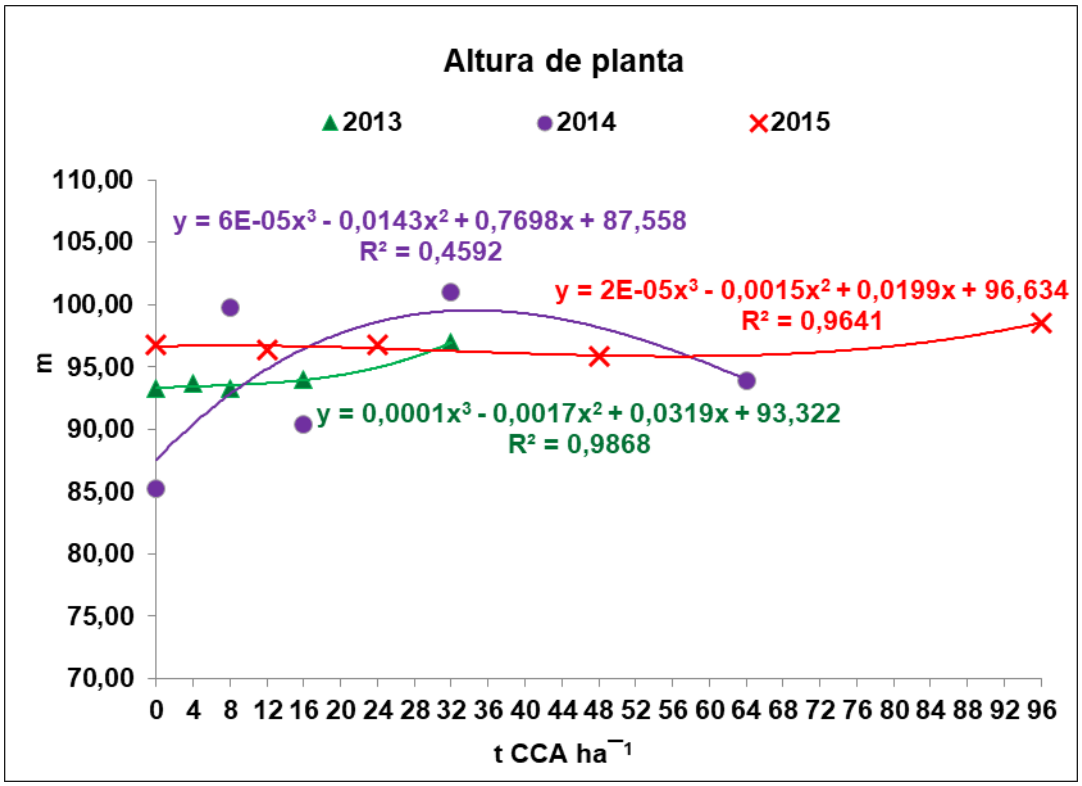

Figura 1 – Alturas médias de plantas submetidas a doses cumulativas de cinza de casca de arroz incorporadas ao solo durante três anos consecutivos

No primeiro de ano de implantação do experimento, a cultura respondeu positivamente à incorporação da CCA, sendo que o aumento de estatura das plantas pode ser justificado em 99% pelas maiores quantidades de cinza incorporada no solo. Na safra seguinte (2013/14) observou-se que os resultados obtidos não encontram relação satisfatória com a adição da CCA (46 %). As médias de altura de plantas dos tratamentos que receberam a cinza foram todas maiores que as médias da testemunha, sendo que as planta dos tratamentos com 8 e 32 t CCA ha^{-1} apresentaram um crescimento médio superior aos demais tratamentos com CCA (Fig. 1).

As plantas da safra 2014/15 apresentaram médias de altura em torno dos 96 cm, inclusive na testemunha. As maiores médias foram observadas no tratamento com um total de 96 t CCA ha^{-1} incorporada. A altura média das plantas apresenta uma tendência de serem maiores conforme um teor maior de CCA no solo, a justificativa para essa relação fica em 96% (Fig. 1).

Na figura 2 observa-se que os teores de massa seca da cultura apresentaram uma alta relação com a adição de doses crescente de CCA no solo nos três anos do experimento. As menores médias foram obtidas no segundo ano de implantação da cultura e no terceiro ano de incorporação sucessiva da CCA as médias superaram o dobro de massa seca obtida nos dois anos anteriores.

