

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PRICILA VETRANO RIZZO

ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO EM RAZÃO DO MANEJO DA PALHA DE
ARROZ IRRIGADO COM SOJA EM SUCESSÃO NO ESTADO DO TOCANTINS

CURITIBA

2019

PRICILA VETRANO RIZZO

ATIVIDADE ENZIMÁTICA DO SOLO EM RAZÃO DO MANEJO DA PALHA DE
ARROZ IRRIGADO COM SOJA EM SUCESSÃO NO ESTADO DO TOCANTINS

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Pós-Graduação MBA em Gestão Ambiental, Setor de Economia Rural e Extensão, Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Paraná para obtenção do título de Especialista em Gestão Ambiental.

Orientadores: Prof. Ms. Danilo Martins Teixeira
Profa. Dra. Karina Scurupa Machado
Dra. Mellissa Ananias Soler da Silva

CURITIBA

2019

Atividade enzimática do solo em razão do manejo da palha de arroz irrigado com soja em sucessão no estado do Tocantins

Pricila Vetrano Rizzo

RESUMO

O manejo inadequado das culturas tem efeito direto sobre a diversidade e atividade biológica no solo, reduzindo a atividade enzimática esperada sob condições de manejo adequado, impactando diretamente a saúde do solo. A presença de grande quantidade de palha do arroz após a colheita dificulta as operações de preparo do solo necessárias para a semeadura da soja dentro da época recomendada para a cultura no Tocantins. Para reduzir esse tempo de preparo e custos, o setor produtivo, frequentemente, realiza a queima da palha. Por outro lado, as enzimas betaglicosidase, arilsulfatase e fosfatase têm sido utilizadas como bioindicadores eficientes para avaliação da qualidade do solo por serem sensíveis às mudanças ocasionadas pelo manejo. Este trabalho teve como objetivo avaliar diferentes manejos da palha do arroz irrigado na cultura da soja em sucessão. Foram analisados os atributos químicos do solo: pH, matéria orgânica do solo (MOS) e fósforo (P); atividade enzimática (betaglicosidase, arilsulfatase e fosfatase) e produtividade da soja. Os tratamentos testados foram diferentes manejos para a palha do arroz como queima, retirada e manejos que promovem a incorporação da palha no solo. Após análise da variância (ANOVA) e aplicação do teste de Tukey, os resultados apresentaram diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) mostrando que os manejos com incorporação da palha no solo apresentaram menores valores de pH, melhores respostas para atividade enzimática e maiores valores de produtividade da soja.

Palavras-chave: cultivo de arroz, enzimas do solo, manejo do solo, qualidade do solo, produção de grãos, resíduos vegetais.

ABSTRACT

Inadequate crop management has a direct effect on diversity and biological activity in the soil, reducing the expected enzymatic activity under proper management conditions, directly impacting the soil health. The presence of large amounts of rice straw after harvesting makes the soil tillage for soybean sowing within the recommended growing season in Tocantins, really hard. To reduce the time tillage and costs, stakeholders often burns the straw. On the other hand, the enzymes betaglicosidase, arylsulfatase and phosphatase have been used as efficient bioindicators for soil quality evaluation because they are sensitive to changes caused by management. The objective of this work was to evaluate different rice straw management in soybean crop after rice. The following chemical attributes of soil were analysed: pH, soil organic matter (MOS) and phosphorus (P); enzymatic activity (betaglicosidase, arylsulfatase and phosphatase) and soybean yield. The treatments

tested were different rice straw managements as burning of the straw, removal of the straw and managements that promote straw incorporation in the soil. After analysis of variance (ANOVA) and Tukey test, results showed significant differences ($\alpha < 0.05$) showing that managements with straw incorporation in the soil presented lower pH values, better responses to enzymatic activity and higher soybean yield.

Keywords: grain production, plant residues, rice crop, soil enzymes, soil management, soil quality.

1 INTRODUÇÃO

Sistemas em equilíbrio apresentam grande diversidade biológica. A presença de enzimas favorece a disponibilidade dos nutrientes e seu uso eficiente pelas plantas no sistema contribuindo para melhor desenvolvimento e sanidade, o que pode refletir em maior rentabilidade dos sistemas produtivos.

Enzimas do solo atuam em reações de decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e formação da matéria orgânica e estrutura do solo e, por serem indicadores mais sensíveis que os parâmetros físicos e químicos, respondem mais rapidamente às mudanças que ocorrem devido ao uso e manejo do solo, fornecendo informações acerca de alterações na qualidade do solo com maior antecedência (MENDES et al., 2018).

O arroz é cultivado e consumido em todo o mundo e base da alimentação de países mais populosos da Ásia, África e América Latina. De acordo com levantamento realizado pela FAO (2019), 21% da quantidade de alimentos consumida no mundo é composta por cereais dos quais o arroz representa 8% ficando logo atrás do trigo que representa 10% deste grupo de alimentos.

O Tocantins é o terceiro maior produtor de arroz do país. A previsão para a safra 2018/2019 é de produção de 624 mil toneladas de arroz cultivadas em 120 mil hectares (CONAB, 2019a), o que significa aumento de 48% comparada com a produção de 2008 (IBGE, 2019). A maior parte do arroz beneficiado pelas indústrias do estado atende os mercados do Tocantins, Pará e Maranhão (FRAGOSO et al., 2013).

O aumento da produtividade de grãos de arroz também promove o aumento da produção de palha já que as cultivares de arroz possuem, em média, quantidade

de palha semelhante à quantidade de grãos produzidos (DOS SANTOS et al., 2017). A queima da palha é o manejo mais fácil e, aparentemente, menos oneroso adotado pelos produtores porém não é ambientalmente correto.

O manejo inadequado das culturas, especialmente com o uso de fogo para manejo da palha, tem efeito direto sobre a diversidade e atividade biológica no solo, reduzindo a atividade enzimática que deveria ocorrer naquele solo sob condições de manejo adequado, impactando na saúde e qualidade do solo, na produtividade das culturas e causando danos ao meio-ambiente.

Até poucos anos atrás, bastava o solo ser rico em nutrientes e atender as exigências da cultura para ser considerado um solo de qualidade. Atualmente, entende-se que a qualidade do solo não está somente relacionada a fertilidade química mas também com a estrutura do solo e diversidade de microrganismos nele presentes (ZILLI et al., 2003).

Sabendo-se que o manejo da palha do arroz, usualmente realizado, é ambientalmente inadequado e pode afetar a produção agrícola, torna-se imperativo realizar estudos avaliando diferentes tipos de manejo da palha no sistema de arroz irrigado com soja em sucessão, para quantificar qual deles traz mais benefícios para a qualidade do solo e meio-ambiente e, ao mesmo tempo, aumenta a produtividade das culturas.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo geral avaliar diferentes manejos da palha do arroz irrigado sobre a cultura da soja em sucessão. Os objetivos específicos são avaliar os atributos químicos do solo, as atividades das enzimas betaglicosidase, arilsulfatase e fosfatase e a produtividade da soja para identificar o manejo que promove a melhoria da qualidade do solo e aumento na produtividade da lavoura da soja.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cenário da produção de grãos

O Brasil é um dos principais produtores e exportadores do grãos do mundo. e, a estimativa da produção da safra 2018/2019 é de 240,7 milhões de toneladas de grãos, 5,7% acima da safra anterior, cultivados em uma área de 62,9 milhões de hectares (CONAB, 2019b).

A soja é um dos principais grãos produzidos e exportados pelo país, e a maior parte do que é produzido é destinado a alimentação animal. A estimativa é que a produção para a safra de 2018/2019 seja de 117 milhões de toneladas, sendo 78,50 milhões de toneladas destinadas para exportação o que faz do Brasil o segundo maior produtor e o maior exportador de soja do mundo (CONAB, 2019c).

