

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS NATURAIS E EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROBIOLOGIA**

**Lisiele Pozzatto Cristofari**

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE BIOLÓGICA EM DIFERENTES  
MANEJOS DE ÁREAS DE VÁRZEA PARA IMPLANTAÇÃO DA  
CULTURA DA SOJA.**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2022**

**Lisiele Pozzatto Cristofari**

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE BIOLÓGICA EM DIFERENTES MANEJOS DE  
ÁREAS DE VÁRZEA PARA IMPLANTAÇÃO DA CULTURA DA SOJA.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agrobiologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agrobiologia**

**Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Ferreira da Silva**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2022**

Cristofari, Lisiele  
AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE BIOLÓGICA EM DIFERENTES MANEJOS  
DE ÁREAS DE VÁRZEA PARA IMPLANTAÇÃO DA CULTURA DA SOJA.  
/ Lisiele Cristofari.- 2022.  
43 p.; 30 cm

Orientador: Antônio Carlos Ferreira da Silva  
Coorientador: Danie Martini Sanhotene  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Agrobiologia, RS, 2022

1. Atividade BIOLÓGICA 2. Manejos de Solo 3. Área de  
Varzea 4. Cultura da soja I. Ferreira da Silva, Antônio  
Carlos II. Martini Sanhotene, Danie III. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, LISIELE CRISTOFARI, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

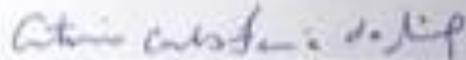
---

Lisiele Pozzatto Cristofari

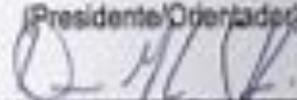
**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE BIOLÓGICA EM DIFERENTES  
MANEJOS DE ÁREAS DE VÁRZEA PARA IMPLANTAÇÃO DA  
CULTURA DA SOJA.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agrobiologia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Agrobiologia**

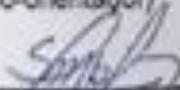
Aprovado em 18 de Março de 2022:



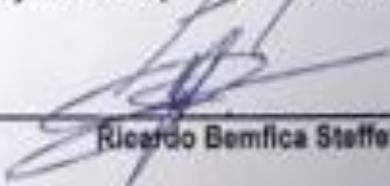
Antonio Carlos Ferreira da Silva, Dr. (UFSM)  
(Presidente/Orientador)



Daniele Martini Sanchofene  
(Co-orientador)



Sylvio Henrique Bidal Dornelles, Dr. (UFSM)



Ricardo Bemfica Steffen, Dr.

Santa Maria, RS  
2022

“Trabalhe duro e em silêncio. Deixe que seu sucesso faça o barulho”

Dale Carnegie

DEDICO

À minha família

Fonte inesgotável de dedicação

De família e de amor.

## **AGRADECIMENTOS**

A Universidade Federal de Santa Maria e ao programa de Pós-Graduação em Agrobiologia pela oportunidade, em especial ao Professor Antonio Carlos Ferreira da Silva por ter aceitado ser meu orientador nestes dois anos de mestrado.

Agradeço a disponibilidade da empresa BIOMONTE ASSESSORIA, CONSULTORIA, PESQUISA E DESENVOLVIMENTO RURAL LTDA, pela disponibilidade de sua estrutura física de laboratórios para a realização das análises enzimáticas.

A Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI)-Campus Santiago, por emprestar alguns equipamentos para a realização das análises.

Meu muito obrigado ao Professor Sylvio Henrique Bidel Dorneles e ao Professor Danie Martini Sanhotene, pelos ensinamentos e orientações que foram de grande importância para a condução e realização do meu trabalho de mestrado.

Ao Capes que me custeou nesta etapa de minha vida, me incentivando a buscar conhecimento e crescimento pessoal.

Enfim, a todos que de alguma maneira contribuíram na realização deste trabalho. Muito obrigada!

## RESUMO

### **AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE BIOLÓGICA EM DIFERENTES MANEJOS DE ÁREAS DE VÁRZEA PARA IMPLANTAÇÃO DA CULTURA DA SOJA.**

**AUTORA: Lisiele Pozzatto Cristofari**  
**ORIENTADOR: Antônio Carlos Ferreira da Silva**  
**CO-ORIENTADOR: Danie Martini Sanchotene.**

A cultura da soja tem se tornando uma ferramenta importante como manejo de rotação de culturas com o arroz irrigado em áreas de várzeas. Entretanto há entraves para o estabelecimento e a uniformidade da produção da soja em função das características do solo e do ambiente. O presente trabalho teve por objetivo identificar um manejo de solo proposto na entressafra para fins de analisar a influência destes nas condições físicas e biológica do solo para fins de proporcionar melhores condições para estabelecimento e produtividade da cultura da soja na safra subsequente. O experimento foi conduzido no distrito de Arroio Grande, no município de Santa Maria-RS na safra de 2020/2021, em área com cultivo de arroz irrigado na safra 2019/2020. Os tratamentos foram compostos de manejo de entressafra através de uma área de pousio (não houve manejo no solo), subsolagem do solo e subsolagem do solo seguido de uma cobertura vegetal. A partir destes manejos avaliou-se a qualidade biológica do solo através da avaliação da atividade enzimática estabelecida entre os microorganismos do solo e a soja, sendo analisado a Glomalina, Fosfatase ácida, Arilsulfatase,  $\beta$ -glicosidase e atividade dos fungos micorrízicos (Micorrização), além dos componentes de rendimento da cultura. As coletas foram realizadas em 25 pontos de cada tratamento, sendo que cada amostra apresentava 500g de solo e raiz, onde em Laboratório foram tamisadas em peneiras de 2 mm e armazenadas sob refrigeração (4°C) para a realização das análises. A partir dos resultados obtidos no experimento verificou-se que o manejo de solo (subsolagem e subsolagem + cobertura) realizado na entressafra influencia na atividade microbiana do solo e sua simbiose com a soja proporcionando maior produtividade da cultura. Os resultados de micorrização das raízes da soja foram avaliada através da correlação de Pearson. Observou-se grande influência sobre as enzimas Glomalina, Fosfatase ácida, Arilsulfatase,  $\beta$ -glicosidase para a cultura da soja. Como cada enzima possui características e funções específicas, pode-se inferir que a fosfatase ácida esteve relacionada à produtividade da soja quando realizado o manejo de pousio na entressafra. As enzimas  $\beta$ -Glicosidase e Arilsulfatase e a proteína Glomalina interagiram com o PMG (peso de mil grãos) no manejo de subsolagem com cobertura vegetal e a Micorrização esteve atrelada ao número de legumes e número de nós por planta de soja no manejo de subsolagem realizada na entressafra.

**Palavras-chave:** Arilsulfatase, atividade biológica, Glomalina, Micorrização.

## ABSTRACT

### EVALUATION OF BIOLOGICAL ACTIVITY IN DIFFERENT MANAGEMENT OF VARZEA AREAS FOR IMPLEMENTATION OF SOYBEAN CULTURE.

AUTHOR: **Lisiele Pozzatto Cristofari**  
ADVISOR: Antônio Carlos Ferreira da Silva  
CO-ADVISOR: Danie Martini Sanhotene

Soybean crop has become an important tool for managing crop rotation with irrigated rice in floodplain areas. However, there are obstacles to the establishment and uniformity of soybean production depending on the characteristics of the soil and the environment. The present work aimed to identify a soil management proposed in the off-season to analyze their influence on the physical and biological conditions of the soil in order to provide better conditions for the establishment and productivity of the soybean crop in the subsequent harvest. The experiment was conducted in the district of Arroio Grande, in the municipality of Santa Maria-RS in the 2020/2021 crop, in an area with irrigated rice cultivation in the 2019/2020 crop. The treatments were composed of off-season management through a fallow area (there was no soil management), soil subsoiling and soil subsoiling followed by a vegetation cover. From these managements, the biological quality of the soil was evaluated through the evaluation of the enzymatic activity established between the microorganisms of the soil and the soybean, being analyzed the Glomalin, Acid Phosphatase, Arylsulfatase,  $\beta$ -glucosidase and the activity of the mycorrhizal fungi (Mycorrhization), in addition to the yield components of the crop. The collections were carried out in 25 points of each treatment, and each sample had 500g of soil and root, where in the laboratory they were sieved in 2 mm sieves and stored under refrigeration (4°C) for the analysis. From the results obtained in the experiment, it was verified that the soil management (subsoiling and subsoiling + cover) carried out in the off season influences the microbial activity of the soil and its symbiosis with soybean, providing greater crop productivity. The results of mycorrhization of soybean roots were evaluated using Pearson's correlation. Great influence was observed on the enzymes Glomalin, Acid Phosphatase, Arylsulfatase,  $\beta$ -glycosidase for soybean cultivation. As each enzyme has specific characteristics and functions, it can be inferred that acid phosphatase was related to soybean productivity when fallow management was carried out in the off-season. The enzymes  $\beta$ -Glycosidase and Arylsulfatase and the protein Glomalin interacted with PMG (weight of a thousand grains) in the management of subsoiling with vegetal cover and Mycorrhization was linked to the number of legumes and number of nodes per soybean plant in the management of subsoiling carried out. in the off season.

**Keywords:** Arylsulfatase, biological activity, Glomalin, Mycorrhization

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Tabela da classificação do Coeficiente de Pearson.....	20
<b>Tabela 2</b> - Avaliação de Arilsulfatase, Fosfatase ácida, $\beta$ -Glicosidase, Glomalina e Percentual de Micorrização, no estágio de R.1, no manejo de pousio, subsolagem e subsolagem com cobertura vegetal na entressafra. Santa Maria, RS 2022..	20
<b>Tabela 3</b> - Avaliação de Arilsulfatase, Fosfatase ácida, $\beta$ -Glicosidase, Glomalina, Percentual de Micorrização, no momento da colheita, no manejo de pousio, subsolagem e subsolagem com cobertura vegetal na entressafra. Santa Maria, RS 2022.....	21
<b>Tabela 4</b> - Avaliação do PMG, Produtividade, Número de Legumes por Planta e Número de Nó no momento da colheita, no manejo de pousio, subsolagem e subsolagem com cobertura vegetal na entressafra. Santa Maria, RS 2022.	22
<b>Tabela 5</b> - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de análise de trilha, obtidos a partir da correlação entre a micorrização total e as quantificações enzimáticas de Arilsulfatase, Fosfatase ácida, $\beta$ -Glicosidase e Glomalina, avaliações realizadas com manejo de pousio na entressafra. Santa Maria, RS 2022.	24
<b>Tabela 6</b> - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de análise de trilha, obtidos a partir da correlação entre a micorrização total e as quantificações enzimáticas de Arilsulfatase, Fosfatase ácida, $\beta$ -glicosidase e Glomalina, avaliações realizadas com manejo de subsolagem na entressafra. Santa Maria, RS 2022	26
<b>Tabela 7</b> - Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de análise de trilha, obtidos a partir da correlação entre a micorrização total e as quantificações enzimáticas de Arilsulfatase, Fosfatase ácida, $\beta$ -glicosidase e Glomalina avaliações realizadas com manejo de subsolagem e cobertura vegetal, na entressafra. Santa Maria,RS,2022..	28

**LISTA DE FIGURAS**

- FIGURA 1** - Análise de Componentes Principais (PCA), com os manejos de solos na entressafra, no estágio de R1 da cultura da Soja. Santa Maria, RS 2022.....30
- FIGURA 2** - Análise de Componentes Principais (PCA), com os manejos de solos na entressafra, no momento da colheita da cultura da Soja. Santa Maria, RS 2022.....32

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
<b>OBJETIVO.....</b>	<b>15</b>
<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>16</b>
<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>20</b>
<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>

## INTRODUÇÃO

A grande taxa de crescimento da população mundial demanda produzir cada vez mais alimentos para suprir a alimentação básica da população. Atualmente a população mundial é de 7,6 bilhões de pessoas e deverá chegar a 8,6 bilhões em 2030, 9,8 bilhões em 2050 e 11,2 bilhões em 2100. Segundo dados de pesquisa, o Brasil tem um papel importante nesta demanda por ser o segundo maior produtor mundial de alimentos estando entre os maiores produtores, como EUA e Argentina (ONU, 2017; FAO,2017). O Brasil possui o maior potencial de expansão em área cultivada, podendo, dependendo das necessidades de consumo do mercado, mais que duplicar a produção. Assim, em um curto prazo, poderá constituir-se no maior país produtor e exportador mundial de soja e seus derivados.

