

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DA UFSM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

Luís Felipe Rossetto Gerlach

**ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE SOLO E SUA RELAÇÃO COM
SISTEMAS DE PLANTAS DE COBERTURA EM PERÍODO OUTONAL**

Santa Maria, RS
2022

Luís Felipe Rossetto Gerlach

**ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE SOLO E SUA RELAÇÃO COM SISTEMAS DE
PLANTAS DE COBERTURA EM PERÍODO OUTONAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Manejo de sítio específico de solo e planta, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Luís Santi

Santa Maria, RS,

2022

Gerlach, Luís Felipe Rossetto
ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE SOLO E SUA RELAÇÃO COM
SISTEMAS DE PLANTAS DE COBERTURA EM PERÍODO OUTONAL /
Luís Felipe Rossetto Gerlach.- 2022.
64 p.; 30 cm

Orientador: Antônio Luis Santi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em
Agricultura de Precisão, RS, 2022

1. Atividade enzimática do solo 2. Plantas de
Cobertura 3. Qualidade do Solo 4. Arilsulfatase 5.
Betaglicosidase I. Santi, Antônio Luis II. 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.

© 2022

Todos os direitos autorais reservados a Luís Felipe Rossetto Gerlach. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Sepé Tiaraju, 35, Centro. Novo Barreiro, RS, CEP 98338-000.

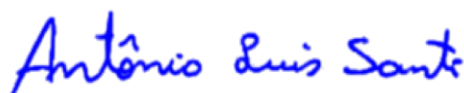
Fone: (0xx55) 991530758; Endereço eletrônico: lfelipeross@hotmail.com

Luís Felipe Rossetto Gerlach

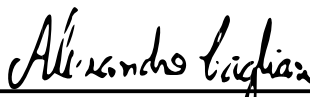
**ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE SOLO E SUA RELAÇÃO COM SISTEMAS DE
PLANTAS DE COBERTURA EM PERÍODO OUTONAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração em Manejo de sítio específico de solo e planta, como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão**.

Aprovado em 13 de junho de 2022:



Dr. Antônio Luis Santi (UFSM) - videoconferência
Presidente/Orientador)



Dr. Alexandre Cagliari (UERGS) - videoconferência



Dr. Júnior Melo Damian (USP-ESALQ) - videoconferência

Santa Maria, RS

2022

DEDICATÓRIA

A meus pais Everson Luís Gerlach e Veridiane Rossetto Gerlach pelo carinho, afeto, dedicação e cuidado que me deram durante toda a minha existência. Sua grande força foi a mola propulsora que permitiu o meu avanço, mesmo durante os momentos mais difíceis.

Agradeço do fundo do meu coração.

Dedico esse título a vocês!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela vida e por todas as oportunidades que tive, agradeço também pela força e determinação de poder lutar por meus objetivos.

A minha Mãe Veridiane Rossetto Gerlach e meu Pai Everson Luís Gerlach, agradeço o amor, carinho, compreensão, respeito, educação que me ensinaram, e por todo o esforço em poder tornar meus sonhos possíveis.

A minha namorada Larrisa Lamperti Tonello, pelos incentivos, pela compreensão, e a confiança em mim depositada. A minhas irmãs Pauline Eloisa e Lucia Luiza Rossetto Gerlach por todo afeto e confiança.

Agradeço ao professor Doutor Antônio Luís Santi por sua amizade e orientação ao longo de minha caminhada acadêmica, a Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, através do PPGAP- Programa de Pós-graduação em Agricultura de Precisão pela oportunidade. Aos professores que me auxiliaram tanto na pesquisa, quanto na vida acadêmica, Marcelo Silveira de Farias e Marcos Toebe meu muito obrigado.

Agradeço a todos os colegas de LAPSUL, por toda ajuda que me deram e por todos esses anos de convívio, agradeço em especial aos colegas Ezequiel Zibetti Fornari e Schayana Pavelsky, por nossa amizade, pelas conversas e pela ajuda em todo o trabalho.

Aos meus colegas de PPGAP, especialmente ao Guilherme Lobato por todas as experiências compartilhadas, pelas parcerias nos trabalhos, pela amizade que fiz, meu muito obrigado.

E agradeço também a empresa ConnectFarm através do CEO Rodrigo Dias pela confiança e credibilidade e por me apoiarem nesse projeto de aprimoramento profissional, e a todos os demais colegas de empresa por sempre estarem dispostos a ajudar, a ensinar. A todos aqueles que não foram lembrados, mas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização de meu mestrado, os meus sinceros agradecimentos.