O arroz, ao contrário do que acontece com a soja, é a base da alimentação da população brasileira, com consumo anual estimado de 7,7 milhões de toneladas (CONAB, 2019a). A cadeia produtiva tem importante papel cultural, social e econômico para o país.

Dados da CONAB (2019a) mostram que a previsão de produção mundial será em torno de 500 milhões de toneladas do grão para a safra 2018/2019. No Brasil, a previsão é de 7,48 milhões de toneladas produzidas sendo as quantidades importadas e exportadas muito pequenas, respectivamente 850 mil e 700 mil toneladas.

No Cerrado brasileiro, o arroz de sequeiro foi utilizado como cultura para abertura de áreas para plantios agrícolas e atualmente, compõe os modernos sistemas produtivos integrados com soja, milho e pastagens (SOLER-SILVA et al., 2019). Por outro lado, o arroz irrigado por inundação cultivado neste bioma representa não apenas a oportunidade de desenvolvimento econômico e social para a região mas importante fator de segurança e soberania nacionais na ocorrência de situações de risco de quebra de produção, reduzindo assim a pressão sobre os estados do Sul do país.

2.2 Produção de grãos no estado do Tocantins

O estado do Tocantins, terceiro maior produtor de arroz do país e o maior do Cerrado, tem tradição na produção de arroz irrigado por inundação em que o cultivo é realizado nas várzeas dos rios Tocantins e Araguaia, por meio da elevação do lençol freático, pelo acúmulo de águas das chuvas durante a estação chuvosa e/ou pelo bombeamento de águas dos afluentes destes rios (FRAGOSO et al., 2013).

Dados apresentados pela Embrapa Arroz e Feijão (2018) mostram que a produtividade do arroz cultivado no país tem aumentado anualmente. Se for considerado o cultivo do arroz irrigado, por exemplo, o aumento da produtividade foi de 80% em 30 anos.

2.3. Manejo da palha de arroz

O desafio dos produtores, atualmente, está restrito não somente ao aumento da produtividade como também da lucratividade e da produção de alimentos de qualidade, saudáveis e com baixo custo ambiental e social (MENDES et al., 2015a). É o caso dos produtores de arroz que têm buscado alternativas economicamente viáveis e ambientalmente corretas para realizar o manejo da palha cuja quantidade produzida é semelhante a da produção de grãos por hectare.

A presença da palha na área dificulta enormemente as operações de preparo e, por vezes, os produtores tem a percepção de que seu manejo representa elevados custos, além de atrasos que podem comprometer a instalação da lavoura dentro da janela adequada para o plantio da soja. Essa percepção tem incentivado, ao longo dos anos, ações de queima da palha para “otimizar” as demais operações de preparo, semeadura e adubação da cultura da soja, em sucessão e, como consequência, tem afetado a diversidade biológica do solo e a produtividade da área.

2.4. Atividade enzimática do solo

Enzimas do solo são catalisadoras para a decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes e influenciam a qualidade ambiental e produtividade das culturas. A intensificação dos manejos agrícolas com mecanização, monocultura, e retirada dos resíduos da lavoura aceleram o processo de degradação do solo com perda de carbono orgânico, reduzem a diversidade microbiana e a atividade enzimática e, conseqüentemente, a disponibilidade de nutrientes no solo causando prejuízos para a produção agrícola e para o meio-ambiente (BALOTA et al., 2013; RAO et al., 2017).

Os microrganismos representam entre 60 e 80% da fração viva e ativa da matéria orgânica do solo que é o principal indicativo da fertilidade nos solos tropicais (MENDES et al., 2015b). Nos últimos anos, tem se pesquisado mais sobre práticas sustentáveis de manejos agrícolas e métodos de estudos ou indicadores que possam prever a qualidade do solo em diferentes tipos de manejo (BALOTA et al., 2013).

A participação dos microrganismos em todos os processos que ocorrem no solo para a ciclagem de nutrientes justifica o uso dos indicadores microbiológicos como ferramenta para avaliar a qualidade do solo bem como a realização de estudos para

definir quais indicadores são mais adequados (MENDES et al., 2015a). Além disso, as enzimas são capazes de detectar com antecedência mudanças na saúde do solo pois respondem às mudanças de manejo e fatores ambientais antes que outros parâmetros de qualidade do solo (RAO et al., 2017).

Estudos que avaliam diferentes tipos de manejo do solo (DENG e TABATABAI, 1997; BALOTA et al., 2004; HUNGRIA et al. 2009; LOPES et al. 2013; MENDES et al., 2015b) tem sido realizados nos últimos anos e mostram que a atividade enzimática é um bioindicador importante e contribui para detectar mudanças na qualidade do solo ocasionadas pelo manejo, que normalmente a análise física e química não é capaz de detectar.

Balota et al.(2004) observaram aumento significativo da atividade enzimática da amilase, celulase, arilsulfatase e fosfatase em solo cultivado em plantio direto quando comparado ao plantio convencional (uso de arado e niveladora) e diferentes rotações de culturas (soja/trigo, milho/trigo e algodão/trigo). Neste estudo também foram observadas correlações significativas entre a atividade enzimática e o carbono do solo e carbono total do solo e carbono e nitrogênio da biomassa microbiana mostrando que a atividade enzimática é um indicador sensível para as avaliações de qualidade de solo e pode contribuir para a adoção de práticas de manejo que visam o a conservação do solo e aumento da produtividade ao longo dos anos.

De acordo com Mendes et al. (2018), os estudos realizados no Cerrado utilizando enzimas como bioindicadores da qualidade do solo mostraram que arilsulfatase e beta-glicosidase foram as que apresentaram maior sensibilidade para detectar as alterações no solo causadas pelo manejo adotado.

Juntamente com a fosfatase, a arilsulfatase e a betaglicosidase exercem papel importante no solo de cultivo do arroz pois estão relacionadas, respectivamente, com os ciclos do fósforo, enxofre e carbono nutrientes essenciais para o pleno desenvolvimento da cultura no Cerrado brasileiro.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização da área

O experimento foi conduzido no ano de 2018, em uma área de produção de grãos onde o manejo da palha do arroz tem sido estudado há 5 anos, na Fazenda

Talismã, instalada no Projeto Formoso, no município de Formoso do Araguaia, Tocantins. A classificação climática é B1wA'a', clima úmido com moderada deficiência hídrica (KOTTEK et al., 2006). A precipitação pluvial no Estado do Tocantins é caracterizada por ser crescente do sul para o norte e do leste para o oeste. O índice pluviométrico médio anual está em torno de 1.586 mm (EMBRAPA, 2019). A topografia é plana, tratando-se de várzeas úmidas de alta produtividade. O solo é caracterizado como um Plintossolo (MIRANDA et al., 2017), de textura franco argilosa, com coordenadas 12° 02' 00" latitude S e 49° 43' 00" longitude W, a 215m de altitude.

3.2 Manejos realizados

Foram avaliados os seguintes manejos da palha do arroz: M1 - queima da palha e preparo do solo com grade aradora e grade niveladora (tratamento controle – manejo normalmente adotado pelos produtores); M2 – retirada da palha para vários usos, como fenação ou embalagem de melancia, e preparo do solo com grade aradora e grade niveladora; M3 - preparo com grade aradora e grade niveladora; M4 - preparo com uma passada de rolo-faca e grade niveladora; M5 - preparo com duas passadas de rolo-faca e grade niveladora. Os tratamentos foram distribuídos ao acaso em parcelas de 10m largura por 60m de comprimento totalizando 600 m² de área. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, conforme metodologia apresentada por Chacín Lugo (1997), com seis repetições.