Atualmente o Rio Grande do Sul possui aproximadamente 5,4 milhões de hectares de solos de várzea, o que representa 20% da área total do estado. Porém, estes solos são hidromórficos, e apresentam grande variação nas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, o que leva a serem agrupados em diferentes classes.

O cultivo de soja na várzea cresce como uma alternativa para a rotação de cultura com o arroz irrigado e pela importância econômica da soja. No entanto, devido a alguns atributos físicos naturais dos solos nessas áreas e relevo predominantemente plano, o cultivo pode ser prejudicado pelo acúmulo de água. Os solos utilizados estão tendo uma produção muito baixa nas primeiras safras, levando o produtor a ter prejuízo.

São necessários estudos que verifiquem a atividade dos microrganismos neste tipo de solo, com o intuito de melhorar a qualidade das plantas de soja visando altas produtividades e sustentabilidade no sistema de rotação com a cultura do arroz irrigado.

## REFERENCIAL TEÓRICO

A soja [*Glycine max* (L.) Merrill] se representa a principal oleaginosa cultivada no Brasil e no mundo, devido ao seu alto valor nutritivo, com importantes funções nutricionais e químicas, considerada atualmente como principal alternativa para a deficiência de proteínas. Com o avanço econômico da leguminosa, as áreas de biotecnologia e genética estão desempenhando um papel fundamental no desenvolvimento de cultivares adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas, com resistência a herbicidas, pragas e doenças, nutricionalmente superiores dentre outras características. Através dessa transformação genética, os estudos científicos buscam inserir características agronômicas desejáveis na cultura da soja, com o propósito de atingir uma maior eficiência de produção com um menor uso dos recursos naturais, sem causar redução na produção de grãos (AGOMOH et al., 2021).

O cultivo da soja em solos de várzea do estado do Rio Grande do Sul, tem aumentado nos últimos anos, como alternativa de rotação de culturas para áreas de terras baixas. Principal medida de controle à incidência de pragas e plantas daninhas prejudiciais ao arroz (CONAB, 2019). Com a alta do preço no mercado e a possível rotação com o arroz irrigado para controle e manejo de plantas daninhas, a soja está sendo cada vez mais inserida no ambiente de várzeas. Porém a implantação da cultura da soja neste ambiente de várzea, tornou-se necessário a utilização de práticas de manejo do solo que propicie uma drenagem eficaz.

Por ser um ambiente caracterizado com hidromórfico, a soja encontra dificuldades de adaptação a estas áreas, o que está relacionado às características físicas do solo, à dinâmica hídrica e à disponibilidade de nutrientes. Os planossolos de Terras Baixas caracterizam-se por apresentar horizonte A superficial e horizonte B com capacidade de percolação muito baixa (VAHL & SOUZA, 2004). Devido a estas características, em épocas de chuva abundante o solo permanece coberto por lâmina de água por longos períodos (VEDELAGO, 2014) e em épocas mais secas o solo compactado apresenta baixa capacidade de armazenamento de água e sua resistência à penetração é alta (BAMBERG, 2007), prejudicando o sistema de raízes da soja.

O solo é um recurso natural fundamental para a produção agrícola, e sua qualidade é formada por fatores químicos, físicos e biológicos, inseridos em um

contextos ecológicos, podendo ser modificados em prol do incremento de qualidade do sistema. A qualidade do solo é uma propriedade de sustentabilidade das culturas, influenciando também na saúde das plantas, animais e conseqüentemente em seres humanos (MELO et al., 2017).

Os organismos que habitam o solo são sensíveis às modificações de qualquer natureza (física, química e biológica) que ocorrem no meio, podendo ser utilizados como indicadores de sua qualidade, por meio dos processos no solo relacionados com o manejo adotado (BARETTA et al., 2008). A biomassa microbiana do solo tem sido utilizada como indicador de alterações e de qualidade de ecossistema capazes de refletir as mudanças de uso do solo (FERNANDES et al., 2013). Quanto às propriedades biológicas, podem ser citadas as medidas de abundância de diferentes organismos do solo (minhocas, nematoides, térmitas, formigas, actinomicetos, etc.), a biomassa microbiana, atividade enzimática, entre outros (MAIA et al., 2013).

As populações de microrganismos no solo coexistem em um equilíbrio ecológico que pode ser significativamente influenciado pela espécie cultivada, pelo revolvimento do solo, aplicação de insumos e por fatores climáticos predominantes, especialmente a temperatura e a umidade (JACOBSEN & HJELMSØ, 2014). A decomposição de matéria orgânica, a nitrificação, fixação do N<sub>2</sub> atmosférico, a agregação do solo e a produção de compostos capazes de interferir no desenvolvimento de outros organismos são processos majoritariamente governados por microrganismos do solo (NAIR & NGOUAJIO, 2012).

Microrganismos do solo são os principais determinantes da qualidade do solo e da produção agrícola, pela ciclagem de nutrientes, formação do solo, agregação das partículas, biorremediação e pela influência direta na fertilidade química, biológica e sistêmica do solo (ANGHINONI e VEZZANI, 2021). O crescimento microbiano na rizosfera é altamente estimulado pelos exsudatos da raiz e influencia positivamente nos diferentes conceitos de fertilidade do solo (WANG et al., 2022). A variedade de plantas leva à dinâmica das populações microbianas da rizosfera, a qual influencia o crescimento e a saúde da planta e a sustentabilidade do agroecossistema (DUNFIELD e GERMIDA, 2004).

Os microrganismos têm um grande impacto na produtividade dos vegetais. Dois mecanismos principais podem ser distinguidos: efeito direto sobre as plantas via associação com raízes que formam mutualismo ou relacionamento patogênico com

plantas, e efeito de via indireto da ação de vida livre do microrganismo que altera as taxas de suplemento de nutriente.

As enzimas são biomoléculas da classe das proteínas que atuam como catalisadores, sendo elas específicas para cada composto a ser quebrado (MANISHA, 2017). No solo, as enzimas são essenciais para a transformação e ciclagem de nutrientes, pois atuam diretamente na quebra e catalisação de compostos de cadeia longa, fornecendo assim a base primária para a absorção das plantas (KANDELER, 2015). Ademais, atuam de forma a reduzir a toxicidade das moléculas fenólicas e de íons metálicos e ajudam na defesa antimicrobiana (SINSABAUGH, 2010).

Estas possuem forte papel para os ciclos biogeoquímicos, participando da formação da matéria orgânica e estrutura do solo, estando diretamente ligadas à fertilidade e diversidade de organismos no solo, podendo se manterem ativas na ausência de microrganismos (FERREIRA, 2017; OLIVEIRA-SILVA et al., 2020). Para Utobo et al., (2015), a atividade enzimática é influenciada pela umidade do solo, temperatura, pH, além das características nutricionais. Entretanto, a atividade antrópica e os processos naturais do solo podem influenciar em maior ou menor quantidade.

Os microrganismos formam complexas teias de interações ecológicas. Essas interações podem ter um impacto positivo (ganho), um impacto negativo (perda) ou nenhum impacto (neutro) sobre as espécies interagentes, as possíveis combinações de ganho, perda e neutralidade para os membros dessa interação permitem a classificação de vários tipos de interação (FAUST; RAES 2012). Esses microrganismos estão ligados à processos de decomposição, ciclagem biogeoquímica, movimentação de material e transferência de nutrientes, interferindo nas características físicas e químicas do solo (MEDEIROS et al., 2018).

As micorrizas englobam várias associações simbióticas entre fungos e raízes, dentre as quais, as micorrizas arbusculares, de ocorrência mais ampla que as demais, tanto em espécies vegetais colonizadas como em distribuição geográfica. Fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) pertencem à ordem Glomales, são asseptados e colonizam as raízes de plantas de quase todos os gêneros das gimnospermas e angiospermas, além de algumas briófitas e pteridófitas (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006).

Os fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) formam uma simbiose com as raízes de mais de 90% das plantas terrestres, sendo de grande importância tanto no aspecto nutricional como ecológico (MOREIRA E SIQUEIRA, 2006), considerando-se que plantas com micorrizas são a regra e não a exceção. Um dos efeitos benéficos mais pronunciados e estudados do FMA é o aumento no desenvolvimento das plantas devido à maior absorção de nutrientes, particularmente os de baixa mobilidade no solo, pelo desenvolvimento de estruturas internas nas raízes e de hifas extra radiculares. Estas hifas funcionam como extensões do sistema radicular, aumentando a área de exploração do solo em mais de cem vezes. As micorrizas podem ainda aumentar a tolerância das plantas às doenças e ao estresse hídrico (SMITH E READ, 1997).

A promoção de práticas isoladas de manejo não aumenta a qualidade do solo, tal ação só ocorre com o uso de manejos integrados (FLIEBBACH et al., 2007), visto que, manter o nível desejável de qualidade do solo, não é uma tarefa fácil, devido aos inúmeros fatores que lhe influenciam, desde o clima ao manejo realizado pelo homem e as interações entre esses (LIMA et al., 2013; CHERUBIN et al., 2015). Os atributos biológicos do solo são importantes indicadores de alterações causadas por práticas agrícolas, úteis para o monitoramento e também para a orientação do planejamento e da avaliação das práticas de manejo (FERREIRA et al., 2017).

A matéria orgânica do solo tem sido considerada como indicador chave, isso por que apresenta sensibilidade a modificações resultantes das ações antrópicas, além de apresentar interação com as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (CHERUBIN et al., 2015; COSTA et al., 2020)

## **OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho foi avaliar a atividade microbiana do solo em ambiente de várzea quando submetidos a diferentes manejos na entressafra antecedendo a semeadura da cultura da soja, através de bioindicadores (FMAs, glomalina,  $\beta$ -glicosidade, arilsulfatase e fosfatase ácida) e a avaliação do potencial produtivo da soja quando submetidos à diferentes manejos de solo realizados na entressafra antecedendo o cultivo da soja.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Descrição do Experimento

O experimento foi realizado no município de Santa Maria-RS, em área destinada ao cultivo do arroz irrigado na localidade de Arroio Grande (Coordenadas: 29° 41' 35,63' S e 53° 41' 46,51' O) na safra de 2020/2021. Para a implantação da cultura da soja neste ambiente de várzea foram realizados três manejos de solos distintos realizados na entressafra da cultura (denominados tratamentos) realizados no período de agosto de 2020 (entressafra da cultura da soja). Os diferentes manejos preconizados para cultivo da soja na várzea foram: subsolagem; subsolagem seguido de implantação de uma cobertura vegetal e pousio. Os manejos foram iniciados no dia 02 de agosto de 2020.