EPÍGRAFE

*" A virtude moral é uma consequência do hábito.
Nós nos tornamos o que fazemos repetidamente."*

Aristóteles

*" Minha energia é o desafio,
minha motivação é o impossível,
e é por isso que eu preciso
ser, à força e a esmo, inabalável."*

Agusto Blanco

RESUMO

ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE SOLO E SUA RELAÇÃO COM SISTEMAS DE PLANTAS DE COBERTURA EM PERÍODO OUTONAL

Autor: Luís Felipe Rossetto Gerlach

Orientador: Antônio Luis Santi

A cultura do trigo tem grande importância para a sustentabilidade agrícola do sul do Brasil, e a busca por incrementos na sua produtividade entra em pauta com novos estudos. O uso de sistemas de plantas de cobertura se torna uma alternativa muito eficiente nas melhorias da qualidade do solo visando o aumento do potencial produtivo das culturas sucessoras. Algo que tem demonstrado boa relação com a qualidade do solo são os bioindicadores, sendo a atividade enzimática um dos principais bioindicadores utilizados por sua alta sensibilidade de resposta aos diferentes sistemas de manejo. Com isso este trabalho teve por objetivo avaliar diferentes sistemas de plantas de cobertura em período outonal, e sua relação com atividade enzimática de arilsulfatase e betaglicosidase e com a produtividade do trigo no norte do estado do Rio Grande do Sul. O estudo foi conduzido no ano agrícola de 2021 em um Latossolo Vermelho, em área irrigada da empresa Sementes Aurora de Cruz Alta, foi implantado 35 diferentes sistemas de plantas de cobertura, sendo 18 sistemas solteiros e 17 consorciados. Foi realizado coletas de solo georreferenciada de 0 a 0,15 m para avaliação da atividade enzimática de arilsulfatase e betaglicosidase, com 3 repetições por sistema de cultivo, totalizando 105 pontos amostrais, sendo em úmida e época seca (maio e dezembro de 2021, respectivamente), onde foi avaliado atividade enzimática de arilsulfatase e betaglicosidase, produtividade do trigo e teores de MO e S no solo. Os dados da coleta de maio foram submetidos a análise estatística descritiva, análise multivariada de agrupamento por dendrogramas para os sistemas de plantas solteiro e para os sistemas de plantas consorciadas e análise de teste de t para amostras independentes entre as médias de cada grupo. Além disso os dados de atividade enzimática de ambas as coletas foram submetidos a análise descritiva, a geoestatística e correlação de Spearman. No capítulo um observou-se que as atividades enzimáticas para as duas épocas amostradas demonstraram variabilidade. Se observou apenas correlações significativas entre as diferentes enzimas dentro da mesma época amostrada, sendo que na coleta de época úmida as enzimas tiveram correlação de 0,902 e na época seca de 0,745. No capítulo dois, percebe-se efeitos a curto prazo na atividade enzimática e na produtividade do trigo independente do sistema de manejo. Observando resultados distintos em plantas de mesma família botânica. Com isso se percebe que os atributos biológicos têm grande variabilidade vertical e temporal nas áreas agrícolas, onde as atividades enzimáticas apresentam alta correlação quando amostradas na mesma época. As atividades de arilsulfatase e betaglicosidase foram influenciadas pelos sistemas de plantas de cobertura, não apresentando influência dos teores de S e de MO do solo. A atividade Enzimática demonstra grande variabilidade, sendo dependente principalmente do manejo e da época. Portanto a curto prazo as plantas de cobertura afetam a atividade enzimática e tendem a afetar a produtividade do trigo.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Enzimas de solo. Bioindicadores.