A semeadura do arroz foi efetuada em outubro de 2017, com a cultivar BRS Catiana, na densidade de 80 sementes por metro e no espaçamento de 0,17 m entre linhas e a semeadura da soja foi efetuada no mês de maio, período que compreende o vazio sanitário para a região. Foi utilizada a cultivar M-8644, na densidade de 15 sementes por metro, inoculadas com rizóbio e tratadas com fungicidas, no espaçamento de 0,40 m entre linhas. Tanto no arroz como na soja, foram empregadas as práticas culturais preconizadas pelo produtor.

Os manejos da palha com rolo-faca (M4 e M5) foram realizados em abril de 2018, após a retirada do arroz com o solo ainda encharcado. Os manejos da queima da palha (M1), retirada da palha (M2) e grade aradora (M3) foram realizados no mês de maio de 2018, imediatamente antes do plantio da soja.

A produtividade da soja para as áreas com diferentes tipos de manejo foi obtida em agosto/2018, durante a colheita do grão.

No mês de julho de 2018, durante a floração da soja quando a atividade microbiana está mais intensa (HUNGRIA et al., 2009; SUGIYAMA et al., 2014), foram coletadas amostras de solo da camada de 0-0,10m, para avaliação da atividade enzimática e análise dos atributos químicos.

As amostras foram acondicionadas e levadas para o Laboratório de Solos da Embrapa Arroz e Feijão onde foram secas e armazenadas para posterior análise.

3.3. Análises realizadas e obtenção dos dados

O atributo físico do solo avaliado foi textura, segundo Claessen (1997). O solo das parcelas experimentais possui, predominantemente, textura franco argilosa e apresenta algumas áreas com textura franco argiloso arenosa. Por este motivo, o teor de argila para cada tratamento também foi analisado e, mesmo sabendo que este é um atributo permanente do solo, será apresentado com o intuito de contribuir com a interpretação dos resultados.

Os atributos químicos avaliados foram o pH do solo, matéria orgânica (MOS) e fósforo (P). O pH foi determinado em água, o fósforo extraído com a solução de Mehlich 1 (HCl a 0,5 N + H₂SO₄ a 0,025 N) e determinado por espectroscopia de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente de acordo com as metodologias descritas em Teixeira et al. (2017). A matéria orgânica foi determinada pelo método da combustão úmida com dicromato de sódio como descrito por Souza et al. (2016).

Em março de 2019, foram realizadas as análises de atividade enzimática para a betaglicosidase, arilsulfatase e fosfatase de acordo com metodologia proposta por Tabatabai (1994) e modificada por Lopes et al. (2013), com o uso de terra fina seca ao ar. Esta metodologia se baseia na determinação colorimétrica do p-nitrofenol (coloração amarela) formado após a adição de substratos incolores específicos para cada enzima avaliada. Para cada amostra de solo coletada no campo foram efetuadas três repetições analíticas no laboratório. A atividade enzimática do solo foi expressa em µg p-nitrofenol liberado por grama de solo seco por hora.

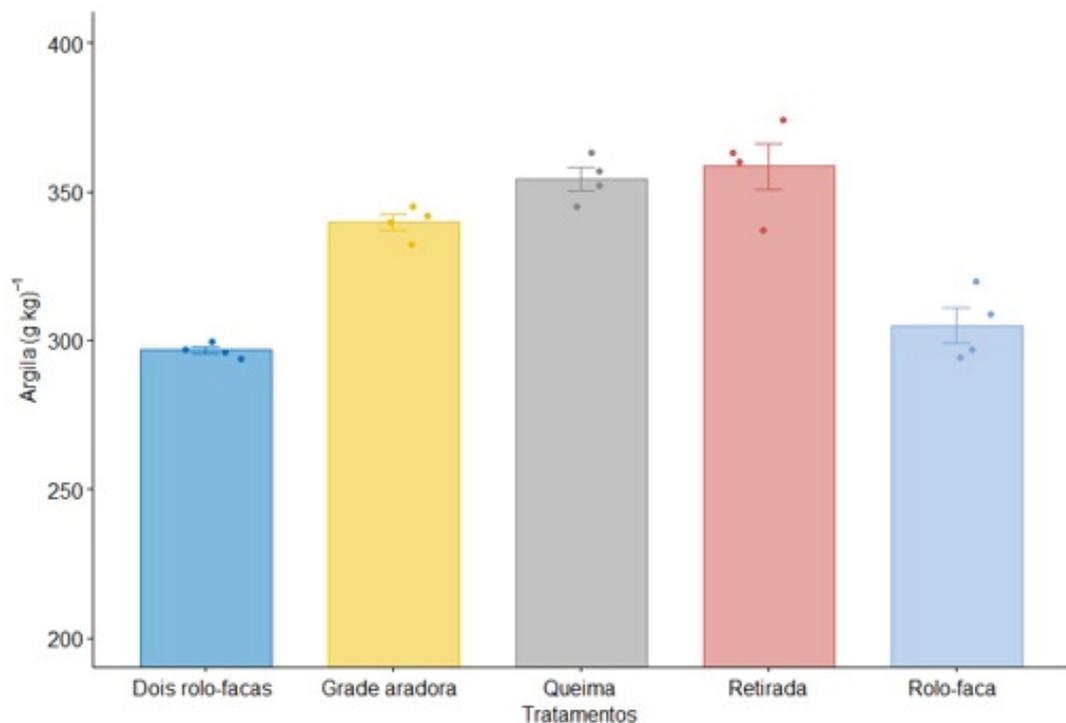
Os resultados obtidos foram tabulados, submetidos a ANOVA no programa R (R Core Team, 2019) e, no caso de diferenças significativas ($\alpha < 0,05$) foi aplicado o teste de Tukey para comparação das médias.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Argila e atributos químicos

Os teores de argila variaram de 358,50 g kg⁻¹ no solo do manejo de retirada da palha (M2) e 296,67 g kg⁻¹ no solo do manejo com duas passadas de rolo-faca (M5). Sendo assim, os teores de argila dos solos com manejos de retirada (M2), queima (M1) e grade aradora (M3) estes últimos com teores de argila de 354,25 e 339,62 g kg⁻¹, respectivamente, são estatisticamente maiores que os dos solos dos manejos com uma passada de rolo-faca (M4) e duas passadas de rolo-faca (M5), cujos valores médios são de, respectivamente, 305 e 296,67 g kg⁻¹ (GRÁFICO 1).

GRÁFICO 1 - TEORES DE ARGILA (G KG⁻¹) NOS SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES TIPOS DE MANEJO DA PALHA DE ARROZ.



FONTE: A autora (2019).