O manejo de subsolagem foi realizado com o auxílio de implemento subsolador contendo cinco hastes acoplado ao trator, sendo esta operação realizada em dois sentidos da área experimental, ou seja, subsolagem no sentido paralelo e transversal da área.

No manejo subsolagem seguida de implantação de cobertura, realizou-se o manejo de subsolagem conforme descrito acima. Após esta operação semeou-se no dia 03 de agosto de 2020 a cultura do azevém na densidade de 100 Kg/ha e adubação de base de 230 Kg/ha da fórmula 05-20-20. No dia 11 de setembro de 2020 realizou-se o manejo de cobertura através da aplicação do fertilizante nitrogenado (ureia, 46-00-00) na dose de 150 Kg/ha. Esta cobertura vegetal foi manejada no dia 13 de novembro de 2020 através da aplicação do herbicida Trop (N-phosphonomethyl glycine – GLIFOSATO, 480 g/L, Adama – Londrina/PR, registro MAPA 03495) na dose de 2,5 L/ha com intuito de formar uma palhada para o plantio da soja.

No manejo de pousio (onde consiste em deixar o solo em repouso após a colheita da cultura anterior) a área experimental destinada para este tratamento não recebeu nenhum, ou seja, após a colheita do arroz na safra 2019/2020 permaneceu sem revolvimento de solo até a semeadura da cultura.

O delineamento experimental foi o de blocos inteiramente casualizado sendo que os tratamentos (subsolagem, subsolagem seguido de implantação de uma cobertura vegetal e pousio) foram implementados em uma área com dimensões de 30

metros de largura por 50 metros de comprimento (1500 metros quadrados), com cinco repetições na qual consistirão em pontos de coleta alocados em cada tratamento denominados “parcelas”.

### **Semeadura da cultura da soja**

A semeadura da soja ocorreu no dia 08 de dezembro de 2020, através de semeadura em linha utilizando uma semeadora Vence Tudo com 3 linhas de plantio espaçadas em 0,45 metros acoplada a um trator. A cultivar utilizada no experimento foi Brasmax Garra IPro na densidade de 250000 mil plantas por hectare. Esta cultivar apresenta hábito de crescimento indeterminado, grupo de maturação 6.3 e recomendação cultivo em área de várzea. No dia 30 de novembro de 2020 toda a área experimental recebeu o manejo de dessecação através da aplicação dos herbicidas Trop na dose de 3,0 L/ha e Select OnePack ((RS) -2-[(E)-1-[(E)-3-chloroallyloxyimino]propyl]-5-[2-(ethylthio)propyl]-3-hydroxycyclohex-2-enone – CLETODIM 120 g/L – UPL do Brasil Ituperava/SP, registro MAPA 02102) na dose de 1,2 L/ha para fins de uniformização da cobertura vegetal presente nos três tipos de manejos realizados.

A adubação de base da soja foi realizada através da aplicação concomitante com a semeadura de 250 Kg/ha do adubo fórmula 02-20-20 e da aplicação em cobertura de 120 Kg/ha de cloreto de potássio.

Durante a condução do experimento realizou-se um manejo preventivo das doenças através da aplicação no dia 30/01/2022 do fungicida Fusão na dose de 0,7 L/ha (E-2-methoxyimino-N-methyl-2-(2-phenoxyphenyl) acetamide METOMINOSTROBINA + RS-1-p-chlorophenyl-4,4-dimethyl-3-(1H-1,2,4-triazol-1-ylmethyl)pentan-3-ol TEBUCONAZOL 110 g/L + 165 g/L – Iharabrás S/A Indústrias Química – Sorocaba/SP, registro MAPA 9517; no dia 16/02/2022 aplicou-se o fungicida Unizeb Gold na dose de 1,5 Kg/ha (Manganese ethylenebis(dithiocarbamate) (polymeric) complex with zinc salt MANCOZEBE 750 g/Kg, UPL do Brasil Ituperava/SP, registro MAPA 018007).

## **Atividade Microbiana**

Para avaliação da atividade microbiana em cada tratamento foram realizadas cinco amostragens de solos contendo planta e raízes que foram utilizados para as avaliações de contagens de esporos dos fungos micorrizos arbusculares (FMAs), atividade das enzimas  $\beta$ -glicosidade, arilsulfatase e fosfatase ácida e análise da proteína glomalina.

Em cada uma das amostras, foram coletadas 25 sub amostras com trado calador, na camada de 0-10 cm, para a composição de uma amostra composta. Após coletadas, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório Microbiologia e Biologia do solo da BIOMONTE ASSESSORIA, CONSULTORIA, PESQUISA E DESENVOLVIMENTO RURAL LTDA, localizada no Distrito de Boca do Monte- Santa Maria-RS, onde foram tamisadas em peneiras de 2 mm e armazenadas sob refrigeração (4°C) para a realização das análises.

Para a contagem dos esporos dos FMAs foram extraídos de um volume de 50 ml de solo usando o método de peneiramento úmido, segundo o método GERDERMANN E NICOLSON, 1963, realizados junto ao Laboratório de Biologia do Solos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, campus Santiago/RS.

A extração de glomalina foi realizada seguindo a metodologia de WRIGHT e UPADHYAYA, 1996. Amostras de solo foram pesadas e secas em estufa à 60° C por 48 horas. Em seguida, pesou-se 1 g de solo em tubos Falcon com capacidade para 50 ml, em replicatas. Adicionou-se uma solução tampão, a cada tubo, que foram autoclavados por 30 minutos a 121° C. Em seguida os frascos foram centrifugados, para determinar a concentração de glomalina, pipetou-se 100  $\mu$ L do extrato em tubo de ensaio, adicionando reagente aos tubos. Após esse procedimento os tubos foram levados para agitação em vórtex, e após realizada a leitura em espectrofotômetro.

Para determinação da atividade da  $\beta$ -glicosidade, Arilsulfatase e Fosfatase ácida seguiu-se a metodologia de DICK et al. 1996 modificada, com alteração do substrato utilizado para cada reação. As amostras de solo (1,0 g) foram colocadas em béquer de 50 ml, foi adicionado o substrato na dose de 250 microlitros e 1 ml de Buffer

(solução tampão), a seguir colocou-se em banho maria por 1 hora, após adicionou-se reagentes a esta solução para estabilizar (0,5 microlitros de  $\text{CaCl}_2$  e 1 microlitro de THAM), após deixar por 5 minutos na centrifuga na rotação de 3000 rpm, pipetou-se a solução aquosa e levou-se para o espectrofotômetro para fazer a leitura. O substrato utilizado na reação da  $\beta$ -glicosidade foi o p-nitrofenil- $\beta$ -D-Glicopiranosídeo 0,05 M (PNG 0,05 M), para a Arilsulfatase foi o p-nitrofenil phosphatase disodium salt hexahydrate e para a Fosfatase ácida, o p-nitrofenil fosfato 0,05 M (PNF 0,05 M) da empresa Sigma-Aldrich Corporation.

### **Parâmetros de Produtividade**

O número de legumes por planta e o número de nós por planta, foram determinados em dez plantas colhidas em sequência na linha central a partir do início da parcela útil. E o PMG (Peso de Mil Grão) foi realizado segundo o Manual de Regras para Análise de Sementes de 2009, oito repetições de 100 sementes por tratamento foram contadas e tiveram suas massas determinadas; os resultados foram expressos em gramas.

Para a avaliação de produtividade da cultura, realizou-se a colheita no dia 28/04/2021 através da colheita manual em dois metros quadrados de cada parcela. Após a operação de colheita realizou-se o processo de trilha e posterior secagem das sementes até atingir 13% de umidade.

### **Delineamento experimental e Análise estatística**

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado (DIC) na forma de um fatorial com cinco repetições. Os erros experimentais foram testados quanto à normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e o teste de Bartlett para analisar a homogeneidade das variâncias, com o auxílio do programa Action (ESTATCAMP, 2011). Posteriormente, procedeu-se à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey para agrupamento das médias, em 5% de probabilidade de erro ( $p < 0,05$ ) utilizando-se o programa estatístico Sisvar® 5.3 (FERREIRA, 2011).

Para a realização da interpretação da Análise de Pearson usou-se a Tabela do valor de r (Tabela 1).

**Tabela 1:** Tabela da classificação do Coeficiente de Pearson.

Valor de $r$ (+ ou -)	Interpretação
0,00,	Nula
0,01 a 0,20	Ínfima fraca
0,21 a 0,40	Fraca
0,41 a 0,60	Moderada
0,61 a 0,80	Forte
0,81 a 0,99	Ínfima Forte
1	Perfeita

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2 e 3 estão apresentados os resultados referentes ao manejo de pousio, subsolagem e subsolagem com cobertura vegetal, através do Teste de Tukey, entre as variáveis Micorrização, Arilsulfatase, Fosfatase ácida,  $\beta$ -glucosidase e Glomalina do solo, quando avaliados no estágio R1 e no momento da colheita da cultura da soja. Analisando os resultados obtidos, pode-se inferir que as variáveis não apresentam diferença estatística significativa, com a probabilidade de erro de 5%, quando comparadas o manejo de pousio, subsolagem e subsolagem com cobertura vegetal durante a entressafra.

Na Tabela 2, observa-se que no estágio de R.1 da cultura da soja, não ocorreu diferença estatística com as variáveis Arilsulfatase, Fosfatase ácida,  $\beta$ -Glicosidase, Glomalina e Micorrização, nos manejos de pousio, subsolagem e subsolagem com cobertura vegetal durante a entressafra.

**Tabela 2.** Avaliação de Arilsulfatase, Fosfatase ácida,  $\beta$ -Glicosidase, Glomalina e Percentual de Micorrização, no estágio de R.1, no manejo de pousio, subsolagem e subsolagem com cobertura vegetal na entressafra. Santa Maria, RS 2022.

Tratamento	Arilsulfatase (microgramas de p-nitrofenol/grama de solo/ hora	Fosfatase (microgramas de p- nitrofenol/grama de solo/ hora	$\beta$ -Glicosidase (microgramas de p- nitrofenol/grama de solo/ hora	Glomalina mg / g de solo	% Micorrização
Pousio	20,84b*	103,81a	36,04a	1,82a	42,2a
Subsolagem	18,24b	70,46b	28,44b	1,75a	36,3b
Subsolagem com cobertura vegetal	31,66 <sup>a</sup>	81,38b	25,79b	1,75a	41,2a
<b>CV (%)</b>	12,34	18,41	16,13	8,90	12,35

\*Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para Lima (2013) e Cherubin (2015), manter o nível desejável de qualidade do solo não é uma tarefa fácil, em vista dos inúmeros fatores que lhe influenciam, tais como: clima, solo, planta, manejo humano e as interações entre esses. A qualidade do solo é mensurada através do uso de indicadores que são atributos biológicos com a capacidade de quantificar o nível de desequilíbrio ao qual um determinado ambiente está sujeito, podendo determinar os efeitos sobre a qualidade do solo e a sustentabilidade das práticas agrícolas (GOMES et al., 2015). Para mensurar a qualidade de um solo, deve-se levar em conta o seu dinamismo, não devendo ser efetuada de forma isolada e direta, e sim, estimada a partir de indicadores (ARAÚJO et al., 2012).