ABSTRACT

SOIL ENZYMATIC ACTIVITY AND ITS RELATIONSHIP WITH COVERAGE PLANT SYSTEMS IN AUTUMN PERIOD

Author: Luís Felipe Rossetto Gerlach

Advisor: Antônio Luis Santi

The wheat crop is of great importance for the agricultural sustainability of southern Brazil, and the search for increases in its productivity comes into the agenda with new studies. The use of cover crop systems becomes a very efficient alternative in improving soil quality in order to increase the productive potential of the successor crops. Bioindicators have shown a good relationship with soil quality, with enzymatic activity being one of the main bioindicators used due to its high sensitivity in response to different management systems. Thus, this work aimed to evaluate different systems of cover crops in autumn, and their relationship with enzymatic activity of arylsulfatase and beta-glucosidase and with wheat productivity in the north of the state of Rio Grande do Sul. The study was conducted in the agricultural year of 2021 in a Red Latosol, in an irrigated area of the company Sementes Aurora de Cruz Alta, 35 different systems of cover plants were implanted, being 18 single systems and 17 intercropped. Georeferenced soil samples from 0 to 0.15 m were collected to evaluate the enzymatic activity of arylsulfatase and beta-glucosidase, with 3 replications per cropping system, totaling 105 sampling points, being in wet and dry season (May and December 2021, respectively), where the enzymatic activity of arylsulfatase and beta-glucosidase, wheat yield and OM and S contents in the soil were evaluated. Data from the May collection were submitted to descriptive statistical analysis, multivariate analysis of clustering by dendrograms for single plant systems and for intercropped plant systems and t-test analysis for independent samples between the means of each group. In addition, enzymatic activity data from both collections were subjected to descriptive analysis, geostatistics and Spearman correlation. In chapter one it was observed that the enzymatic activities for the two sampling periods showed variability. Only significant correlations were observed between the different enzymes within the same sampling period, and in the wet season the enzymes had a correlation of 0.902 and in the dry season of 0.745. In chapter two, short-term effects on enzymatic activity and wheat productivity can be seen, regardless of the management system. Observing different results in plants of the same botanical family. With this, it is clear that the biological attributes have great vertical and temporal variability in agricultural areas, where enzymatic activities present high correlation when sampled at the same time. The arylsulfatase and beta-glucosidase activities were influenced by the cover crops systems, showing no influence of soil S and MO contents. Enzyme activity shows great variability, being mainly dependent on management and season. Therefore, in the short term, cover crops affect enzymatic activity and tend to affect wheat productivity.

Keywords: Precision agriculture. Soil enzymes. Biomakers.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

Figure 1 – Location of the study area, Cruz Alta, RS.	32
Figure 2 – Meteorological information for the area, Cruz Alta, RS.....	34
Figure 3 – Boxplots of Arylsulfatase and Beta-Glucosidase enzymatic activity.	36
Figure 4 – Semivariograms of soil biological attributes.....	39
Figure 5 – Thematic maps of the spatial variability of the enzymatic activity of arylsulfatase and beta-glucosidase.....	40

ARTIGO II

Figura 1 – Agrupamento por dendrograma dos sistemas de plantas de cobertura solteiros.....	49
Figura 2 – Agrupamento por dendrograma dos sistemas de plantas de cobertura consorciadas.	52

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Table 1 – Average physiochemical soil attributes (depth of 0.00 – 0.15m).....	33
Table 2 – Descriptive analysis of the enzymatic activity of beta-glucosidase and arylsulfatase.	35
Table 3 - Simple linear correlation matrix between enzyme activities at different sampling times.	37
Table 4 - Parameters of the semivariograma analysis of enzymatic activity of beta-glucosidase and arylsulfatase.	38

ARTIGO II

Tabela 1 – Sistemas de plantas de coberturas, espécies e densidades de sementes utilizadas no trabalho.	44
Tabela 2 – Análise descritiva de atributos de solo e produtividade do Trigo.	48
Tabela 3 – Teores médios para cada grupo de sistemas de plantas solteiras.....	50
Tabela 4 – Teores médios para cada grupo de sistemas de plantas consorciadas.	53

LISTA DE SIGLAS

A= Alcance
C = Carbono
C0 = Efeito Pepita
C0+C1 = Patamar
Ca = Cálcio
CTC= Capacidade de Troca de Cátions
CV = Coeficiente de variação
GDE= Grau de dependência espacial
IDE= Índice de dependência espacial
K = Potássio
Mg = Magnésio
MO = Matéria Orgânica
MPS = Massa de produção seca de grãos de trigo
N = Nitrogênio
P = Fosforo
 R^2 = coeficiente de determinação da regressão
RS = Rio Grande do Sul
S = Enxofre
SPD = Sistema Plantio Direto
USDA = Departamento de Agricultura Americano
V(%) = Saturação de bases

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo geral.....	15
1.1.2 Objetivos específicos.....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 A CULTURA DO TRIGO	16
2.2 SISTEMA PLANTIO DIRETO E ROTAÇÃO DE CULTURAS	16
2.3 PLANTAS DE COBERTURA.....	17
2.4 ATIVIDADE ENZIMÁTICA	18
2.5 VARIABILIDADE DAS ÁREAS	19
3 ARTIGO I - SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF ARYLSULPHATASE AND BETAGLYCOSIDASE ENZYMATIC ACTIVITY IN LATOSSOLO VERMELHO UNDER NO-TILL SYSTEM.....	20
ABSTRACT	20
3.1 INTRODUCTION	21
3.2 MATERIAL AND METHODS.....	22
3.3 RESULTS AND DISCUSSION.....	24
3.4 CONCLUSIONS	28
BIBLIOGRAPHIC REFERENCES	29
4 ARTIGO II - EFEITO A CURTO PRAZO DE PLANTAS DE COBERTURA EM PERÍODO OUTONAL NA ATIVIDADE ENZIMÁTICA E PRODUTIVIDADE DO TRIGO.....	41
RESUMO	41
4.1 INTRODUÇÃO.....	42
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.4 CONCLUSÕES	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
6 CONCLUSÃO GERAL	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1. INTRODUÇÃO