Houve ainda diferença significativa entre os teores de argila do manejo de queima da palha (M1) e o manejo de grade aradora (M3), porém considera-se que a

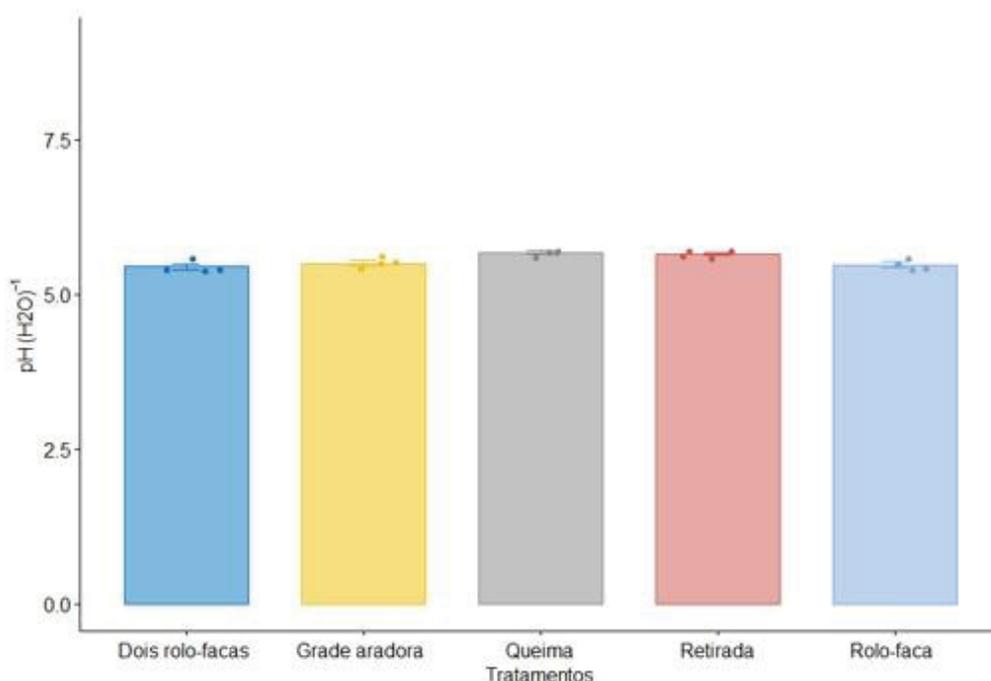
textura do solo, M1, M2 e M3 são classificados com textura franco argilosa e M4 e M5 são solos de textura franco argiloso arenosa (IBGE, 2007).

É importante ressaltar que o teor de argila, juntamente com os teores de silte e areia, definem a textura, que é considerada um atributo permanente do solo assim como a mineralogia, a cor e a densidade das partículas, inerentes às propriedades de cada solo que definem sua classificação pedológica (DORAN e PARKIN, 1994) e, portanto, não é alterada com práticas de manejo.

A apresentação desta informação contribuirá para compreender os resultados das demais variáveis analisadas neste estudo já que as partículas mais finas do solo, como as partículas de argila, estão estreitamente relacionadas com maior disponibilidade de nutrientes e substratos para microrganismos do solo favorecendo a diversidade de bactérias e aumento da biomassa microbiana (SESSITHSCH et al. (2001).

O GRÁFICO 2 indica que os manejos de queima (M1) e retirada (M2) da palha do arroz apresentaram estatisticamente os maiores valores para pH, respectivamente, 5,68 e 5,65 enquanto para os manejos da palha com grade aradora (M3), uma passada de rolo-faca (M4) e duas passadas de rolo-faca (M5) o pH foi de, respectivamente, 5,5; 5,48 e 5,45.

GRÁFICO 2. PH DOS SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES TIPOS DE MANEJO DE PALHA DE ARROZ.

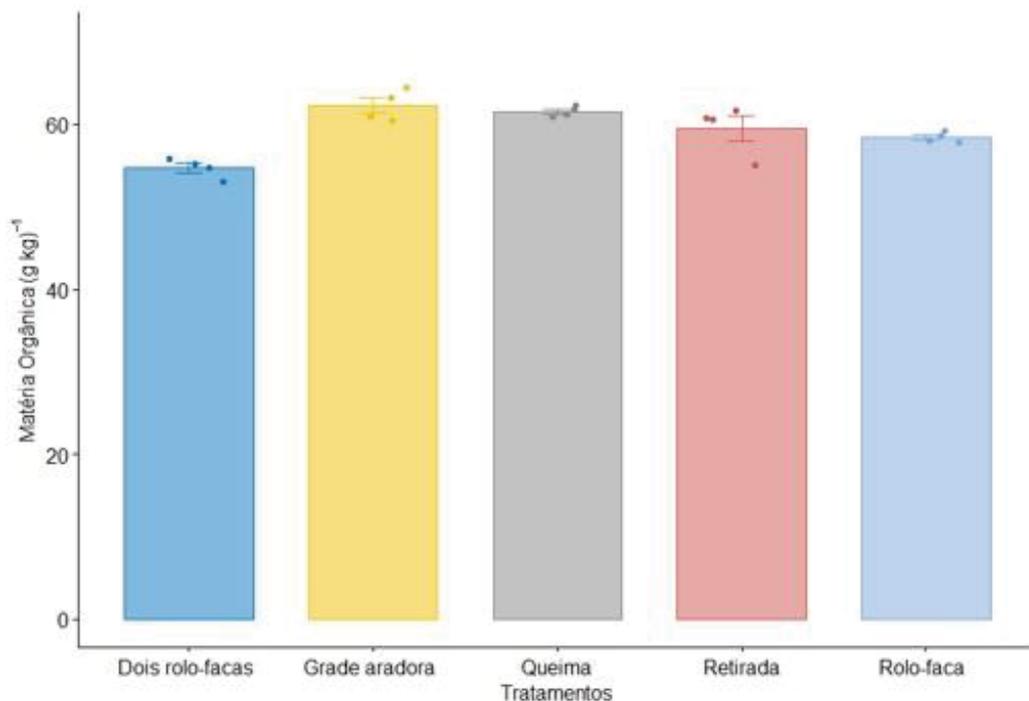


FONTE: A autora (2019).

Os valores de pH menores para os tratamentos M3, M4 e M5 podem estar relacionados com a incorporação dos resíduos vegetais (palha) no solo que contribuem para acelerar o processo de decomposição da matéria orgânica produzindo ácidos orgânicos (PAVINATO e ROSOLEM, 2008) e, conseqüentemente, reduzem o pH do solo.

Os resultados (GRÁFICO 3) mostram que não houve diferenças estatísticas para os manejos de grade aradora (M3), queima (M1) e retirada da palha (M2) que apresentaram os maiores valores para MOS, respectivamente 62,3; 61,6 e 59,55 g kg⁻¹, ao contrário do que foi observado por MENDES et al. (2015b) em estudos comparando áreas de Latossolos em sistema de plantio direto de milho e soja com e sem braquiária, e por MENDES et al. (2017), em áreas de plantio de soja seguidas por pousio, braquiária ou rotação de culturas, em que maiores valores de MOS foram observados em áreas com cobertura vegetal de braquiária ou outra cobertura vegetal, ou seja, valores menores foram observados apenas em áreas em pousio.

GRÁFICO 3. MATÉRIA ORGÂNICA DOS SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES TIPOS DE MANEJO DE PALHA DE ARROZ.



FONTE: A autora (2019).

O manejo com uma passada de rolo-faca (M4) apresentou MOS de 58,4 g kg⁻¹, valor estatisticamente menor quando comparado com o manejo M3 porém esta

diferença não se manteve quando comparado com M2 e M4. O fato do teor de argila dos solos dos tratamentos M4 e M5 (GRÁFICO 1) serem menores que os demais parece contribuir para que a MOS do M5 seja menor, uma vez que solos com maior teor de argila favorecem maior retenção de matéria orgânica do solo pois a biomassa microbiana e toda a estrutura da comunidade bacteriana é influenciada pelo tamanho das partículas do solo, isto é, quanto menores as partículas, melhores são as condições de ligação da MOS com os colóides do solo (SESSITHSCH et al., 2001).