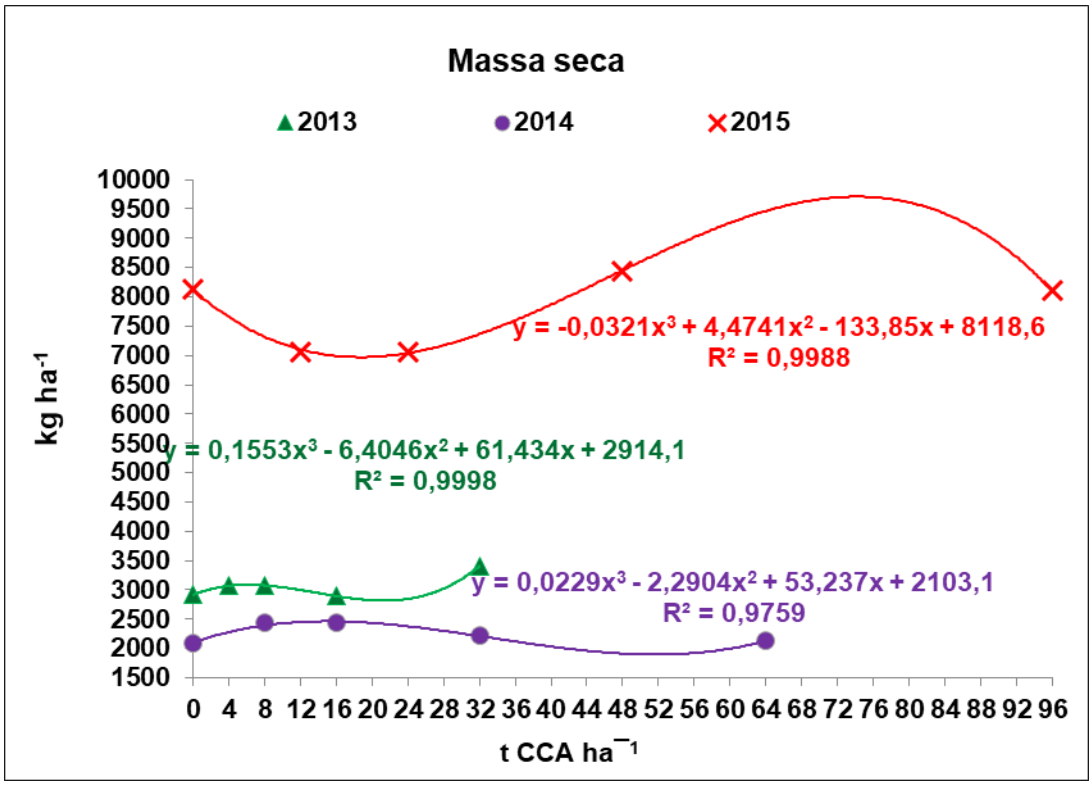

Figura 2 – Massas secas médias de plantas submetidas às doses cumulativas de cinza de casca de arroz incorporadas ao solo durante três anos consecutivos.

Machado e Luz (2009) apresentaram a influência da adubação com cinza de casca de arroz nas características fenotípicas do arroz de sequeiro em um Latossolo Vermelho Amarelo e, com exceção da variável peso da parte aérea, as doses de cinza não influenciaram estatisticamente as variáveis: altura de planta, número de colmos por metro quadrado, números de panículas por metro quadrado, peso da raiz e acúmulo de silício na parte aérea.

8.4.2. Produtividade

Pela figura 3 observa-se que o crescimento das médias de produtividade (por peso de mil grãos) obtidas no primeiro ano de cultivo pode ser justificado em 84% pelo aumento das doses de CCA incorporadas ao solo. As maiores médias de produtividade obtidas foram nas parcelas com 4 e 32 t ha^{-1} ano de CCA: 15.410 e 17.063 Kg ha^{-1}, respectivamente. A menor produtividade foi obtida na parcela com 8 t ha^{-1} ano de CCA: 13.542 Kg ha^{-1}.