A demanda crescente por alimentos aliada com a importância da preservação do meio ambiente, evidenciam que a melhoria das técnicas de cultivo, bem como, o melhor aproveitamento dos recursos como água, solo, nutrientes entre outros é essencial para se ter uma produção sustentável (ONU-BRASIL, 2015). Um dos recursos mais importantes na produção agrícola é o solo, onde sua conservação e preservação é de grande importância (DUARTE et. al 2014), pois o manejo inadequado gera graves consequências como a degradação dele. O uso descontrolado e sem reposição dos recursos naturais, as reservas nutricionais se tornam insuficientes para suprir as necessidades das culturas, o ambiente perde biodiversidade, ocorre o aumentando da compactação, o que torna o solo degradado, reduzindo drasticamente as produtividades (SALOMÃO et al., 2020).

O Sistema Plantio Direto (SPD) é um conjunto de técnicas conservacionistas do solo, muito eficiente para minimizar os impactos da produção agrícola, tendo uma manutenção adequada das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Conforme Salomão et. al (2020), o SPD promove a restauração e reestruturação dos atributos do solo, a curto, médio e longo prazo. Para Adams (2016), o SPD tende a proporcionar a cobertura contínua do solo, através da rotação de culturas e a semeadura direta na palha, tendo como principais objetivos realizar o mínimo revolvimento do solo, restaurando a fertilidade com a adubação verde.

No Estado do Rio Grande do Sul, a rotação de culturas é baseada principalmente em soja ou milho no verão e com o trigo no inverno. Porém, devido ao zoneamento agrícola do trigo, um ponto crítico dentro da rotação de culturas trata-se do período entre a colheita da cultura de verão até a implantação da cultura de inverno, também conhecido por vazio outonal, onde se tem uma janela de aproximadamente 90 dias entre um cultivo e outro que o solo fica desprotegido (CONAB, 2020).

Uma alternativa de manejo para esse período seria a utilização de plantas de cobertura, as quais segundo NETO & CAMPOS, (2017) e NUNES et al. (2011), promovem incremento da matéria orgânica, melhorias nas propriedades físicas, reduzem a erosão do solo, causam supressão de plantas daninhas, melhoram as características microbiológicas do solo, além de principalmente realizar ciclagem de nutrientes, conseqüentemente melhorando de modo geral a qualidade do solo. Estudos demonstram os vários benefícios das plantas de cobertura para os atributos químicos e físicos do solo (BRESSAN et al., 2013; SALOMÃO et al., 2020; BERTOLINO et al., 2021), havendo certa limitação nos estudos referente aos atributos

biológicos, isso se deve a certa dificuldade de determinar e mensurar as características microbiológicas, entretanto com métodos já utilizados pela EMBRAPA (MENDES *et al.*, 2018), além de métodos adaptados por algumas empresas (MERLADETE, 2021), estudos sobre a dinâmica entre plantas de cobertura e qualidade biológica do solo se tornam ainda mais necessários. A atividade de determinadas enzimas hoje está sendo uma das principais formas de avaliar a qualidade do solo por bioindicadores, juntamente com a respiração basal, justamente pelo fato de sua alta sensibilidade para detectar alterações mais precocemente além de ter alta correlação com a ciclagem de nutrientes (SILVEIRA, 2007).

As enzimas são biomoléculas com participação importante nos ciclos dos elementos no solo, influenciando na estabilidade dos ecossistemas (MARTENS *et al.*, 1992), dentre as principais enzimas estudadas, temos a enzima arilsulfatase que atua diretamente na disponibilização do enxofre (S) no solo e a enzima betaglicosidase, a qual atua no processo de decomposição da celulose, mais especificamente na etapa final onde realiza a hidrolisação dos resíduos de celobiose (TABATABAI, 1994). Por serem sintetizadas pôr microrganismos e vegetais, a atividade das enzimas tem correlações positivas com a produtividade, tendo então grande potencial para ser utilizadas como indicadoras de qualidade do solo, já que são sensíveis às variações induzidas pelo manejo (REVOREDO, 2005).

Devido ao fato de o solo não ter características homogêneas, é possível considerar que exista variabilidade nos atributos biológicos como a atividade enzimática tanto quanto se tem variabilidade para os atributos físico-químicos (CORREA *et al* 2009). O manejo utilizado na área tem grande influência nos atributos biológicos do solo (DUARTE, 2014), então é imprescindível a realização do mapeamento da variabilidade biológica dos solos para se ter o melhor entendimento desse atributo.