As enzimas do solo participam da decomposição da matéria orgânica liberada no solo durante o crescimento das plantas, na formação e decomposição dos húmus, bem como na liberação e transferência de substâncias minerais para as plantas. Embora as propriedades microbiológicas e bioquímicas sejam dinâmicas, as enzimas são um determinante preciso e importante da fertilidade do solo e são de importância ainda maior quando é necessário determinar as mudanças que ocorrem no solo (BURNS et al., 2013; NIEWIADOMSKA et al., 2018a).

Na Tabela 3, estão apresentados resultados das avaliações de Arilsulfatase, Fosfatase ácida,  $\beta$ -Glicosidase, Glomalina, Percentual de Micorrização, PMG, Produtividade, Número de Legumes por Planta e Número de Nó, no momento da colheita, no manejo de pousio, subsolagem e subsolagem com cobertura vegetal na entressafra.

**Tabela 3:** Avaliação de Arilsulfatase, Fosfatase ácida,  $\beta$ -Glicosidase, Glomalina, Percentual de Micorrização, no momento da colheita, no manejo de pousio, subsolagem e subsolagem com cobertura vegetal na entressafra. Santa Maria, RS 2022.

Tratamento	Arilsulfatase (microgramas de p-nitrofenol/grama de solo/ hora	Fosfatase (microgramas de p- nitrofenol/grama de solo/ hora	$\beta$ -Glicosidase (microgramas de p- nitrofenol/grama de solo/ hora	Glomalina mg / g de solo	% Micorrização
Pousio	38,50b	73,03a	34,17b	1,85a	31,2b
Subsolagem	58,93 <sup>a</sup>	60,19b	32,10b	1,70a	30,35b
Subsolagem com cobertura vegetal	39,47b	62,26ab	46,88a	1,84a	41,1a
<b>CV (%)</b>	16,80	11,32	14,27	7,84	11,76

\*Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As tabelas 2 e 3 demonstram que a perturbação do solo, com a prática de subsolagem, interfere de forma negativa na dinâmica das comunidades microbianas envolvidas no ciclo do fósforo orgânico no solo. Neste sentido, evidencia-se que o tratamento pousio, sem a entrada de mecanização, apresentou maior atividade da enzima fosfatase ácida. Neste tratamento, a conversão do fósforo orgânico em fósforo prontamente disponível para as plantas foi significativamente superior aos demais tratamentos.

**Tabela 4:** Avaliação do PMG, Produtividade, Número de Legumes por Planta e Número de Nó no momento da colheita, no manejo de pousio, subsolagem e subsolagem com cobertura vegetal na entressafra. Santa Maria, RS 2022.

Tratamento	PMG (g)	Produtividade (kg/ha)	Legumes / planta	Número de nós
Pousio	137,25	1703,30	26	21,5
Subsolagem	137,0	2045,30	29,5	22
Subsolagem com cobertura vegetal	784,35	2064,0	29,5	21,5
<b>CV (%)</b>				

A biomassa microbiana é considerada um excelente indicador da qualidade do solo, é responsável por regular as transformações e acúmulo de nutrientes, sendo uma fração lábil da matéria orgânica do solo, podendo refletir mudanças na matéria orgânica e no desenvolvimento do solo, já que os microrganismos do solo mediam vários processos que afetam o ecossistema e estão associados com a ciclagem de nutrientes, fertilidade do solo, mudanças nos estoques de carbono e na dinâmica da matéria orgânica (HOFFMANN et al., 2018). Funciona como compartimento reserva de carbono, nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) no solo, elementos essenciais para o desenvolvimento vegetal e como catalisador na decomposição da matéria orgânica (SOUZA et al., 2010).

As enzimas são biomoléculas da classe das proteínas que atuam como catalisadores, sendo elas específicas para cada composto a ser quebrado, existindo, assim, uma variabilidade enorme de enzimas (MANISHA, 2017). No solo, as enzimas são essenciais para a transformação e ciclagem de nutrientes, pois atuam diretamente na quebra e catalisação de compostos de cadeia longa, fornecendo, assim, a base primária para a absorção das plantas (KANDELER, 2015).

A micorrização contribui para a sobrevivência e crescimento das espécies, principalmente em ambientes estressantes, onde os fungos micorrizos arbusculares (FMA) exercem grande influência na estruturação das comunidades vegetais (SIQUEIRA et al., 1994), com o aumento na absorção de nutrientes de baixa mobilidade no solo (MARSCHNER e DELL, 1994), melhoram a estrutura do solo, favorecendo a sua retenção de umidade, a agregação e estabilidade (AUGÉ et al., 2001) e influenciam a diversidade e a produtividade vegetal (MILLER e KLING, 2000).

O processo de decomposição realizado principalmente pelos microrganismos do solo é fundamental na liberação dos nutrientes e micronutrientes constituintes das estruturas dos compostos orgânicos. Os nutrientes liberados por esse processo podem ser imobilizados pelos microrganismos e utilizados na formação de novos compostos orgânicos, ou mineralizados e liberados na solução do solo (SILVA & MENDONÇA, 2007).

Os resíduos das plantas de cobertura fornecem condições adequadas de umidade e temperatura que contribuem para criar um ambiente mais favorável ao crescimento e atividade microbiana, resultando em maior armazenamento de carbono e nitrogênio no solo (FRASER et al., 2016). Características como teor de lignina, capacidade de enraizamento e de estabelecer simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio e fatores relacionados à melhoria nos atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo devem ser considerados (DA SILVA et al., 2017).

Nas Tabelas a seguir, estão expostos os valores referentes a Análise de Trilha, obtidos através da correlação entre a Micorrização em relação as enzimas de Arilsulfatase, Fosfatase ácida,  $\beta$ -glicosidase e Glomalina, das amostras de solos que foram coletadas no estágio de R.1 e no momento da colheita da cultura da soja. Através desta análise determinou-se que a atividade da Micorrização influenciou de forma direta as demais enzimas avaliadas.

Na Tabela 5, estão expostos os valores referentes a estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de trilha, obtidos a partir da correlação entre a micorrização total e as quantificações enzimáticas de Arilsulfatase, Fosfatase ácida,  $\beta$ -glicosidase e Glomalina, no manejo de pousio. Verificou-se que quando submetidos a avaliação realiza no estágio de R.1 da cultura da soja, a micorrização obteve correlação direta com a enzima Arilsulfatase, porém através do Coeficiente de Pearson com uma correlação negativa.

As enzimas Fosfatase ácida,  $\beta$ -glicosidase e Glomalina, obtiveram uma correlação direta com a micorrização, e através do Coeficiente de Person uma correlação positiva, onde a enzima Fosfatase ácida apresentou uma correlação maior que as demais enzimas. Sabe-se que, quando há deficiência de fósforo no solo, as raízes das plantas e os micro-organismos aumentam a secreção de fosfatase ácida, intensificando a micorrização para solubilização e remobilização do fosfato, influenciando assim a capacidade da planta responder às condições de estresse por fósforo (KAI et al., 2002). Estes resultados são importantes para estas condições de cultivo de soja em ambientes de várzeas, onde nestas áreas são predominantes solos mais ácidos e com baixa disponibilidade de fósforo. Assim, determinar um manejo de solo no qual se alie uma maior atividade biológica favorece a planta em produzir sob condições adversas ao desenvolvimento da cultura.

Nas coletas de solos realizadas no momento da colheita, para a estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de análise de trilha, a partir da correlação entre a Micorrização e as enzimas Arilsulfatase, Fosfatase ácida,  $\beta$ -glicosidase e Glomalina. Os resultados mostram que todas as enzimas apresentaram correlação positiva com a Micorrização, a qual podem ser explicadas pela atividade dos fungos micorrizicos arbusculares que se intensificam quando ocorre decréscimo dos nutrientes do solo. Neste sentido pode-se concluir que os FMA interagem diretamente com a microbiota do solo na escassez de nutrientes disponível para a planta (LINDERMANN, 1988).

Na Tabela 6, observa-se os resultados obtidos através do coeficiente da análise de trilha, onde estimou-se os efeitos diretos e indiretos com correlação da enzima Micorrização com as enzimas Arilsulfatase, Fosfatase ácida,  $\beta$ -glicosidase e Glomalina no manejo de subsolagem durante a entressafra.

**Tabela 5.** Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de análise de trilha, obtidos a partir da correlação entre a micorrização total e as quantificações enzimáticas de Arilsulfatase, Fosfatase ácida,  $\beta$ -Glicosidase e Glomalina, avaliações realizadas com manejo de pousio na entressafra. Santa Maria, RS 2022.

Variável	Vias de associação	Coeficiente de Trilha (R1)	Coeficiente de Trilha (Colheita)
<b>Arilsulfatase</b>	EFEITO DIRETO SOBRE Micorrização	0,02368337	-0,0681263

	EFEITO INDIRETO VIA Fosfatase ácida	-0,24385768	0,46739681
	EFEITO INDIRETO VIA $\beta$ -Glicosidase	-0,01771817	0,00457165
	EFEITO INDIRETO VIA Glomalina	-0,00518752	0,00401085
	TOTAL (r)	-0,24308	0,407853
<b>Fosfatase ácida</b>	EFEITO DIRETO SOBRE Micorrização	0,73779338	0,82042764
	EFEITO INDIRETO VIA Arilsulfatase	-0,0078279	-0,03881149
	EFEITO INDIRETO VIA $\beta$ -Glicosidase	0,0044023	0,01991179
	EFEITO INDIRETO VIA Glomalina	0,00001522	0,01457205
	TOTAL (r)	0,734383	0,8161
<b><math>\beta</math>-Glicosidase</b>	EFEITO DIRETO SOBRE Micorrização	0,04948462	0,13320262
	EFEITO INDIRETO VIA Arilsulfatase	-0,00847993	-0,00233816
	EFEITO INDIRETO VIA Fosfatase ácida	0,06563631	0,12264163
	EFEITO INDIRETO VIA Glomalina	0,005858	0,01443391
	TOTAL (r)	0,112499	0,26794
<b>Glomalina</b>	EFEITO DIRETO SOBRE Micorrização	0,02277878	0,1584125
	EFEITO INDIRETO VIA Arilsulfatase	-0,00539353	-0,00172489
	EFEITO INDIRETO VIA Fosfatase ácida	0,00049285	0,0754695
	EFEITO INDIRETO VIA $\beta$ -Glicosidase	0,01272591	0,01213689
	TOTAL (r)	0,030604	0,244294
<b>Coefficiente de determinação</b>		0,54233006	0,71615502
<b>Efeito variável residual</b>		0,67651308	0,53277104
<b>(r) : coeficiente de correlação de Pearson</b>			

A correlação realizada nas análises coletadas quando a cultura da soja encontrava-se no estágio de R1, mostram através da análise de trilha que as enzimas Arilsulfatase e  $\beta$ -Glicosidase apresentaram correlação negativa e as enzimas Fosfatase ácida e Glomalina apresentaram correlação positiva, com a micorrização. O manejo de subsolagem pode interferir no tipo e qualidade do substrato, favorecendo ou inibindo, o estabelecimento dos diferentes grupos microbianos (CARDOSO et al., 2016).