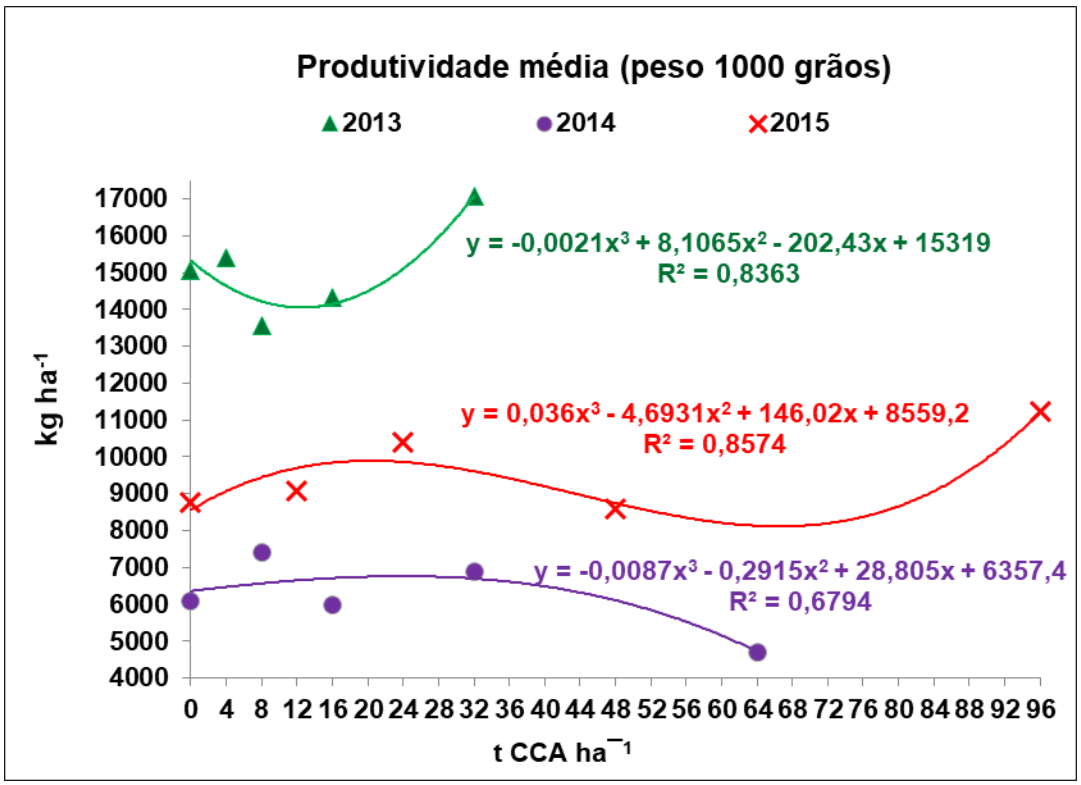

Figura 3 – Produtividades médias (peso de 1000 grãos) de plantas submetidas às doses cumulativas de cinza de casca de arroz incorporadas ao solo durante três anos consecutivos.

As produtividades mais elevadas obtidas na safra 2012/13 talvez também possam ser justificadas pelo fato de que a área encontrava em pousio e não houve grande incidência de invasoras como ocorreu nos dois anos seguintes.

Durante a safra 2013/14 a ocorrência de invasoras foi grande, o que pode justificar em parte a baixa produtividade. Foram realizados de 4 a 5 mutirões nas parcelas mais infestadas ao longo da cultura. Nos estágios iniciais, para cobrir as falhas foram realizados transplantes dentro do mesmo quadro, retirando plantas da linha de bordadura (Fig. 3).

O arranquio das invasoras, o pisoteio nas parcelas e os transplantes realizados provavelmente impactaram no sistema radicular das plantas já estabelecidas, baixando muito a produtividade em relação ao ano anterior.

A menor produtividade média encontrada foi de 4.708 Kg ha^{-1} nas parcelas com duas doses cumulativas de 32 t ha^{-1} e, a maior, foi de 7.401 Kg ha^{-1} nas parcelas com duas doses cumulativas de 4 t ha^{-1} de cinza (Fig. 3).