O estudo da variabilidade espacial e temporal dos atributos biológicos do solo, como a atividade enzimática, bem como, a sua relação com os sistemas de manejo adotados ao longo do tempo é imprescindível para a maior assertividade nas recomendações de práticas de melhoria da qualidade do solo na busca do aumento da produtividade das culturas e da sustentabilidade agrícola.

Portanto, a hipótese que fundamenta esse trabalho é que a utilização de diferentes sistemas de plantas de cobertura podem influenciar diretamente a atividade enzimática de arilsulfatase e betaglicosidase no solo e na produtividade de trigo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a relação de sistemas de plantas de cobertura em período outonal com enzimas do solo e com a produtividade da cultura do trigo no Planalto Médio do estado do Rio Grande do Sul.

1.1.2 Objetivos específicos

Avaliar a variabilidade espacial e temporal de atividade enzimática de Arilsulfatase;

Avaliar a variabilidade espacial e temporal de atividade enzimática de Betaglicosidase;

Analisar a relação de Arilsulfatase com plantas de cobertura, enxofre no solo, e produtividade da cultura do trigo;

Analisar a relação de Betaglicosidase com sistemas de plantas de cobertura, matéria orgânica do solo e produtividade da cultura do trigo;

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DO TRIGO

A cultura do trigo (*Triticum aestivum* L.) pertencente à família das gramíneas (Poaceae) tem origem há 11 mil anos a.C. no sudeste da Ásia, planta de ciclo anual de grande importância desde a antiguidade, sendo hoje um dos principais cereais produzidos no mundo (USDA 2021). A produção mundial de trigo segundo Departamento de Agricultura Americano – USDA (2021) foi de 775,8 milhões de toneladas na safra 2020/2021, com os maiores produtores sendo a China, a União Europeia e a Índia com 134,2, 125,9 e 107,8 milhões de toneladas respectivamente.

No Brasil, a produção prevista de trigo na safra de 2020/21 superou as 7,6 milhões de toneladas, sendo a região sul a principal produtora do grão no país, com o estado do Rio Grande do Sul (RS) sendo responsável por mais de 45% do total produzido (CONAB, 2021). O trigo possui extrema importância alimentícia, pois pode ser utilizada tanto na forma de grãos e farelo para alimentação animal, quanto na forma de seus inúmeros derivados como pães, massas e biscoitos para a alimentação humana. Além disso, através do seu gérmen, na indústria farmacêutica, é possível produzir óleos e dietéticos (WENTZ, 2010).

Com o aumento populacional e consequente maior demanda de alimentos, surgia a necessidade de melhorar a produtividade das culturas alimentícias, como o trigo. Alguns fatores influenciam diretamente a produtividade do trigo, dentre eles a densidade de semeadura e a irrigação suplementar (LOREGIAN, 2019), os atributos químicos e físicos do solo (KRAMER et al, 2014; GAERTNER, 2006) e a interferência de plantas daninhas (PEREIRA, 2017). A utilização de plantas de cobertura tem grande influência sobre esses fatores anteriormente citados, sendo assim, o conhecimento das dinâmicas de interações entre plantas de cobertura com os sistemas de manejos é de extrema importância para a busca de melhores rendimentos de trigo.

2.2 SISTEMA PLANTIO DIRETO E ROTAÇÃO DE CULTURAS

Devido a suas técnicas o Sistema de Plantio Direto (SPD) é uma das formas mais eficientes de conservação de solo e tem por objetivo minimizar os impactos sobre o solo durante a produção agrícola (VEZZANI & MIELNICZUK, 2011). Os princípios do SPD se baseiam

em manter, restaurar e reestruturar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo ao longo do tempo (SALOMÃO et. al 2020) através de práticas como o revolvimento mínimo e a cobertura permanente de solo, restauração da fertilidade e uso de rotação de culturas (ADAMS 2016).

Conforme Salomão et. al (2020), as contribuições do SPD para minimizar a perda de solo se dão principalmente pelo revolvimento mínimo e pela cobertura vegetal permanente do solo, promovendo maior estabilidade de agregados, evitando o impacto da gota da chuva, além de promover reestruturação pela matéria orgânica e aumento da biodiversidade através da rotação de culturas. Na rotação de culturas o uso de plantas de cobertura são fundamentais para manter a sustentabilidade dos sistemas produtivos, sendo que melhoram significativamente a qualidade do sistema proporcionando benefícios para as culturas subsequentes (PACHECO et al., 2017).

A prática de rotação de culturas encontra dificuldades em manter a área com plantas de interesse econômico como soja, milho e trigo o ano todo, devido a seus ciclos e ao zoneamento agrícola. O principal período que frequentemente fica sem plantas na área coincide com a época entre a colheita da cultura de verão e a implantação da cultura de inverno, onde se tem aproximadamente 90 dias entre um cultivo e outro que o solo fica desprotegido (CONAB, 2020). Com isso, a principal alternativa para cobertura de solo nesse período é a utilização de sistemas de plantas de cobertura.