As coletas realizadas no momento da colheita revelaram, através da correlação da análise de trilha, que a enzima Arilsulfatase apresentou correlação negativa com a enzima Micorrização. A atividade da arilsulfatase no solo decresce com a profundidade e com a diminuição do teor de matéria orgânica (BALIGAR et al., 1988), concluindo que cada solo tem sua característica típica de atividade enzimática, que

pode ser influenciada por fatores, tais como: grau de evolução da matéria orgânica ou tipo de vegetação que lhe deu origem.

As enzimas Glomalina, Fosfatase ácida, e  $\beta$ -glicosidase apresentaram correlação positiva com a atividade de Micorrização, devido a estas enzimas apresentarem uma maior atividade quando o solo está com baixa disponibilidade de nutrientes para a planta.

A associação simbiótica com fungos micorrízicos é determinante em ambientes distróficos, visto que beneficia as plantas em diversas funções primordiais, como absorção de água, ciclagem de nutrientes e manutenção das simbioses entre o sistema radicular e comunidades fúngicas e bacterianas (HACKER et al. 2015; KATO e OKAMI 2011).

Solos que apresentam uma certa porcentagem de umidade favorecem o aumento da biomassa fúngica, uma vez que propiciam elementos como água e nutrientes para seu desenvolvimento e dispersão (A'BEAR et al. 2014). Esta situação é contrastante para a atividade de fosfatase ácida. Isso ocorre, pois, essa enzima também está associada a microorganismos, como a micorriza, que possui uma alta atividade em estações chuvosas devido ao alto carregamento de P e este elemento ficar em baixa quantidade disponível no solo (HUANG et al 2011).

**Tabela 6.** Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de análise de trilha, obtidos a partir da correlação entre a micorrização total e as quantificações enzimáticas de Arilsulfatase, Fosfatase ácida,  $\beta$ -glicosidase e Glomalina, avaliações realizadas com manejo de subsolagem na entressafra. Santa Maria, RS 2022.

Variável	Vias de associação	Coefficiente de Trilha (R1)	Coefficiente de Trilha (Colheita)
<b>Arilsulfatase</b>	EFEITO DIRETO SOBRE Micorrização	0,11357446	-0,04827323
	EFEITO INDIRETO VIA Fosfatase ácida	-0,01856278	0,00047235
	EFEITO INDIRETO VIA $\beta$ -Glicosidase	-0,03045941	-0,00160764
	EFEITO INDIRETO VIA Glomalina	-0,02251627	-0,00409249
	TOTAL (r)	0,042036	-0,053501
<b>Fosfatase ácida</b>	EFEITO DIRETO SOBRE Micorrização	0,70866524	0,85108965
	EFEITO INDIRETO VIA Arilsulfatase	-0,00297497	-0,00002679
	EFEITO INDIRETO VIA $\beta$ -Glicosidase	0,0094091	-0,00205843
	EFEITO INDIRETO VIA Glomalina	-0,06646237	0,00762757
	TOTAL (r)	0,648637	0,856632
<b><math>\beta</math>-Glicosidase</b>	EFEITO DIRETO SOBRE Micorrização	-0,08306719	-0,00855543

	EFEITO INDIRETO VIA Arilsulfatase	0,04164594	-0,00907097
	EFEITO INDIRETO VIA Fosfatase ácida	-0,08027122	0,20477132
	EFEITO INDIRETO VIA Glomalina	0,01357547	0,00108308
	TOTAL (r)	-0,108117	0,188228
<b>Glomalina</b>	EFEITO DIRETO SOBRE Micorrização	-0,20444992	0,04030378
	EFEITO INDIRETO VIA Arilsulfatase	0,01250807	0,00490171
	EFEITO INDIRETO VIA Fosfatase ácida	0,23037219	0,16107042
	EFEITO INDIRETO VIA $\beta$ -Glicosidase	0,00551566	-0,00022991
	TOTAL (r)	0,043946	0,206046
	<b>Coefficiente de determinação</b>	0,46443693	0,73834735
	<b>Efeito variável residual</b>	0,73182175	0,51151994
<b>(r) : coeficiente de correlação de Pearson</b>			

A baixa porcentagem de água no solo pode levar a uma diminuição de associações micorrízicas e aumento das atividades enzimáticas como a fosfatase ácida exsudada pelas raízes (BOROWIK e WYSZKOWSKA 2016).

Na Tabela 7, estão expostos os valores referentes a correlação dos resultados pelo coeficiente da análise de trilha, com a correlação da Micorrização com as enzimas Arilsulfatase, Fosfatase ácida,  $\beta$ -glicosidase e Glomalina, onde as coletas de solo, foram realizadas no estágio de R.1 e da colheita da cultura da soja.

Os resultados obtidos das análises coletadas no estágio de R.1 da soja, mostraram uma correlação negativa da Micorrização com as enzimas  $\beta$ -Glicosidase e Arilsulfatase. E as enzimas Fosfatase ácida e Glomalina apresentaram correlação positiva com a Micorrização, resultados que podem estar relacionados com os cultivos de cobertura do solo, onde estes visam principalmente, a formação de matéria orgânica para proteção do solo. Porém, nas regiões de clima tropicais maiores intensidades de chuva e temperaturas causam aumento na velocidade de decomposição das coberturas (HARASIM et al., 2016).

As correlações dos resultados das coletas realizadas no momento da colheita da soja, obtiveram uma correlação negativa entre a enzima Arilsulfatase e Micorrização e uma correlação positiva entre as enzimas Glomalina,  $\beta$ -Glicosidase e Fosfatase ácida com a Micorrização, através da estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes da análise de trilha. O revolvimento do solo, seguido de uma palhada de baixa qualidade, expõe a matéria orgânica do solo ao processo de decomposição microbiana acelerado, devido à destruição dos agregados (HASSINK & WHITMORE, 1997), sendo assim ativa a atividade enzimática do solo.

Os microrganismos presentes no solo são os responsáveis pelo processo de transformação da matéria orgânica, a qual é fonte de nutriente e energia para a formação e o desenvolvimento de suas células, bem como para sínteses de substâncias orgânicas no solo. Por esse processo, os micro-organismos imobilizam temporariamente nutrientes em sua biomassa, que serão liberados após a sua morte e decomposição, podendo tornar-se disponíveis às plantas (GAMA-RODRIGUES, 2008).

Analisando a figura 1 observa-se que o manejo de pousio apresenta resultados positivos para as enzimas  $\beta$ -glicosidase e para Glomalina, este resultado está atrelado a atividade da  $\beta$ -glicosidase que é influenciada pela qualidade dos resíduos da cultura e por diversas práticas de manejo do solo.

Um sistema de plantio direto e redução na frequência de preparo do solo resulta em um aumento nas atividades da  $\beta$ -glicosidase, bem como da biomassa microbiana C e N em contraste com um sistema de preparo convencional (PANDEY et al., 2014). A redução da intensidade do preparo do solo favorece e aumenta a atividade da  $\beta$ -Glicosidase devido à melhoria da biomassa microbiana, maior disponibilidade de substrato e redução da perturbação do solo (SINSABAUGH et al., 2010).

**Tabela 7.** Estimativa dos efeitos diretos e indiretos dos coeficientes de análise de trilha, obtidos a partir da correlação entre a micorrização total e as quantificações enzimáticas de Arilsulfatase, Fosfatase ácida,  $\beta$ -glicosidase e Glomalina avaliações realizadas com manejo de subsolagem e cobertura vegetal, na entressafra. Santa Maria, RS 2022.

Variável	Vias de associação	Coefficiente de Trilha (R1)	Coefficiente de Trilha (Colheita)
<b>Arilsulfatase</b>	EFEITO DIRETO SOBRE Micorrização	0,32472713	0,09121518
	EFEITO INDIRETO VIA Fosfatase ácida	0,04445541	-0,01658883
	EFEITO INDIRETO VIA $\beta$ -Glicosidase	-0,026465	0,02090666
	EFEITO INDIRETO VIA Glomalina	-0,07787454	-0,11496201
	TOTAL (r)	0,264843	-0,019429
<b>Fosfatase ácida</b>	EFEITO DIRETO SOBRE Micorrização	0,83072485	0,42790004
	EFEITO INDIRETO VIA Arilsulfatase	0,01737745	-0,00353623
	EFEITO INDIRETO VIA $\beta$ -Glicosidase	-0,00133948	0,05082313
	EFEITO INDIRETO VIA Glomalina	0,01929119	0,12134906
	TOTAL (r)	0,866054	0,596536
<b><math>\beta</math>-Glicosidase</b>	EFEITO DIRETO SOBRE Micorrização	-0,07986878	0,19700035
	EFEITO INDIRETO VIA Arilsulfatase	0,10760028	0,00968021
	EFEITO INDIRETO VIA Fosfatase ácida	0,01393209	0,11039179