A cultura estabelecida no ano agrícola 2014/15 sofreu o estresse hídrico devido à ausência de chuvas, sendo necessário dar um banho na área na última semana de novembro, até que ocorresse o início da irrigação permanente por inundação em 26 de dezembro.

Nesse ano também foi constatada uma elevada incidência de invasoras capim-arroz (*Echinochloa* spp.) nos blocos 1 e 2, parte mais baixa do terreno, que conserva maior umidade quando o solo não está alagado. Isso pode ter favorecido a presença dessas plantas ao longo do ano e a sua ressemeadura espontânea aumentando a infestação. Raras plantas de arroz preto foram observadas, mas plantas de arroz vermelho foram de ocorrência mais frequente.

Machado e Luz (2009) apresentaram a influência da adubação com cinza de casca de arroz nas características fenotípicas do arroz de sequeiro em um LATOSSOLO VERMELHO Amarelo e não encontraram relação entre as doses de cinza e o número de panículas por metro quadrado.

8.4.3. Teores de macro e micronutriente nas plantas

Os efeitos da CCA nos teores de micronutrientes nas folhas, colmos e grãos (Tab. 4) não foram significativos pelo Teste de Tukey (5%) em ambas as safras analisadas (2013/14 e 2014/15).

Tabela 4 - Tratamentos e teores médios de silício (g kg^{-1}) e de micronutrientes (mg kg^{-1}) nas folhas e grãos de arroz irrigado cultivado em solo com doses cumulativas de cinzas de casca de arroz.

Tratam.	Si	Cu		Zn		Fe		Mn	
(t ha^{-1} ano)	2013/14	2013/14	2014/15	2013/14	2014/15	2013/14	2014/15	2013/14	2014/15
					Análise de folha				
0	61,28	25,30	23,99	36,66	133,84	356,03	1.080,16	971,40	1.164,78
4	52,07	15,59	14,78	30,85	112,66	412,21	626,76	938,42	1.042,61
8	55,41	25,71	24,38	30,85	112,66	317,90	1.282,92	1.031,33	961,58
16	53,33	16,80	15,93	28,04	102,39	299,93	723,75	1.000,76	1.085,41
32	54,25	17,00	16,12	25,05	91,47	281,23	778,30	793,21	992,74
					Análise de grão				
0	28,41	79,35	75,24	47,29	172,68	60,34	207,30	265,25	83,11
4	23,11	92,50	87,72	52,83	192,90	54,78	188,21	221,50	78,54
8	24,23	74,08	70,25	44,74	163,37	52,66	180,94	202,75	82,69
16	25,63	71,05	67,37	45,49	166,10	48,69	167,30	208,50	79,37
32	25,00	75,10	71,21	46,11	168,34	48,96	168,21	193,00	81,03

Observação: as safras 2013/14 e 2014/15 estão com doses cumulativas de CCA. Dessa forma, o total incorporado em 2013/14 foi de: 0, 8, 16, 32 e 64 t CCA ha^{-1} e o total incorporado em 2014/15 foi de: 0, 12, 24, 48 e 96 t CCA ha^{-1}.

Pela tabela 4 pode-se observar que não foram observados aumentos significativos dos teores de Si nas folhas e grãos, pelo teste de Tukey. Esses resultados provavelmente devem-se aos teores elevados de silício existentes no solo do experimento, de forma que a cultura já atingiu o seu máximo de absorção desse elemento do solo.

Resultados semelhantes foram encontrados por Machado e Luz (2009) em um experimento com arroz de sequeiro em um Latossolo Vermelho Amarelo, em que não observaram influência da cinza no acúmulo de silício da parte aérea das plantas.

Ocorreram diferenças significativas nos teores dos macronutrientes N, K e Mg das folhas ao nível de 5%. A análise foliar das plantas cultivadas em 2014/15, sob os tratamentos com 4 t CCA ha^{-1} ano não diferiram nos teores de N apenas do tratamento com 16 t CCA ha^{-1} ano.

Tabela 5 - Tratamentos e concentração média de macronutrientes (g kg^{-1}) nas folhas e grãos de arroz irrigado cultivado em solo com doses cumulativas de cinzas de casca de arroz.