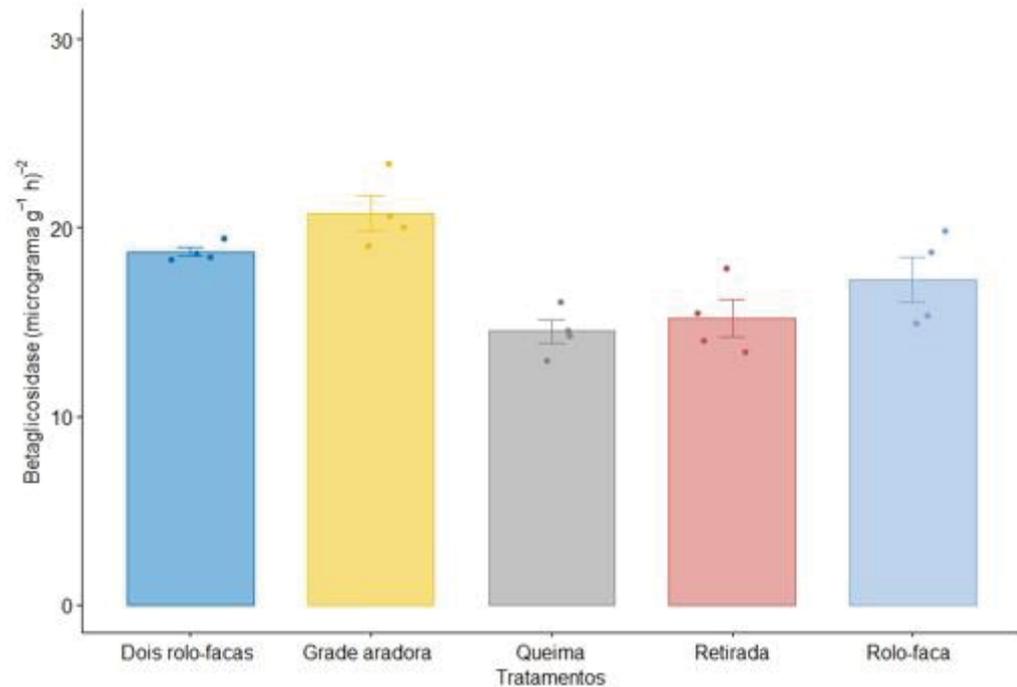
O rolo-faca, implemento utilizado para realizar o manejo dos tratamentos M4 e M5 é utilizado após a colheita do arroz irrigado com lâmina de água ainda presente no solo e tem como função incorporar o material vegetal sem triturá-lo aumentando o contato deste material vegetal com o solo, além de uniformizar a superfície do solo para a implantação da próxima cultura.

O contato do material vegetal com o solo em uma área com lâmina de água favorece sua decomposição. De acordo com Silva et al. (2012), o uso do rolo-faca promove a redução da erosão eólica já que o preparo do solo é feito ainda com lâmina de água, reduz o tráfego de máquinas e implementos após a colheita que pode impactar nas condições físicas do solo, permite o preparo antecipado do solo para o próximo plantio pois pode ser utilizado logo após a colheita do arroz, além de reduzir os custos pela redução do número de operações de plantio.

4.2. Atividade enzimática do solo

Os resultados (GRÁFICO 4) mostram que, no geral, os manejos que apresentaram maiores valores significativos para atividade enzimática são os que promoveram a incorporação do resíduo vegetal (palha de arroz) no solo, ou seja, o manejo com grade aradora (M3), com uma passada de rolo-faca (M4) e duas passadas de rolo-faca (M5).

GRÁFICO 4. ATIVIDADE DA ENZIMA BETAGLICOSIDASE NOS SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES TIPOS DE MANEJO DE PALHA DE ARROZ.



FONTE: A autora (2019)

Para a atividade enzimática da betaglicosidase (GRÁFICO 4), os manejos M3 e M5 foram o que apresentaram melhores respostas. Segundo Tabatabai (1994), a betaglicosidase atua na etapa final do processo de decomposição da celulose sendo responsável pela hidrólise da celobiose em glicose. Considerando que a palha de arroz possui sílica que contribui para tornar sua decomposição mais lenta, é possível que dentre os manejos que realizam a incorporação da palha de arroz, o M3 e M5 foram capazes de promover maior aeração do solo e fracionamento do material vegetal acelerando o processo de decomposição deste resíduo. A atividade da betaglicosidase para estes manejos foi de, respectivamente, 20,75 e 18,73 microgramas g⁻¹ h⁻¹. A atividade da betaglicosidase para o manejo com grade aradora (M3) foi estatisticamente maior que para o manejo M4 (uma passada de rolo-faca), porém a diferença entre M4 e o manejo com duas passadas de rolo-faca (M5) não foi estatisticamente significativa. Como o solo do M3 possui maior teor de argila (GRÁFICO 1) e MOS (GRÁFICO 3) que o solo M5 isso pode ter contribuído para que a atividade da betaglicosidase fosse ainda maior para esse manejo de resíduos.

A betaglicosidase está relacionada com o ciclo do carbono, elemento em maior

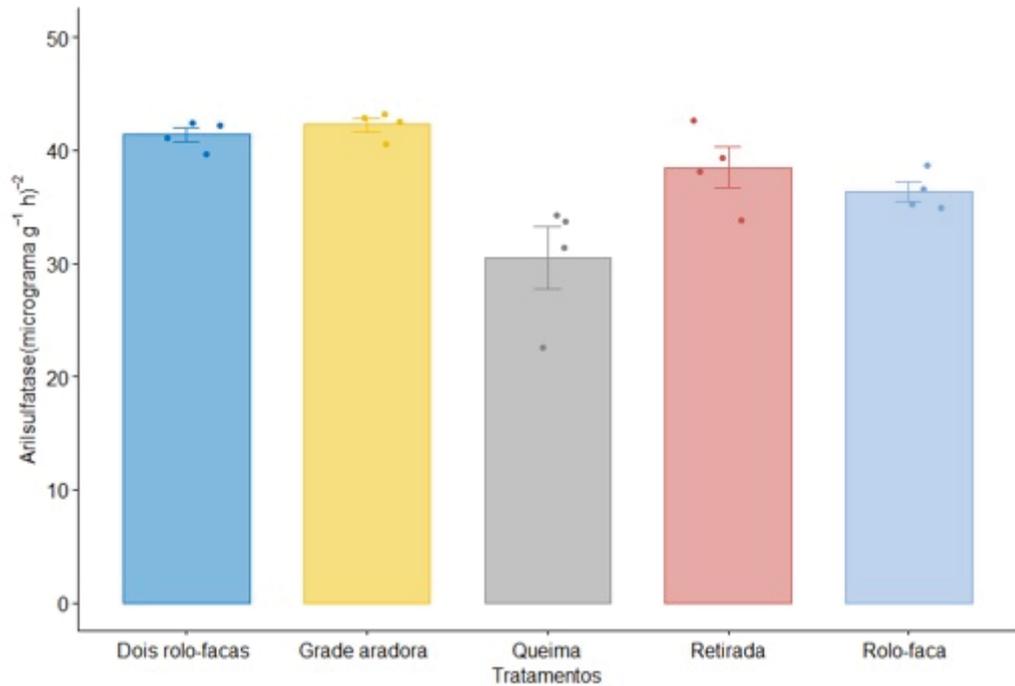
concentração na matéria orgânica do solo e por isso importante para as propriedades físicas, químicas, biológicas e qualidade do solo (DIECKOW et al., 2004). Embora haja estreita relação desta enzima com a mineralização da matéria orgânica, os dados obtidos relacionados a MOS (GRÁFICO 3) em áreas submetidas a queima dos resíduos não indicaram menor teor desta variável reforçando que talvez a consideração apenas do teor de MOS não seja o melhor indicador de qualidade do solo pois, com a queima, grande parte do carbono contido na palha pode ser liberado na forma de CO₂ aumentando a concentração deste gás de efeito estufa na atmosfera.