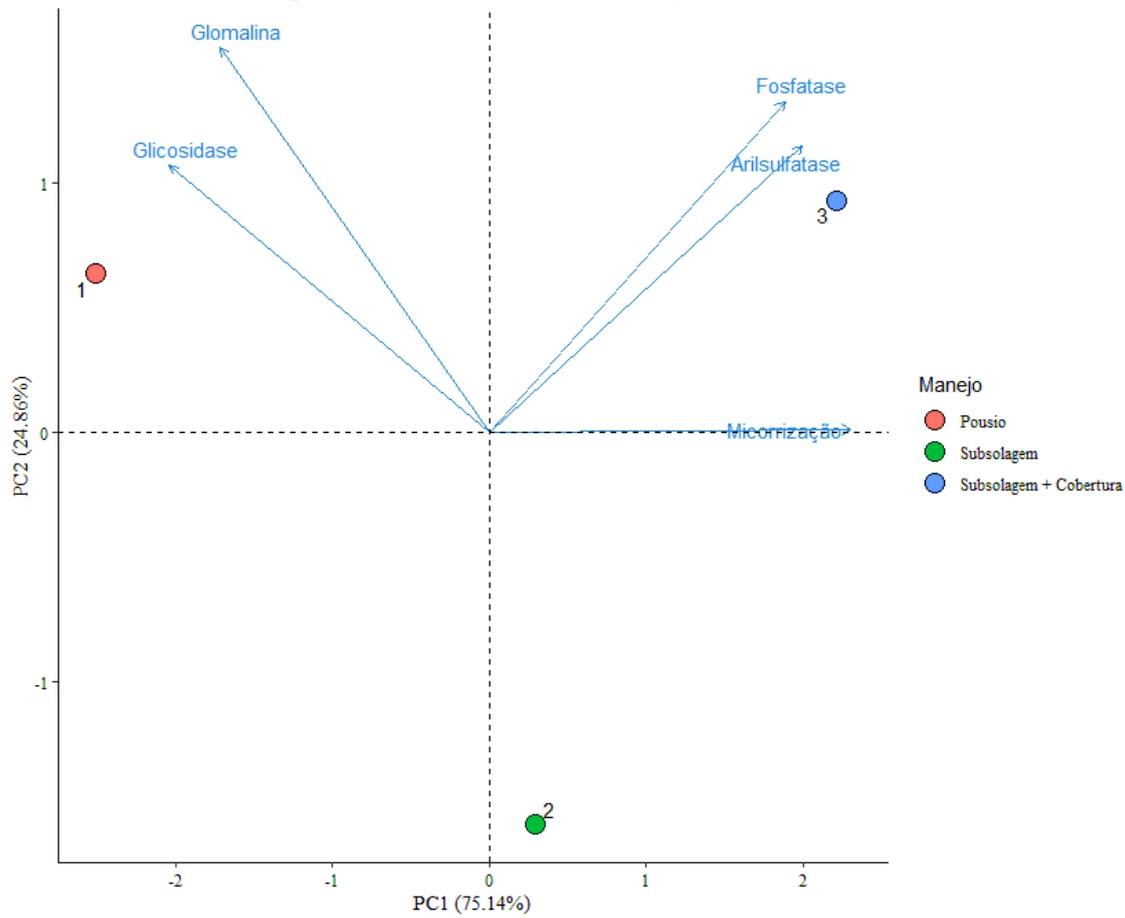
	EFEITO INDIRETO VIA Glomalina	0,00717241	0,09202965
	TOTAL (r)	0,048836	0,409102
<b>Glomalina</b>	EFEITO DIRETO SOBRE Micorrização	0,15320435	0,53416789
	EFEITO INDIRETO VIA Arisulfatase	-0,16506042	-0,01963106
	EFEITO INDIRETO VIA Fosfatase ácida	0,10460321	0,09720776
	EFEITO INDIRETO VIA $\beta$ -Glicosidase	-0,00373914	0,0339404
	TOTAL (r)	0,089008	0,645685
	<b>Coefficiente de determinação</b>	0,81519022	0,67898299
	<b>Efeito variável residual</b>	0,42989508	0,56658363
<b>(r) : coeficiente de correlação de Pearson</b>			

Conseqüentemente a presença da glomalina está explicada pelo fato desta ser identificada como uma glicoproteína e tem sido detectada em grandes quantidades em numerosos solos (NICHOLS, 2003, WRIGHT; UPADHYAYA, 1998), o que tem sido atribuído ao fato dos FMA colonizarem 80% das plantas vasculares e apresentarem uma distribuição global (VODNIK et al., 2008). As quantidades relativamente altas da glomalina no solo podem também ser resultado do comportamento recalcitrante desta biomolécula no solo (RILLING et al., 2001), conseqüentemente, com reduzida taxa de decomposição (STEINBERG; RILLING, 2003).

No manejo do solo de subsolagem demonstrou-se insatisfatório em relação as enzimas no estágio de R.1 da cultura da soja, isto se explica pelo fato que o preparo convencional com aração e gradagem diminui o conteúdo de matéria orgânica do solo e destrói a estrutura do solo devido à quebra dos seus agregados levando a redução na infiltração de água e, conseqüentemente, redução da quantidade de água disponível para as plantas. Desta forma, além da menor atividade biológica, menor será a quantidade de nutrientes absorvidos pelas plantas (ELEFTHERIADIS & TURRIÓN, 2014).

Nas Figuras 1 e 2 abaixo estão apresentados os resultados referentes a análise de componentes principais (PCA), com os manejos de solos utilizados, dispostos de acordo com o momento das coletas.

**Figura 1:** Análise de Componentes Principais (PCA), com os manejos de solos na entressafra, no estágio de R.1 da cultura da Soja. Santa Maria, RS 2022.



No manejo de solo subsolação com cobertura vegetal, as enzimas Fosfatase ácida, Arilsulfatase e Micorrização apresentaram destaque, sendo que o aumento da atividade da fosfatase ácida associada a solos corrigidos com materiais orgânicos pode ser atribuído à estimulação do crescimento microbiano e ao enriquecimento de matéria orgânica do solo. A atividade da fosfatase ácida pode ser considerada um bom índice da qualidade e quantidade de matéria orgânica nos solos. Vários estudos relataram que a atividade das fosfatases aumenta em solos suplementados com matéria orgânica e inoculados com espécies micorrízicas (JONER e JAKOBSEN, 1995; VAN AARLE e PL ASSARD, 2010).

Os principais fatores que afetam a atividade da enzima Arilsulfatase destacam-se a quantidade de matéria orgânica, que é rica em ésteres de sulfato, substrato dessa enzima (NOGUEIRA & MELLO, 2003). Esta atua na hidrólise de ésteres de sulfatos do solo, tendo grande importância na mineralização do enxofre orgânico (TABATABAI, 1994).

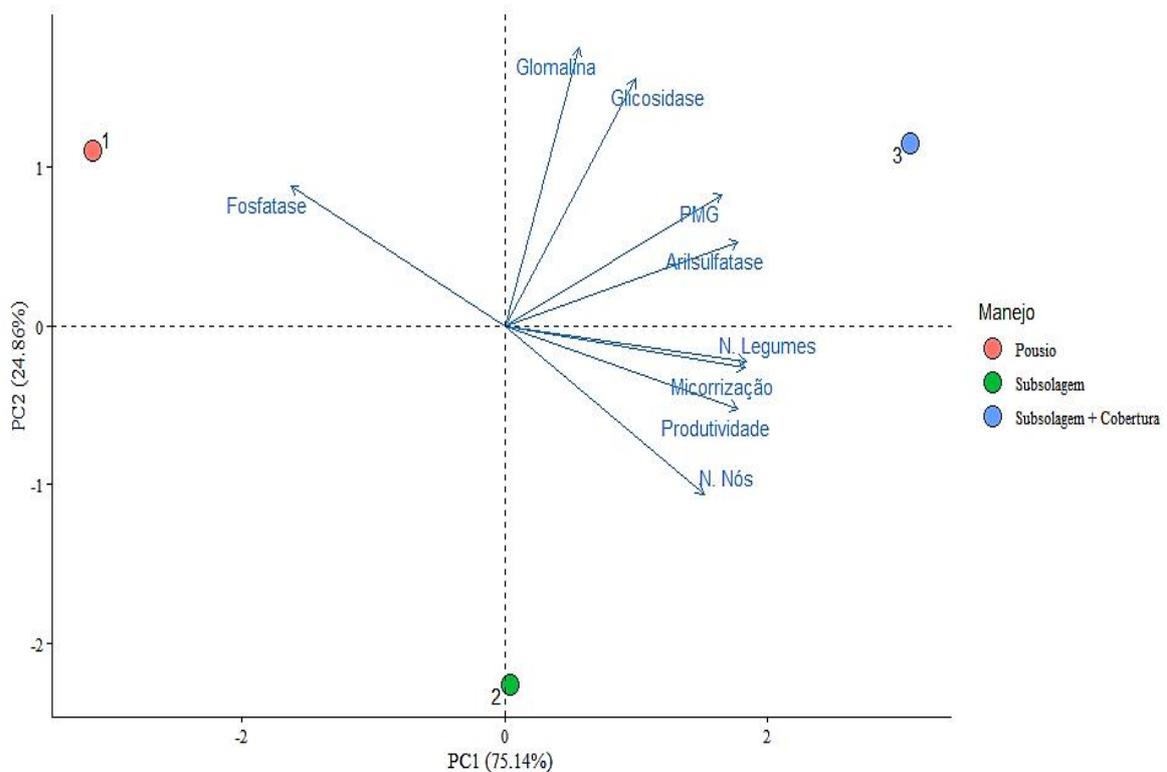
A micorrização é afetada por diversos fatores, segundo Moreira Souza e Cardoso (2002) em situações de alta disponibilidade de nutrientes, especialmente de P, as plantas tendem a diminuir a colonização. Entretanto, a baixa disponibilidade de nutrientes favorece a colonização radicular pelo Fungo Micorrizico Arbuscular, indicando que a colonização e a esporulação são geralmente máximas nessas condições.

Na figura 2, nota-se que cada manejo de solo, influenciou diretamente e indiretamente a atividade enzimática e a micorrização, estes afetaram diretamente os resultados dos componentes de rendimento.

Devido a incorporação dos restos culturais na entressafra, o manejo de subsolagem não apresentou resultados positivos em relação as enzimas e micorrização, estas alterações efetuadas podem causar uma diminuição na atividade e, conseqüentemente, um prejuízo na sustentabilidade do ecossistema devido à redução da decomposição da matéria orgânica e diminuição da ciclagem de nutrientes (CARNEIRO, 2009). As práticas agrícolas alteram os atributos físicos, químicos e biológicos do solo, influenciando as diversas populações da comunidade microbiana. Essas modificações refletem-se na composição, atividade e biomassa da comunidade microbiana, uma vez que a permanência de uma população no ecossistema fica condicionada à sua habilidade de adaptação e de resposta a essas mudanças ambientais (KIRCHNER et al., 1993; PEREIRA et al., 2016).

O manejo de solo de subsolagem com cobertura vegetal, obteve melhores resultados devido a produção de biomassa ser essencial para o sistema, pois protege o solo da erosão, contribui para a melhoria da fertilidade e aumenta a infiltração e a disponibilidade de água para as plantas. Para a cobertura, são utilizadas espécies como leguminosas, gramíneas, crucíferas, além de outras, usadas ainda na pré-safra. Seus resíduos são mantidos na superfície do solo para a formação de cobertura morta (ANDRIOLI, et al; 2008).

**Figura 2:** Análise de Componentes Principais (PCA), com os manejos de solos, no momento da colheita da cultura da soja na entressafra. Santa Maria, RS 2022.



Destacando-se com maior atividade enzimáticas no momento da colheita as enzimas  $\beta$ -glicosidase, Glomalina e Arilsulfatase. A  $\beta$ -glicosidase atua na etapa final do processo de decomposição da celulose, sendo responsável pela hidrólise dos resíduos de celobiose formando o açúcar simples glicose (TABATABAI, 1994). Salienta-se que por ser uma enzima que atua diretamente no ciclo do C, pode ser influenciada por fatores, tais como grau de evolução da matéria orgânica e/ou tipo de vegetação que lhe deu origem e consequentemente pelo fato da Glomalina ser uma glicoproteína está associada a  $\beta$ -glicosidase.

A arilsulfatase é considerada uma enzima indutiva, isso quer dizer que se há baixa concentração de sulfato na solução de solo, haverá baixa disponibilidade de S e, portanto, os micro-organismos do solo estimulam a produção dessa enzima (PIOTROWSKA-DŁUGOSZ et al., 2017), o que resulta em sua maior atividade. Em contraposto, altos teores de sulfato no solo diminuem a atividade e a produção de arilsulfatase (SIWIK-ZIOMEK; LEMANOWICZ; KOPER, 2016). Por isso, a atividade da arilsulfatase também pode ser considerada como indicador de intensidade da

mineralização bioquímica de ésteres de sulfato orgânicos no solo (KOTKOVÁ et al., 2008).