Tratam.	N		P		K		Ca		Mg	
(t ha^{-1} ano)	2013/14	2014/15	2013/14	2014/15	2013/14	2014/15	2013/14	2014/15	2013/14	2014/15
					Análise de folha					
0	7,12	7,92 b	0,75	1,16	11,49 b	27,86	4,08	4,36	3,19 a	2,81
4	7,24	10,50 a	0,53	1,61	12,59 b	27,06	4,43	4,08	3,19 ab	2,37
8	6,38	8,35 b	0,94	1,05	12,79 b	28,54	4,68	3,94	3,25 ab	2,41
16	6,65	8,53 ab	0,84	1,48	15,05 ab	34,16	4,58	3,51	3,26 ab	2,07
32	7,42	8,09 b	0,91	1,34	18,02 a	35,32	4,23	3,60	2,46 b	1,65
					Análise de grão					
0	13,80	24,45	2,87	3,69	2,71	4,00	0,54	0,57	1,86	2,74
4	13,17	22,78	3,84	2,83	3,36	3,36	0,56	0,51	1,93	2,39
8	12,58	21,43	3,26	3,37	2,91	3,23	0,52	0,53	1,61	2,48
16	13,54	21,39	3,66	3,34	3,16	2,97	0,52	0,47	1,99	2,03
32	13,44	23,57	3,74	3,65	3,03	3,29	0,52	0,57	1,76	2,29

Observação: as safras 2013/14 e 2014/15 estão com doses cumulativas de CCA. Dessa forma, o total incorporado em 2013/14 foi de: 0, 8, 16, 32 e 64 t CCA ha^{-1} e, o total incorporado em 2014/15 foi de: 0, 12, 24, 48 e 96 t CCA ha^{-1}

Na safra 2013/14, a análise foliar mostrou que os tratamentos com 16 e 32 t CCA ha^{-1} ano não apresentaram diferenças estatística nos teores de K e, para os teores de Mg, a diferença foi significativa entre a testemunha e o tratamento com 32 t CCA ha^{-1} ano (Tab. 5).

8.4.4. Qualidade de grão

Após avaliação da qualidade dos grãos pela agroindústria, não foram encontradas diferenças significativas com relação ao polimento, brancura, transparência de grãos e os teores de impurezas, trincados, barriga branca, grãos gessados, picados e manchados.

A variedade utilizada no experimento apresentou melhor rendimento de indústria a partir do segundo ano de incorporação da CCA no solo.

O melhor resultado para a qualidade de grão foi obtida no terceiro ano, sendo observada uma relação positiva, 98% justificada pela incorporação da CCA no solo.