2.3 PLANTAS DE COBERTURA

As plantas de cobertura de solo têm impacto positivo sobre vários atributos de solo, trazendo benefícios para as espécies cultivadas em sucessão. Na literatura estão disponíveis diversos estudos que demonstram essas melhorias para os atributos químicos e físicos do solo (SALOMÃO et al., 2020; BERTOLINO et al., 2021; BRESSAN et al., 2013), sobre sua influência na produtividade das culturas (AITA et al., 2001; SÁ, 1993) e sobre os benefícios para a sustentabilidade dos sistemas de produção (DAROLT, 1998).

Em estudo realizado por SÁ (1993), quando se utiliza gramíneas como planta de cobertura e em sucessão for gramíneas também, a necessidade de suplementação de N é de extrema importância para se manter os potenciais produtivos. Já as leguminosas, pelo fato de terem capacidade de fixação do N atmosférico através de simbiose, além de sua baixa relação C/N, a decomposição se torna mais rápida, liberando assim nutrientes para a cultura sucessora

(CERETTA et al. 1994). Com isso, a utilização de leguminosas como plantas de cobertura antecedendo gramíneas influencia positivamente a produtividade de grãos (AITA et al. 2001; CARVALHO et al., 2004a).

O uso de plantas de cobertura juntamente com rotação das culturas anuais se trata de uma das principais alternativas sustentáveis para manejar os solos (DAROLT, 1998), sendo que, a ciclagem biológica dos nutrientes através da decomposição dos resíduos vegetais das plantas favorece maior reciclagem e conservação dos nutrientes no sistema agrícola (BOER et al. 2007).

Como a decomposição desses resíduos é realizado por microrganismos, a variedade de plantas ao longo dos anos favorece a atividade de determinados microrganismos, melhorando assim a qualidade biológica do solo. Segundo Silveira (2007), os microrganismos têm funções muito importantes dentro do ciclo produtivo, sendo eles responsáveis pela produção de enzimas as quais apresentam significativa correlação com a ciclagem de nutrientes.

2.4 ATIVIDADE ENZIMÁTICA

As enzimas são biomoléculas que têm importante participação nos ciclos dos elementos no solo, aumentando consideravelmente a velocidade das reações bioquímicas, sua síntese no solo é através principalmente dos microrganismos, sendo que a presença de vegetação (rizosfera) favorece a maior atividade enzimática (CARVALHO, 2005). Por participarem do catabolismo biológico dos substratos orgânicos do solo, tem direta ligação com a matéria orgânica e biomassa (AJWA et al., 1999).

Conforme destacam MARTENS et al. (1992), as enzimas têm grande contribuição para a estabilidade dos ecossistemas, sendo que muitas delas tem importância na formação de moléculas recalcitrantes. Por estarem relacionadas aos microrganismos, aos vegetais e a fauna, atributos biológicos associados a manutenção e ao equilíbrio do sistema, a atividade enzimática é uma importante forma de avaliar a qualidade do solo, sendo que uma detecção precoce possibilita maior assertividade nos manejos corretivos e de prevenção de efeitos negativos (REVOREDO, 2005).

Como indicadoras de qualidade do solo, as enzimas por serem sensíveis às variações induzidas por manejo e por fatores ambientais, tem grande potencial de uso (SILVEIRA, 2007; BALOTA et al., 2004; TEJADA et al. 2006). Cada enzima tem muita especificidade e catalisa apenas uma ou algumas poucas reações, por exemplo, a enzima arilsulfatase catalisa a hidrólise de p-nitrofenil sulfato, sulfato de potássio nitrocatechol fenoltaleína, sulfato de potássio fenila

e sulfato de potássio, atuando diretamente na disponibilização do enxofre (S) para as plantas. Além disso, estudos realizados por Tabatabai & Bremner (1970), mostraram correlações significativas com o teor de carbono orgânico e capacidade de troca catiônica, além de obter resultados que quanto maior a profundidade menor a atividade.

Já a Betaglicosidase, é uma enzima que tem muita influência do substrato (plantas) presente na área, pois atua na etapa final do processo de decomposição da celulose, pela hidrolisação dos resíduos de celobiose (TABATABAI, 1994).