Por outro lado, o teor de argila deste solo (GRÁFICO 1) favorece a adsorção do material orgânico aos colóides do solo, atenuando os efeitos deletérios da queima quando comparado aos demais tratamentos, o que reforça a indicação da avaliação da atividade da enzima betaglicosidase para determinação da qualidade do solo. Além disso, de acordo com SARKAR et al. (1989), enzimas extracelulares (como a fosfatase) ficam adsorvidas em partículas de argila como um mecanismo de estabilização e proteção contra proteases existentes na solução do solo.

Evangelista et al. (2012) observaram maior atividade da betaglicosidase em sistema de cultivo orgânico de cana-de-açúcar com nove anos de implementação e atribuíram o resultado às adubações orgânicas (torta de filtro, cinza de caldeira, compostagem, fosfatos naturais e vinhaça) realizadas ao longo dos anos, à deposição de palha residual das sucessivas colheitas e à decomposição lenta deste material sobre solo. Esta pode ser uma evidência de que, com o passar dos anos, a deposição frequente e decomposição lenta da palha do arroz poderá contribuir para aumentar a atividade da betaglicosidase também para o manejo com uma passada de rolo-faca (M4). Estes mesmos autores também observaram menor atividade das enzimas betaglicosidase e fosfatase no sistema de produção de cana-de-açúcar que realiza a queima da palhada antes da colheita.

O manejo de queima da palha (M1) foi o que apresentou menor atividade enzimática da betaglicosidase (GRÁFICO 4). O comportamento observado para a betaglicosidase em M1 também foi observado para a atividade da arilsulfatase (GRÁFICO 5).

GRÁFICO 5. ATIVIDADE DA ENZIMA ARILSULFATASE NOS SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES TIPOS DE MANEJO DE PALHA DE ARROZ.



FONTE: A autora (2019)

Os manejos com grade aradora (M3) e duas passadas de rolo-faca (M5) seguidos pelos manejos de retirada (M2) e uma passada de rolo-faca (M4) foram os que apresentaram, respectivamente, as maiores valores de atividade para arilsulfatase: 42,25; 41,38; 38, 45 e 36,38 microgramas g⁻¹ h⁻¹ (GRÁFICO 5). Observou-se ainda diferenças estatísticas significativas na atividade da arilsulfatase para o manejo de queima da palha (M1) em que a atividade enzimática foi bem menor que o observado nos demais tratamentos (30,50 microgramas g⁻¹ h⁻¹).

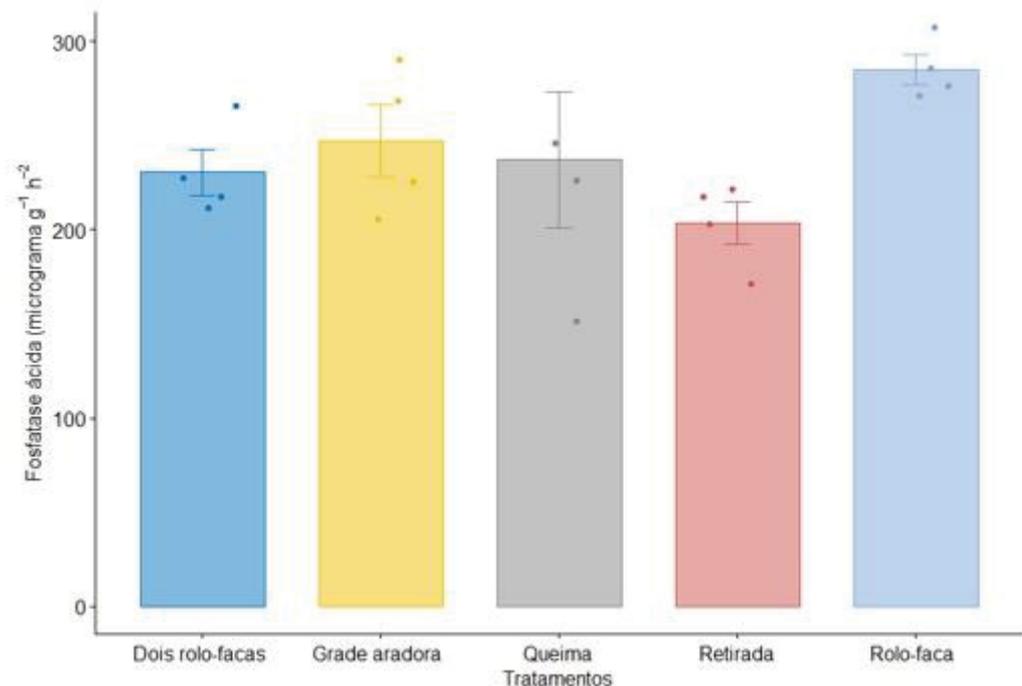
Segundo Soler-Silva et al. (2019), a arilsulfatase faz parte do ciclo do enxofre, nutriente cuja deficiência ocorre em cultivos intensivos e em áreas de queimadas, prática comum nos solos do Cerrado e também no manejo da palha de arroz.

Deng e Tabatabai (1997) avaliaram a atividade enzimática em um solo com plantio de milho há 10 anos sob diferentes tipos de cultivo e observaram que o manejo de plantio direto com inclusão de resíduo vegetal (palha de milho) apresentou os maiores resultados para atividade enzimática de arilsulfatase e fosfatase quando comparados ao manejo convencional de preparo do solo. A enzima fosfatase está relacionada ao ciclo do fósforo que é um nutriente limitante para a produtividade do

arroz e sua reposição no solo é normalmente realizada através dos restos culturais e/ou uso de fertilizantes minerais e orgânicos (SOLER-SILVA, 2019).

Neste mesmo estudo, de Deng e Tabatabai (1997) observaram que a palha de milho, quando adicionada após o preparo convencional do solo, promoveu aumento significativo da atividade enzimática da arilsulfatase e da fosfatase mostrando que é possível melhorar aos poucos a qualidade do solo por meio de mudanças graduais como a inclusão de práticas conservacionistas em manejos convencionais, neste caso, com a adição de cobertura vegetal (palha de milho). O resultado obtido corrobora com os de Franchini et al. (2007) que relatam que a presença ou ausência de resíduos de plantas na superfície do solo interfere em diferentes propriedades do solo e, conseqüentemente, no habitat dos microrganismos, na atividade microbiana e no comportamento da matéria orgânica do solo.

GRÁFICO 6. ATIVIDADE DA ENZIMA FOSFATASE NOS SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES TIPOS DE MANEJO DE PALHA DE ARROZ.



FONTE: A autora (2019)

O manejo com retirada da palha (M2) apresentou atividade de 203,30 microgramas g⁻¹ h⁻¹ (GRÁFICO 6) sendo estatisticamente menor que os demais para fosfatase, embora o teor de fósforo do solo na análise de fertilidade para este tratamento não tenha apresentado diferença estatística significativa entre os manejos.

Resultados semelhantes foram encontrados por Mendes et al. (2017) em que a atividade das enzimas betaglicosidase, fosfatase e arilsulfatase foram menores para o sistema de produção de soja seguida por pousio (com solo descoberto) quando comparado ao sistema de produção de soja seguido por braquiária. E, concordando com os resultados observados no presente estudo, o teor de P do solo na análise química observado por estes autores não apresentou diferença significativa entre os tratamentos de produção de soja/pousio e produção de soja/braquiária.