Com relação aos componentes de rendimento, o PMG apresentou melhor resultado no manejo de subsolagem com cobertura vegetal, interagindo de maneira positiva com as enzimas Glomalina, Arilsulfatase e  $\beta$ -Glicosidase. Estes resultados estão atrelados ao solo que possui melhores condições e nutrientes para este grão se desenvolver. A prática de proteger o solo com plantas de cobertura ou adubos verdes é vantajosa, pois possibilita a diversificação, o que é uma prática recomendável em sistemas agrícolas sustentáveis e proporciona benefícios para o ciclo produtivo das culturas de interesse econômico (BALBINOT JÚNIOR et al., 2009).

O número de nós, número de legumes e a produtividade responderam positivamente o manejo de subsolagem, atrelado a micorrização. Os solos de cultivo de arroz apresentam camadas de solos compactadas na superfície, pelo uso de excessivo de máquinas agrícolas ocorrendo uma redução do volume do solo, com isso reduzindo o espaço poroso (MUNARETO et. al 2011). A prática de escarificação reduz a camada superficial compactada do solo, minimizando o efeito da compactação, diminuindo a densidade e a resistência do solo à penetração de raízes, nisso proporcionando maior rendimento de grãos na cultura da soja (SARTORI et. al, 2015).

A sustentabilidade dos sistemas agrícolas está diretamente relacionada à conservação do solo (BOGUNOVIC et al. 2018). Desta forma, deve-se manejar os sistemas agrícolas buscando aumentar as entradas de resíduos vegetais visando mantê-los na superfície do solo na busca de propiciar maior proteção da estrutura destes solos e ainda a ciclagem dos nutrientes pela mineralização destes resíduos vegetais (LOURENTE et al., 2011; EVANS & ENTZ, 2016). Assim, a adoção da semeadura direta e de outras práticas de conservação, como o uso de plantas de cobertura do solo, pode melhorar a qualidade do solo em sistemas de cultivo e ainda reduzir o uso de fertilizantes (CARR et al., 2010).

Normalmente, as culturas comerciais produzem pouca quantidade de palha, sendo esta insuficiente para manter o solo coberto durante todo o ano. Nestes casos, o uso de plantas de cobertura é uma alternativa para manter os princípios do sistema de semeadura direta. Os resíduos das plantas de cobertura aumentam os teores de matéria orgânica, melhoram a atividade biológica e estrutura do solo, controlam as

plantas invasoras e aumentam a presença de inimigos naturais de pragas (LESLIE et al., 2017).

## CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, conclui-se que o manejo de solo realizado na entressafra influencia a atividade microbiana do solo e sua simbiose com as plantas de soja quando cultivada em ambiente de várzea e conseqüentemente influencia a produtividade da cultura.

A atividade dos fungos micorrízicos avaliada através da micorrização nas raízes de soja através da correlação de Pearson, foi a de maior influência sobre as enzimas Glomalina, Fosfatase ácida, Arilsulfatase,  $\beta$ -Glicosidase para a cultura da soja independente do manejo de solo realizada na entressafra.

Com base nos resultados pode-se inferir que a atividade enzimas Glomalina,  $\beta$ -Glicosidase e Arilsulfatase interagiram com o PMG no manejo de subsolagem com cobertura vegetal. A Micorrização está atrelada com o número de legumes, número de nós e a produtividade no manejo de subsolagem.

Observou-se que o manejo de solo realizado na entressafra da cultura da soja tem papel fundamental no sucesso do cultivo em ambientes de várzea. As condições do solo neste ambiente podem influenciar diretamente a atividade microbiana do solo e conseqüentemente influencia a produtividade da soja. Ao correlacionar os resultados dos parâmetros biológicos do solo através das análises enzimáticas e componentes do rendimento da soja com os manejos de solo realizados na entressafra e este aliados à maiores condições de atividade microbiana no solo observa-se maior produtividade e sustentabilidade da cultura da soja em ambientes de várzea em rotação de cultura com o arroz irrigado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

A'BEAR AD, JONES TH, KANDELER E, BODDY L (2014). Interactive effects of temperature and soil moisture on fungal-mediated wood decomposition and extracellular enzyme activity. **Soil Biology and Biochemistry** **70**: 151-158.

AGOMOH, I. V.; DRURY, C. F.; YANG, X.; PHILLIPS, L. A.; REYNOLDS, D. Crop rotation enhances soybean yields and soil health indicators. **Soil & Water Management & Conservation**. V. 85, n. 4, p. 1185-1195, 2021.

ANDRIOLI I.(2), et al., Produção De Milho Em Plantio Direto Com Adubação Nitrogenada E Cobertura Do Solo Na Pré-Safra, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 32:1691-1698, 2008.

ARAÚJO, E., A., KER, J., C., NEVES, J., C., L., LANI, J., L., Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.187-206, 2012.

AUGÉ, R. M. et al. Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. **Plant and Soil**, v.230, p.87-97, 2001 Comm. Soil Sci. Plant Anal.

BALBINOT JR., A.A. **Uso do solo no inverno: propriedades do solo, incidência de plantas daninhas e desempenho da cultura de milho**. 2007. 150f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Programa de Pós-graduação em Agronomia – Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Paraná.

BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J. & SMEDLEY, M.D. **Enzyme activities in hill land soils of the Appalachian region..**, 19:367-384, 1988.

BAMBERG, A.L. **Avaliação da densidade de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo ao longo do tempo através da tomografia computadorizada**. 2007, 98f. Dissertação - (Mestrado em Agronomia), Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, RS.

BARETTA, D; FERREIRA, C. S; SOUSA, J. P; CARDOSO, E. J. B. N. Colêmbolos (Hexapoda: Collembola) como bioindicadores de qualidade do solo em áreas com *Araucaria angustifolia*. **Rev. Bras. Ciên. Solo.**, v. 32, p. 2693-2699, 2008

BOGUNOVIC I, PEREIRA P, KISIC I, SAJKO K, SRAKA M. **Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia)**. *Catena*, 160:376-384, 2018.

BOROWIK A & WYSZKOWSKA J (2016). **Soil moisture as a factor affecting the microbiological and biochemical activity of soil**. *Plant Soil Environ* 6:250–255.

BURNS, RG, DEFOREST, JL, MARXSEN, J., SINSABAUGH, RL, STROMBERGER, ME, WALLENSTEIN, MD, WEINTRAUB, MN, ZOPPINI, A.

(2013): **Enzimas do solo em um ambiente em mudança: conhecimento atual e direções futuras.** – *Biologia e Bioquímica do Solo*, 58:216 -234.

CARDOSO, E. J. B. N.; ANDREOTE, F. D. *Microbiologia do solo*. 2º ed. Piracicaba/SP: Universidade de São Paulo. **Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, 2016.

CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; NETO, A. N. da S. Atributos bioquímicos em dois solos de Cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 276-283, 2009.

CARR, M.K.V.; KNOX, W. The water relations and irrigation requirements of sugar cane (*Saccharum officinarum*): **A Review. Experimental Agriculture**, v.47, p.1-25, 2010.

CHERUBIN, M. R; EITELWEIN, M. T; FABBRIS, C; WEIRICH, S. W; SILVA, R. F; SILVA, V. R; BASSO, C. J. Qualidade física, química e biológica de um Latossolo com diferentes manejos e fertilizantes. **Rev. Bras. de Ciên. do Solo**, v. 39, p. 615-625, 2015.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 6 - Safra 2018/19 - Nono levantamento, Brasília, p. 1-113 junho 2019. Acessado em 06 setembro 2019. Online. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>.

COSTA, A. A; MACHADO, E. B. N; LUDUVICO, G. A; MACEDO, I. L. M. Atributos físicos e estoque de carbono em áreas sob diferentes formas de uso do solo no Cerrado do Oeste da Bahia. **Braz. Jour. Of Devel.**, v. 6, n. 5, p. 32294- 32306, 2020.

DA SILVA, M. P. et al. Plantas de cobertura e qualidade química e física de Latossolo Vermelho distrófico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 1, 2017.

DICK, R. P. Soil enzymes activities as indicators of soil quality. In: DIRAN, J. W. et al. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 107-124. (Special publication, 35).

DUNFIELD, K. E.; GERMIDA, J. J. Impact of genetically modified crops on soil- and plant-associated microbial communities. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 33, n. 3, p. 806- 815, 2004.

ELEFTHERIADIS, A.; TURRIÓN M. B. 2014. Soil microbiological properties affected by land use, management, and time since deforestations and crop establishment. **European Journal of Soil Biology** 62:138-144.

ESTATCAMP. Action: versão 2.0. **Licença pública geral**. São Carlos: Estatcamp, 2011.

EVANS R., LAWLEY Y., AND ENTZ M.H. 2016. Fall-seeded cereal cover crops differ in ability to facilitate low-till organic bean (*Phaseolus vulgaris*) production in a short-season growing environment. *Field Crops Res.* **191**: 91–100.

FAUST, K; RAES, J. **Microbial interactions: from networks to models.** *Nat. Rev.: Mic.*, v. 10, n. 8, p. 538-550, 2012.

FERNANDES, M. M; SILVA, M. D; VELOSO, M. E. C; OLIVEIRA, T. M; FERNANDES, M. R. M. & SAMPAIO, F. M. T. Biomassa microbiana e matéria orgânica em áreas desertificadas revegetadas com pinhão-manso solteiro e consorciado com gramínea no Sui do Piauí. **Rev. Bras. de Ciênc. Agrar.**, v. 8, p. 464-469, 2013.

FERREIRA, D.F. SISVAR: **um programa para análises e ensino de estatística.** In:Revista symposium. p. 36-41, 2011.

FERREIRA, E. P. B; STONE, L. F; MARTIN-DIDONET, C. C. G. População e atividade microbiana do solo em sistema agroecológico de produção. **Rev. Ciênc. Agron.**, v.48, p.22-31, 2017.

FLIEBBACH, A; OBERHOLZER, H-R; GUNST, L. & MÄDER, P. **Soil organic matter and biological soil quality indicators after 21 years of organic and conventional farming.** *Agri., Eco.& Env.*, v. 118, p. 273-284, 2007.

FRASER, F. C.; TODMAN, L. C.; CORSTANJE, R.; DEEKS, L. K.; HARRIS, J. A.; PAWLETT, M.; WHITMORE, A. P.; RITZ, K. Distinct respiratory responses of soils to complex organic substrate are governed predominantly by soil architecture its microbial community. **Soil Biology & Biochemistry.** n. 103, p. 493-501. 2016. DOI.org/10.1016/j.soilbio.2016.09.015

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. DE A. et al. (Eds.). . **Fundamentos da matéria orgânica do solo – Ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2° ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 159–170.

GERDEMANN, J.W.; NICOLSON, T.H. Spores of mycorrhizal endogene species extracted form soil by sieving and decanting. **Transactions British Mycological Society**, London, v. 46, p. 235-246, 1983.

GOMES, R., L., R., DA SILVA, M., C., DA COSTA, F., R., JUNIOR, A., F., L., ITAMAR PEREIRA DE OLIVEIRA, I., P., DA SILVA, D., B. Propriedades físicas e teor de matéria orgânica do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Revista Faculdade Montes Belos (FMB)**, v. 8, nº 5, 2015, p (72-139), 2014 ISSN 18088597.