2.5 VARIABILIDADE DAS ÁREAS

O manejo preciso das áreas agrícolas tem como princípio básico a avaliação e o conhecimento sobre a variabilidade das características físico-químicas e biológicas das áreas. O fato de o solo não ter características homogêneas remete a necessidade de uso de técnicas que possam avaliar essas áreas de forma adequada. Considerando as diferenças espaciais e temporais dos solos, uma importante ferramenta que permite avaliar a variabilidade espacial dos atributos de solo é por meio da geoestatística (VIEIRA et al., 2002).

A análise geoestatística é usada para detectar a existência da variabilidade e distribuição espacial das características do solo, definindo modelos teóricos que visam estimar valores a partir de resultados amostrados para locais onde não foram amostrados (DALE et al., 2002). O principal método utilizado para interpolação dos dados para a estimativa linear imparcial é a krigagem ordinária (PEREIRA et al., 2013), método que garante uma estimativa mais precisa.

Conforme Noetzold et al. (2018), destacam que os atributos químicos, físicos e biológicos podem ser alterados dependendo do manejo utilizado pelo agricultor, com isso a variabilidade das características do solo também podem mudar com o passar do tempo. Como a atividade enzimática é muito dependente do manejo utilizado na área e de características ambientais, o estudo da variabilidade espacial e temporal deste atributo se torna de grande importância para o melhor entendimento de sua interação com os diferentes sistemas de produção.

1 **3. ARTIGO I - SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF ARYLSULPHATASE**
2 **AND BETAGLYCOSIDASE ENZYMATIC ACTIVITY IN LATOSSOLO**
3 **VERMELHO UNDER NO-TILL SYSTEM**

4
5 **ABSTRACT**

6 The biological quality of the soil is crucial in agricultural production. The enzymatic
7 activity, one of the main biomarkers used, is highly influenced by practices. As the soil is
8 naturally heterogenous, it is important to assess the variability of biomarkers to better
9 understand their interaction with the environment. Therefore, this work aims to evaluate the
10 spatial and temporal variability of the enzymatic activity of arylsulfatase and beta-glucosidase
11 in an area under a no-tillage system. The study was carried out in an area located in the
12 municipality of Cruz Alta, RS, Brazil, in month, 2021. We evaluated the enzymatic activity of
13 arylsulfatase and beta-glucosidase through the georeferenced collection of 105 sampling points
14 in an area of 18.2 ha at two different times points (winter and summer seasons). Data were
15 subjected to descriptive analysis, Spearman correlation, and geostatistics. High dispersion of
16 data was observed, with variability coefficient ranging from 34.45% to 52.68%. Significant
17 correlations were observed between the different (measured) enzymes within the winter season
18 ($r=0.902$), and the summer season ($r=0.745$). In the geostatistical analyses, theoretical models
19 were adjusted from the semivariograms for all attributes, consequently making it possible to
20 create maps by kriging. Therefore, our findings indicate that the biological attributes of the soil
21 and enzymatic activity have great variability in agricultural areas even with a long-term no-
22 tillage system. The sampling time is closely related to enzymatic activities.

23 **Keywords:** Biomarkers. Soil quality. Geostatistical.

25 3.1 INTRODUCTION

26 The preservation of the soil is of great importance to agricultural production (Duarte et
27 al. 2014), as inadequate management (practices) may result in soil degradation , and in turn,
28 drastically reducing crop yields . To have suitable soil, we need to have balance and quality in
29 both chemical, physical, and biological characteristics of the soil (Pacheco et al. 2017).

30 Considering the biological characteristics of the soil, several markers are used to
31 measure its quality. The main markers measure the activity of microorganisms in the soil
32 through the measurement of total organic carbon, such as microbial biomass, basal respiration,
33 and activity of specific enzymes (Silva et al. 2012).

34 Enzymes are biomolecules that play an important role in the cycles of elements in the
35 soil, making a great contribution to the stability of ecosystems (Martens et al. 1992). The
36 arylsulfatase enzyme acts directly in the availability of sulfur (S) for plants, and the beta-
37 glucosidase enzyme acts in the final step of the cellulose decomposition process, by hydrolyzing
38 cellobiose residues (Tabatabai 1994). As they are synthesized by microorganisms and plants,
39 enzyme activity has positive correlations with productivity, thus having great potential as soil
40 quality indicators, since they are sensitive to variations induced by management (Acosta-
41 Martinez et al. 2018; Samuel 2021).

42 The basic principle of the precise management of agricultural practices is the
43 measurement of the variability of physical, chemical, and biological characteristics of the
44 cultivated area. The heterogeneity of the soil requires the use of techniques that can adequately
45 capture these characteristics .

46 An important tool that allows for assessing the spatial variability of soil attributes is
47 geostatistics (Vieira et al. 2002). The geostatistical analysis is used to detect the existence of
48 variability and spatial distribution of soil characteristics, defining theoretical models that aim
49 to estimate values from sampled results for locations where they were not sampled (Dale et al.