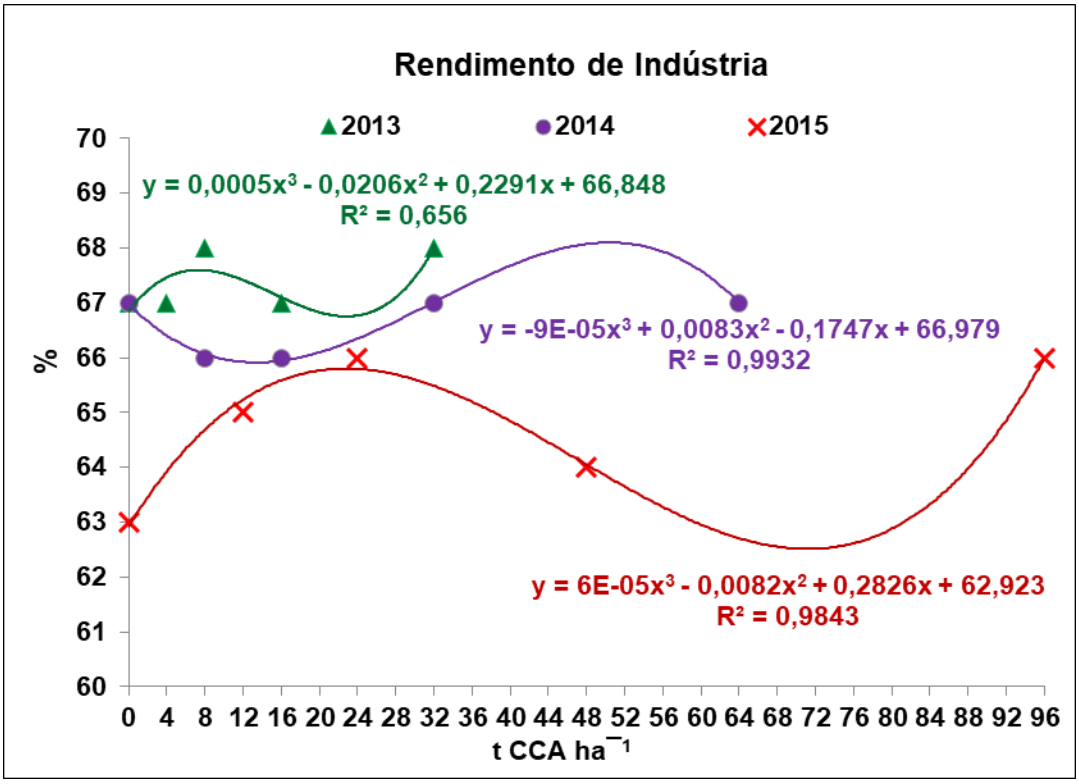

Figura 8 – Rendimento de indústria da variedade BR IRGA 409 cultivada em solo com cinza de casca de arroz incorporada durante três anos consecutivos.

8.5. CONCLUSÕES

A adição de CCA por três anos consecutivos não afetou significativamente a produtividade nem os teores de macro e micronutrientes nas plantas de arroz;

A adição das diferentes doses de CCA incorporadas no solo melhorou a qualidade de indústria dos grãos de arroz.

8.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADOLPHO, D. O.; SILVA, M. F. M. M. DA;JORGE, R. R.; MACHADO, R. F.; NEUMANN, S. A.; CAZABONET, L. R.; PYDD, E. B. Efeitos da adubação com cinza de casca de arroz em parâmetros produtivos de arroz irrigado. XII Conferência Internacional de Arroz para América Latina e Caribe – 23 a 26/02/2015 – Porto Alegre, RS. Anais eletrônicos... Porto Alegre, RS. 2015.

AZAMBUJA, I. H. V.; VERNETTI JÚNIOR, F. de J.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. Aspectos socioeconômicos da produção de arroz. In: GOMES, A. da S.;

MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. (Ed.). Arroz irrigado no sul do Brasil. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 23-44.

BARBETTA, P. A. et al. Estatística aplicada às ciências sociais. 8. ed. Florianópolis: UFSC, 2012. 318 p.

BRASIL. Instrução normativa nº 6, de 16 de fevereiro de 2009. Aprova o RegulamentoTécnico do Arroz, definindo o seu padrão oficial de classificação, com os requisitos deidentidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ourotulagem. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 fev. 2009.Seção 1, p. 2-7.

BRASIL. Instrução normativa nº 2, de 6 de fevereiro de 2012. Alterações no RegulamentoTécnico do Arroz. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 7 fev.2012. Seção 1, p.5-7.

CAAL – Cooperativa Agroindustrial Alegrete Ltda. Disponível em: <http://www.caal.com.br/site/noticias>. Acesso em: 2/jan./2015.

CASTRO, E. da M. de: VIEIRA, N.R. de A.; RABELO, R.R.; SILVA,S.A. da. Qualidade de grãos em arroz. Santo Antônio de Goiás:Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 30p. (Embrapa Arroz e Feijão.Circular Técnica, 34).

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>. Acesso em: set./2017.

DONALD, C.M.; HAMBLIN, J. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. Advances in Agronomy, v.28, p.351-405, 1976.

FERRAZ, E.C. Ecofisiologia do arroz. In: CASTRO, P.R.C., FERREIRA, S.O., YAMADA, T. Ecofisiologia da produção agrícola. Piracicaba: Associação Brasileira de Pesquisa da Potassa e do Fostato, 1987. p. 185-20

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAOSTAT. Disponível em:<http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/Q/QC/S>. Acesso em: out./2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAOSTAT. Disponível em:<http://www.fao.org/rice2004/en/f-sheet/factsheet3.pdf>. Acesso em: out./2014.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER DO RIO GRANDE DO SUL – FEPAM. Diretriz Técnica Nº 002/2011 – DIRTEC: gestão de resíduos caracterizados como casca de arroz e cinzas resultantes do processo de queima da casca. FEPAM. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/central/diretrizes/Diret_Tec_02_2011.pdf>. Acesso em: Out./2014.