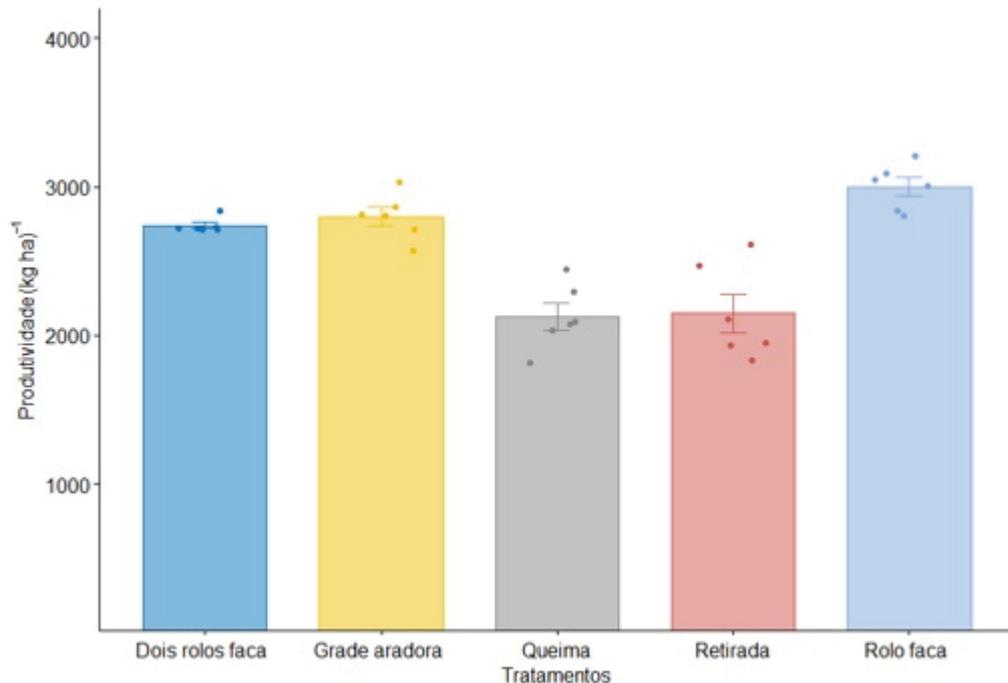
O manejo da palha com uma passada de rolo-faca (M4) foi o que apresentou a maior atividade da fosfatase (285,05 microgramas $g^{-1} h^{-1}$). Os manejos de queima (M1), grade aradora (M3) e duas passadas de rolo-faca (M5) não foram diferentes entre si, apresentando, respectivamente 237,00; 247,33 e 230,60 microgramas $g^{-1} h^{-1}$.

Matsuoka et al. (2003) observaram em seus estudos que a diferença de textura entre dois solos (franco argilosa e argilosa) pode ter influenciado a atividade da fosfatase. Balota et al. (2004) avaliaram a atividade enzimática do solo para os diferentes sistemas de rotação de culturas com soja, trigo, milho e algodão em cultivos de longa duração e observaram aumento da atividade para arilsulfatase e fosfatase no sistema de plantio direto quando comparado ao convencional. Esta diferença foi notada principalmente nas camadas superficiais em que a atividade da arilsulfatase foi até 539% maior na camada de 5 a 10cm e a fosfatase apresentou aumento de até 61% na camada de 0 a 5 cm, mostrando a sensibilidade destas enzimas às mudanças de manejo. Assim como o sistema de plantio direto avaliado por Balota et al. (2004), o manejo M4 neste estudo representa o cultivo mínimo do solo já que preconiza somente uma passada de rolo-faca, seguida pela grade niveladora para uniformizar o solo para o plantio seguinte.

4.3. Produtividade da soja

Os resultados de produtividade de soja (GRÁFICO 7) indicam que os manejos onde houve incorporação da palha de arroz ao solo, quais sejam, grade aradora (M3= 2997,33 $kg ha^{-1}$), uma passada de rolo-faca (M4= 2798,17 $kg ha^{-1}$) e duas passadas de rolo-faca (M5= 2738,33 $kg ha^{-1}$), apresentaram valores médios estatisticamente superiores para produtividade de grãos que os manejos de retirada (M2= 2149,17 $kg ha^{-1}$) e queima da palhada (M1= 2124,5 $kg ha^{-1}$).

GRÁFICO 7. PRODUTIVIDADE DA SOJA EM SUCESSÃO NOS SOLOS SUBMETIDOS A DIFERENTES TIPOS DE MANEJO DE PALHA DE ARROZ.



FONTE: A autora (2019)

Este experimento de arroz irrigado sob diferentes manejos da palha com soja em sucessão está sendo conduzido há 3 anos na mesma área e os resultados de produtividade da soja mostram que os manejos M4, M3 e M5 apresentaram, respectivamente, 40, 30 e 27,5% de aumento na produtividade quando comparados ao tratamento com queima. Pode ser observado aqui estreita relação entre a baixa atividade da betaglicosidase (GRÁFICO 4) e arilsulfatase (GRÁFICO 5) observadas para M1 e os resultados de produtividade da soja (GRÁFICO 7).

O aumento de produtividade foi semelhante ao encontrado por Benites et al. (2014) que, após 3 anos, verificaram aumento de 22,4% na produtividade da soja quando compararam sistemas de cultivo do grão com e sem a braquiária como cultura de cobertura no inverno.

Os resultados mostram que aumento da produtividade nas lavouras comerciais em períodos de transição entre métodos de manejo nem sempre são possíveis de serem observados nos primeiros anos de avaliações. Foi o que ocorreu em estudo realizado por Mendes et al. (2017) avaliando diferentes sistemas de

produção de soja como o monocultivo, sucessão e rotação de culturas. Neste caso, só foi possível observar diferenças significativas na produtividade da soja após sete anos de cultivo, quando a ocorrência de um veranico evidenciou a diferença entre os sistemas de soja com pousio e soja com sucessão de braquiária onde o sistema com braquiária apresentou produtividade 50% maior que o sistema com pousio.

Hungria et al. (2009) avaliando a atividade microbiana e produtividade das culturas em uma área experimental de 14 anos observaram aumento na produtividade de soja em sistema de plantio direto quando comparado ao sistema convencional ou ao sistema de cultivo com escarificação do solo a cada três anos seguido de rotação de culturas. Contudo, não houve diferença na produtividade do milho entre os sistemas de plantio direto e convencional porém houve diferença entre estes dois e o sistema de cultivo com escarificação a cada três anos seguido de rotação de culturas que apresentou maior produtividade para a cultura do milho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados permitem inferir que, os manejos que promoveram a incorporação da palha no solo - grade aradora (M3), uma passada de rolo-faca (M4) e duas passadas de rolo-faca (M5) – apresentaram, de forma geral, maiores valores para a atividade enzimática e maiores valores para a produtividade da soja.

O manejo da queima (M1) foi o que apresentou menores valores para a atividade das enzimas betaglicosidade e arilsulfatase e o manejo da retirada da palha (M2), os menores valores para betaglicosidade e fosfatase. Os manejos M1 e M2 apresentaram, estatisticamente, menores produtividades da soja quando comparadas aos manejos M3, M4 e M5. Os teores de P no solo não apresentaram diferenças estatísticas entre os manejos. Os solos dos manejos M3, M4 e M5 apresentaram os menores valores de pH. Não foram observadas diferenças na MOS entre os manejos com incorporação da palha (M3, M4 e M5) e os manejos de queima (M1) e retirada da palha (M2). É possível que a diferença no teor de argila dos solos para os diferentes manejos esteja influenciando este resultado.

Importante ressaltar que estes manejos estão sendo conduzidos há cinco anos e é possível que este período não tenha sido suficiente para mostrar mudanças expressivas na qualidade do solo e menos ainda nos atributos químicos avaliados

sendo para isso necessário que a área experimental continue sendo acompanhada e os indicadores analisados ano a ano.