HACKER N, EBELING A, GESSLER A, GLEIXNER G, MACÉ OG, KROON H, LANGE M, MOMMER L, EISENHAUER N, RAVENEK J, SCHEU S, WEIGELT A, WAGG C, WILCKE W, OELMANN Y (2015). **Plant diversity shapes microbe-rhizosphere effects on P mobilization from organic matter in soil.** *Ecology Letter.* 18: 1356–1365.

HARASIM, E.; GAWEDA, D.; WESOLOWSKI, M.; KWIATKOWSKI, C.; GOCOL, M. Cover cropping influences physico-chemical soil properties under direct drilling soybean. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Section B – Soil and Plant Science, v.66, p.85-94, 2016.

HASSINK, J. & WHITMORE, A.P. **A model of the physical protection of organic matter in soils**. Soil Science Society of America Journal, 61:131-139, 1997.

HOFFMANN, R. B.; MOREIRA, E. E. A.; HOFFMANN, G. S. S.; ARAÚJO, N. S. F. Efeito do manejo do solo no carbono da biomassa microbiana. **Braz. J. Anim. Env. Res.**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 168-178, jul./set. 2018.

HUANG W, LIU J, ZHOU G, ZHANG D, DENG Q (2011) **Effects of precipitation on soil acid phosphatase activity in three successional forests in southern China**. Biogeosciences 8: 1901– 1910.

JACOBSEN, C.S. & HJELMSØ, M. H. (2014). **Agricultural soils, pesticides and microbial diversity**, Cur. Op. Biot.27, 1520.

JONER, E., JAKOBSEN, I. 1995. Growth and extracellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**. 27, 1153-1159.

KAI, M., TAKAZUMI, K., ADACHI, H., WASAKI, J., SHINANO, T., OSAKI, M. 2002. **Cloning and characterization of four phosphate transporter cdnas in tobacco**. Plant Science. 163, 837-846.

KANDELER, E. **Physiological and Biochemical Methods for Studing Soil Biota and Their Functions**. In: PAUL, E. (Ed.). Soil Mic., Ecol. and Bioc. New York: Academic Press, 2015. p. 187-222.

KATO Y & OKAMI M (2011). Root morphology, hydraulic conductivity and plant water relations of high-yielding rice grown under aerobic conditions. **Annals of Botany** 108(3): 575– 583.

KIRCHNER, M.J.; WOLLUM, A.G.; KING, L.D. Soil microbial populations and activities in reduced chemical input agroecosystems. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.57, n.5, p.1289-1295, 1993.

KOTKOVÁ, B. et al. Crop influence on mobile sulphur content and arylsulphatase activity in the plant rhizosphere. **Plant, Soil and Environment**, v. 54, n. 3, p. 100– 107, 2008.

LESLIE HA, BRANDSMA SH, VAN VELZEN MJM, VETHAAK AD. 2017. Microplastics en route: Field measurements in the Dutch river delta and Amsterdam canals, wastewater treatment plants, North Sea sediments and biota. *Environ Int* **101**:133–142

LIMA, A. C. R.; BRUSSAARD, L.; TOTOLA, M. R.; HOOGMOEDD, W. B.; GOEDE, R. G. M. A functional evaluation of three indicator sets for assessing soil quality. **Appl. Soil Ecol.**, v. 64, p. 194–200, 2013

LINDERMAN, R.G. **Mycorrhizal interactions with the rizosphere microflora: the mycorrhizosphere effect**. *Phytopathologist*, v.78, p.366-371, 1988.

LOURENTE, E. R. P.; ONTOCELLI, R.; SOUZA, L. C. F.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E.; RODRIGUES, E. T. Culturas antecessoras, doses e fontes de nitrogênio nos componentes de produção do milho. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 1, p. 55-61, 2011.

MAIA, C. E. Qualidade ambiental em solo com diferentes ciclos de cultivo do meloeiro irrigado. *Ciênc. Rur.*, v. 43, p. 603-609, 2013.

MANISHA, S. K. Y. **Technological advances and applications of hydrolytic enzymes for valorization of lignocellulosic biomass**. *Bior. Tech.*, v. 245, Parte B. dec., p. 1727-1739, 2017

MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v.159, p.89-102, 1994.

MEDEIROS, E. J. T; CAVALCANTE, F. G; SILVA, M. A; SILVEIRA, S. C; MARTINS, C. M. Diversidade cultura de Cepas de actinobactérias do semiárido. **Enci. Bio.**, v.15 n.27. 2018.

MELO, V.F., SILVA, D.T., EVALD, A., ROCHA, P.R.R. (2017). Chemical and biological quality of the soil in different systems of use in the savanna environment. **Revista Agro@ambiente** on-line. 11(2): 101-10.

MILLER, R. M.; KLING, M. The importance of integration and scale in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v.226, p.295-309, 2000.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Editora UFLA, 2006. 626p.

MOREIRA-SOUZA, M.; CARDOSO, E.J.B.N. Dependência micorrízica de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. sob doses de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.905-912, 2002.

MUNARETO, J.D.; BEUTLER, A.N.; RAMÃO, C.J.; DIAS, N.P.; RAMOS, P.V.; POZZEBON, B.C.; ALBERTO, C.M.; HERNANDES, G.C. Propriedades físicas do solo e produtividade de arroz irrigado por inundação no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.12, p.1499-1506,2011.

NAIR, A. & NGOUAJIO, M. (2012). **Soil microbial biomass, functional microbial diversity, and nematode community structure as affected by cover crops and compost in an organic vegetable production system**. *App. S. Ec.*, 58, 4555.

NICHOLS, K. A. **Characterization of glomalin** – a glycoprotein produced by arbuscular mycorrhizal fungi. 2003. Thesis (Ph.D.) – University of Maryland, College Park, MD.

NIEWIADOMSKA, A., SULEWSKA, H., WOLNA-MARUWKA, A., RATAJCZAK, K., GYUCHOWSKA, K., WARACZEWSKA, Z., BUDKA, A. (2018a). **Avaliação da influência da coinoculação com bactérias endofíticas e rizóbios, e a influência dos fertilizantes PRP SOL e PRP EBV nos parâmetros microbianos do solo e atividade da nitrogenase em treçoço amarelo.**

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. Enxofre disponível para a soja e atividade de arilsulfatase em solo tratado com gesso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 04, p. 655-663, 2003.

OLIVEIRA-SILVA, M.; VELOSO, C.L.; NASCIMENTO, D.L.; OLIVEIRA, J.; PEREIRA, D.F.; COSTA, K.D.S. **Indicadores químicos e físicos de qualidade do solo.** Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 7, p. 47838-47855, jul. 2020. DOI:10.34117/bjdv6n7-431.

PANDEY, D., AGRAWAL, M., BOHRA, J.S. 2014. Effects of conventional tillage and no tillage permutations on extracellular soil enzyme activities and microbial biomass under rice cultivation. **Soil and Tillage Research**. 136, 51-60.

PEREIRA, A. A.; OLIVEIRA, M. A.; LEAL, J.; ILTON, C. **Custo de transporte e alocação da demanda: análise da rede logística de uma produtora brasileira de fertilizantes nitrogenados.** J. Transp. Lit., Manaus , v. 10, n. 4, p. 5-9, Dez. 2016.

PIOTROWSKA-DŁUGOSZ A, SIWIK-ZIOMEK A, DŁUGOSZ J, GOZDOWSKI D (2017) **Spatio-temporal variability of soil sulfur content and arylsulfatase activity at a conventionally managed arable field.** Geoderma 295:107–118.

RILLIG, M. C.; WRIGHT, S. F.; NICHOLS, K. A.; SCHMIDT, W. F.; TORN, M. S. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils. **Plant and Soil, The Hague**, v. 233, n. 2, p. 167-177, 2001.

SARTORI, G. M. S.; MARCHESAN, E., DAVID, R.D., CARLESSO, R., PETRY, M.T., DONATO, G., CARGNELUTTI FILHO, A.; SILVA, M.F.D. Soybean yield under different planting systems and border irrigation on Alfisols. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 50, n. 12, p. 1139-1149, dez. 2015.

SILVA, I. R. DA; MENDONÇA, E. D. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F. DE et al. (Eds.). **Fertilidade so solo.** Viçosa/ MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275–374.

SINSABAUGH, R.L., LAUBER, C.L., WEINTRAUB, M.N., AHMED, B., ALLISON, S.D., CRENSHAW, C., CONTOSTA, A.R., CUSACK, D., FREY, S., GALLO, M.E. 2010. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. **Ecology Letters**. 11, 1252-1264

SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M.S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M. & ARAUJO, R.S. Microrganismos e processos biológicos do solo: **Perspectiva ambiental**. Brasília, Embrapa, 1994. p.142

SIWIK-ZIOMEK A. LEMANOWICZ J., KOPER J., Arylsulphatase activity and sulphate content in relation to crop rotation and fertilization of soil, 2016 Institute of Agrophysics, **Polish Academy of Sciences**.

SMITH, S.E.; READ, D.J. Mycorrhizal Symbiosis. California: **Academic Press**, 1997. 506p.

SOUZA, E. D; COSTA, S. E. V. G. A; ANGHINONI, I; CARVALHO, P. C. F; ANDRIGUETI, M; CAIO, E. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Bras. Ciên. Solo**, v.33, p.1829-1836, 2010.

STEINBERG, PD; RILLIG, MC Decomposição diferencial de hifas de fungos micorrízicos arbusculares e glomalina. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 35, n. 01, pág. 191–194, 2003.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W.; SCOTT, A.; BOTTOMELEY, P. J. **Methods of soil analysis: microbiological and biochemical properties**. 1. ed. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p. 777.

UTOBO, E. B; TEWARI, L. Soil Enzymes as Bioindicators of Soil Ecosystem Status. **Appl. Ecol. and Env. Res.**, v. 13, n.1, p.147-169, 2015.

VAHL, L.C.; SOUZA, R.O. **Aspectos físico-químicos de solos alagados**. In: GOMES, A.S.; MAGALHÃES Jr., A.M. (Eds.) Arroz irrigado no sul do Brasil. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.97-118.

VAN AARLE, I.M., PLASSARD, C. 2010. Spatial distribution of phosphatase activity associated with ectomycorrhizal plants is related to soil type. **Soil Biology and Biochemistry**. 42, 324-330.

VEDELAGO, A. **Adubação para a soja em Terras Baixas drenadas do Rio Grande do Sul**. 83f, 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Programa de PósGraduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

VODNIK, D.; GRČMAN, H.; MACEK, I.; ELTEREN VAN, J. T.; KOVACENIC, M. The contribution of glomalin-related soil protein to Pb and Zn sequestration in polluted soil. **Science of the Total Environment**, v. 392, n. 1, p. 130-136, 2008.

WANG, B.; KUANG, S.; SHAO, H.; CHENG, F.; WANG, H. Improving soil fertility by driving microbial community changes in saline soils of Yellow River Delta under petroleum pollution. **Journal of Environmental Management**, v. 304, 114265, 2022.

WRIGHT, S. F.; FRANKE-SNYDER, M.; MORTON, J. B.; UPADHYAYA, A. Time-course study and partial characterization of a protein on hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi during active colonization of roots. **Plant and Soil**, The Hague, v. 181, n. 2, p. 193-203, 1996.

WRIGHT, S. F.; UPADHYAYA, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. **Plant and Soil**, The Hague, v. 198, n. 1, p. 97-107, 1998.