GREEN, C; A VAN GRIENSVEN,. Autocalibration in hydrologic modeling: Using SWAT2005 in small-scale watersheds. Environmental Modelling & Software, [s.l.], v. 23, n. 4, p.422-434, abr. 2008. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2007.06.002. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815207001168>. Acesso em: 18 out. 2016.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ - IRGA. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/upload/20130807102620safra_2012_13_rs_municipal.pdf>. Acesso em: set./2016.

MACHADO, M. D.; LUZ, P. B. da. Desenvolvimento de plantas de arroz de terras altas em função de doses da cinza da casca de arroz. Universidade do Estado de Mato Grosso. 2ª. JORNADA CIENTÍFICA DA UNEMAT. Barra dos Bugres, MT: 05 e 06 de outubro de 2009.

MORIASI, D. N. et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the Asabe, [s.l.], v. 50, n. 3, p.885-900, 2007. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). http://dx.doi.org/10.13031/2013.23153. Disponível em: <https://www.scienceopen.com/document?vid=0407b969-7eb9-4361-83ea-b7e5c5225ea3>. Acesso em: 19 jan. 2016.

NAVESI, M. M. V.; BASSINELLO, P. Z. Importância na nutrição humana. In: SANTOS, A. B. dos; STONE, L. F.; VIEIRA, N. R. de A. (Ed.). A cultura do arroz no Brasil. 2.ed. rev. ampl. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 1000 p. il. P. 17 - 30.

SILVA, F. F.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L.; MUNIZ, A. S.; R. C. FERREIRA. 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, Vol. 1, No. 1. 2008.

SILVA, M. F. M .M da. VAHL, L.C.; TIMM, L.C.; JORGE, R.R.; MACHADO, R. F. Impacto da adição da cinza da casca de arroz na água percolada de solo sob cultivo de arroz, soja e milho. In: XX CONGRESO LATINOAMERICANO Y XVI CONGRESO PERUANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 09-15 de novembro de 2014, Cusco. Anais eletrônicos... Cusco, Peru. 2014.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO - SOSBAI. Arroz Irrigado: Recomendações Técnicas da Pesquisa para o Sul do Brasil. Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. Itajaí/SC: SOSBAI, 2012. 179p., il.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p. (Boletim Técnico, 5).

9. CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados indicam que os efeitos positivos da CCA na densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade tanto na camada superior quanto inferior, se fazem perceber mais evidentemente após o segundo ano de incorporação. A incorporação da CCA no solo não afetou a estabilidade dos agregados. Provavelmente esses resultados devem sofrer também a influência do manejo de preparo do solo com a grade e do próprio desenvolvimento radicular da cultura e incorporação da resteva, que contribuem para uma melhor homogeneização da cinza no perfil agrícola.

Os efeitos mais evidentes da aplicação de cinza de casca de arroz em parâmetros químicos da fertilidade do solo foram a diminuição da acidez e os aumentos dos teores de K e Mg trocáveis.

A adição de CCA no solo estudado promove um incremento no CBMS e da qualidade nutricional da microbiota, indicando que a mesma possa estar se beneficiando do C contido na CCA. Os tratamentos da área experimental apresentam índices de Reservatório de Carbono inferiores ao da área em pousio como reflexo do revolvimento do solo para a implantação da cultura.

O decréscimo dos valores de qCO_2 indicam que o tipo de solo do experimento tende à estabilidade, com maior eficiência na conversão do C em biomassa e menos CO_2 liberado para a atmosfera com o aporte de dosagens de CCA até 64 t ha^{-1}. Nas condições climáticas do experimento, e considerando o tipo de solo da área, a incorporação de até 64 t de CCA ha^{-1}, não provoca impactos negativos para a microbiota do solo.

A adição de CCA por dois anos consecutivos não afetou significativamente a produtividade e os teores de macro e micronutrientes analisados, com exceção do potássio na dosagem de 32 t de CCA ha^{-1} ano. A adição das diferentes doses de CCA incorporadas no solo afetou positivamente a qualidade de indústria da variedade de arroz irrigado avaliada.