Entende-se que este experimento é um ponto de partida para a realização de mais estudos sobre qualidade do solo com o uso de bioindicadores nesta e em outras áreas cujo propósito é a produção de grãos e proteína animal de maneira responsável. É necessário mostrar ao produtor que a condição de manutenção do meio-ambiente e qualidade do solo aliada à lucratividade é possível e ideal.

Espera-se que as informações obtidas neste e em próximos estudos realizados na área experimental do Formoso do Araguaia (TO) possam servir como uma base de dados para, no futuro, serem utilizadas para a elaboração de uma tabela de atividade enzimática para Plintossolos, a exemplo da tabela já existente para Latossolos do Cerrado.

REFERÊNCIAS

BALOTA, E. L. et al. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro-ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 35, n. 4, p. 300-306, 2004.

BALOTA, E. L. et al. Enzimas e seu papel na qualidade do solo. **Tópicos em Ciência do Solo, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 8, p. 189-249, 2013.

BENITES, V.M. et al. Influence of Brachiaria (*Urochloa brizantha*) as a Winter Cover Crop on Potassium Use Efficiency and Soybean Yield under No-Till in the Brazilian Cerrado. **e-ific**. 39. 24-35, 2014.

CHACÍN LUGO, F. **Cursos avances recientes en el diseño y analisis de experimentos**. Caracas : Universidad Central de Venezuela, 1997. 349 p.

CLAESSEN, M. C. et al. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. [s.l.: s.n.], 1997.

CONAB. Análise Mensal – Arroz. 2019a. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-arroz>. Acesso em: 31 jul. 2019.

CONAB. Análise Mensal – Soja. 2019c. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-soja>. Acesso em: 31 jul. 2019.

CONAB. Observatório Agrícola - Acompanhamento da Safra Brasileira. Monitoramento Agrícola. v.6, n.4, 2019b. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/grãos/boletim-da-safra-de-grãos>. Acesso

em: 31 jul. 2019.

DENG, S. P.; TABATABAI, M. A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: III. Phosphatases and arylsulfatase. **Biology and Fertility of Soils**, v. 24, n. 2, p. 141-146, 1997.

DIECKOW, J. et al. Sistemas conservacionistas de preparo do solo e implicações no ciclo do carbono. **Embrapa Instrumentação Agropecuária**. Documentos; n.12., 2004. 17p.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. IN: Defining soil quality for a sustainable environment'. SSSA Special Publication. n. 35.(Eds JW Doran, DC Coleman, DF Bezdicek, BA Stewart). **Soil Science Society of America**. Inc.: Madison, WI, p. 3-21, 1994.

DOS SANTOS, A. B. et al. Uso do rolo-faca na eliminação da queima da palha de arroz em área de produção irrigada no Tocantins. In: **Embrapa Arroz e Feijão-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 10., 2017, Gramado. Intensificação sustentável: anais. Gramado: Sosbai, 2017.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais da produção de arroz (*Oryza sativa* L.) no Brasil (1986 a 2017): área, produção e rendimento**. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2018. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 30 jul. 2019.

EMBRAPA. **InfoClima: Informações climáticas**. Embrapa. Disponível em: <<https://www.cnpaf.embrapa.br/infoclima/>>. Acesso em: 25 out. 2019.

FAO. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 06 set. 2019.

FRAGOSO, D.B. et al. **Caracterização e diagnóstico da cadeia produtiva do arroz no Estado do Tocantins** / Daniel de Brito Fragoso ... [et al.]. – Brasília, DF : Embrapa, 2013. 40 p.

FRANCHINI, J.C. et al. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.92, p. 18-29, 2007.

HUNGRIA, M. et al. Soil microbial activity and crop sustainability in a long-term experiment with three soil-tillage and two crop-rotation systems. **Applied soil ecology**, v. 42, n. 3, p. 288-296, 2009.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Produção Agrícola**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/1612>. Acesso em: 09/09/2019.

IBGE. Manual técnico de pedologia. **Manuais técnicos em Geociências**. 2ª edição. Rio de Janeiro, 2007. 316p.

KOTTEK, M. et al. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.

LOPES, A. A.C. et al. Interpretation of microbial soil indicators as a function of crop yield and organic carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 2, p. 461-472, 2013.

MATSUOKA, M. et al. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. V.27, p. 245-433, 2003.

MENDES, I.C. et al. Bioindicadores de qualidade de solo: dos laboratórios de pesquisa para o campo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. v. 32. n.1/2, 185–203, . 2015a.

MENDES, I. C. et al. Soil enzymes activities in cerrado's grain-crops farming systems with brachiaria. In: **Embrapa Solos-Resumo em anais de congresso (ALICE)**. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK SYSTEMS, 3., 2015, Brasília, DF. Towards sustainable intensification: proceedings. Brasília, DF: Embrapa, 2015., 2015b.

MENDES, I. C. et al. **Qualidade biológica do solo: por que e como avaliar**. Rondonópolis: Fundação MT, 2017. p. 98-105. (Boletim de Pesquisa da Fundação MT, v. 1).

MENDES, I. de C. et al. Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo. **Embrapa Cerrados-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2018.

MIRANDA, M. C. et al. **Perfil Socioeconômico dos municípios: Formoso do Araguaia**. Palmas, TO: [s.n.], 2017. Disponível em: <<https://central3.to.gov.br/arquivo/340159/>>. Acesso em: 25 out. 2019.

PAVINATO, P.S.; ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.911-920, 2008.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Viena, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. 2019.

RAO, C.S et al. Soil Enzymes. **Encyclopedia of Soil Science**. Third Edition, p. 2100-2107, 2017.

SARKAR, J. et al. Immobilization of enzymes on clays and soils. **Soil Biology Biochemistry**., v.21, p. 223- 230, 1989.

SESSITSCH, A. et al. Microbial Population Structures in Soil Particle Size Fractions of a Long-Term Fertilizer Field Experiment. **Applied & Environmental Microbiology**. V. 67, N. 9, p. 4215-4224, 2001.

SILVA, J. J. C. da. et al. **Avaliação do uso de rolo-faca no preparo do solo pós-colheita do arroz irrigado em áreas da Planície Costeira do RS**. Júlio José Centeno da Silva...[et al.]. - Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2012. 28 p.

SOLER-SILVA et al. Nutrição e adubação do arroz irrigado na região do Cerrado. IN: FLORES, R. A.; CUNHA, P. P.; MARCHÃO, R. L.; MORAES, M. F.. (ORG.). **Nutrição e Adubação de grandes culturas na região do cerrado**. 1ed.Goiânia: Gráfica UFG. v. 1, p. 225-282, 2019.

SOUZA, D.M. et al. Development of alternative methods for determining Soil Organic Mater. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. 2016; 40:e0150150.

SUGIYAMA, A. et al. Changes in the bacterial community of soybean rhizospheres during growth in the field. **PLoS One**, v. 9, n. 6, p. e100709, 2014.

TABATABAI, M.A. Soil Enzymes. In: WEAVER, R.W.; SCOTT, A; BOTTOMLEY, P.J. (Ed). **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**, Madison: Soil Science Society of America, 1994. Part 2, p. 778-835 (Special Publication, 5).

TEIXEIRA, P.C. et al. **Manual de métodos de análise de solo**. Paulo César Teixeira ... [et al.], editores técnicos. – 3. ed. Brasília, DF:Embrapa, 2017. 574 p.

ZILLI, J. E. et al. Diversidade microbiana como indicador de qualidade do solo. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 20, n.3, p. 391-411, 2003.