50 2002).

51 The study of spatial and temporal variability of soil biological attributes such as
52 enzymatic activity is of great importance in understanding their relationship with the
53 management performed. According to Correa et al. (2009), it is essential to carry out the
54 mapping of soil variability to have greater assertiveness in the recommendations of
55 management practices. Intrinsic variability originates from natural characteristics (Cambardella
56 et al. 1994), and variations in management and land use that have occurred over the area directly
57 influence extrinsic variability (Rao & Wagenet 1985).

58 Thus we hypothesize that due to biological variability in agricultural areas, biomarkers
59 have a strong relationship with the management practices and the evaluation period. Thus, we
60 aim to evaluate the spatial and temporal variability of the enzymatic activity of arylsulfatase
61 and beta-glucosidase in an area under a no-tillage system.

62

63 3.2 MATERIAL AND METHODS

64

65 The study was carried out in a commercial area of the company Sementes Aurora with
66 approximately 18.2 ha, located in the municipality of Cruz Alta in the state of Rio Grande do
67 Sul, Brazil, located between the geographic coordinates: latitude 28°45'53.96"S and longitude
68 53° 35'9.58"W with an approximate altitude of 410 meters (Figure 1). According to Köpen's
69 classification (Kuinchner & Buriol 2001), the region's climate is Cfa type, with an average air
70 temperature between -3°C and 18°C in the coldest 3 months, and an average air temperature
71 greater than 22°C in the hottest months. This region has well-defined summer and winter
72 seasons with precipitation in all months of the year, without a defined summer season (Geiger
73 1936).

74 The soil in the region is classified as a Latossolo Vermelho (EMBRAPA 2013) with a

75 clayey texture and smooth wavy relief . The area is still fully located under center pivot
76 irrigation. The average data of the physical-chemical attributes sampled in the area at a depth
77 of 0.0 to 0.15 m are presented in Table 1.

78 Figure 2 shows the meteorological data of precipitation, daily minimum, and maximum
79 temperatures, between the months of February and December 2021, extracted from the
80 automatic station A853 in Cruz Alta, RS, through the INMET website.

81 Two stages of soil collection were carried out at a depth of 0 to 0.15 m, the first on May
82 27, 2021 (Winter Season), and the second 45 days after wheat harvest, being held on May 22,
83 December 2021 (Summer season). A total of 105 samples were collected through georeferenced
84 irregular grid points, one for each point, to compose each sample, 8 subsamples were carried
85 out close to the sampling point The soil was then cataloged and sent for evaluation to the
86 UNISC-RS laboratory for chemical characterization, and to the ConnectBio-UNISC-RS
87 laboratory to determine the enzymatic activities of arylsulfatase and beta-glucosidase according
88 to the laboratory's methodology adapted from Tabatabai (1994).

89 Statistical analysis

90 The data were submitted to exploratory analysis (descriptive statistics), aiming to verify
91 the position and dispersion of the data, and the normality test (central tendency) of the data
92 through the Shapiro-Wilk Test (W) at $p < 0.05$ (Shapiro & Wilk 1965). As well as Spearman's
93 correlation test between enzymatic activities. Statistical analyzes were performed using R
94 software, version 3.2.2 (R Core Team 2018).

95 The geostatistical analysis was performed using experimental semivariograms described
96 by (Vieira 2000), following the theoretical models (spherical, exponential, gaussian, and linear)
97 that best fit the variable, using the computer program Gamma Design Software - GS+
98 (Robertson, 1998). The models were adjusted based on the best coefficient of determination
99 (r^2), as well as cross-validation analysis (observed versus estimated values). From the

100 adjustment of a mathematical model of the data, the following parameters were defined: nugget
101 effect (C0), threshold (C0+C), and reach (A). After analyzing and adjusting the
102 semivariograms, interpolation was performed by ordinary kriging, taking into account the
103 semivariogram parameters (adjusted model, nugget effect, range, and threshold) determined by
104 geostatistical analysis, using the computer program Gamma Design Software - GS+ (ROBERTSON 1998). The spatial distribution of the studied variables is presented in isoline
105 maps.

107 3.3 RESULTS AND DISCUSSION

108 The results regarding the exploratory descriptive analysis of soil attributes are presented
109 in Table 2. Regarding the Shapiro-Wilk test, it is observed that for both enzymatic activities in
110 the two collection times, it was identified that the data did not present a normal distribution ($p < 0.05$). However, even if the normal distribution is desired, it is not mandatory for data
111 interpolation by kriging in data spatialization (Cressie 1992). For all variables, we can classify
112 the CV% as moderate variability according to the classification proposed by Warrick & Nielsen
113 (1980), where it is divided into low ($CV < 12\%$), moderate ($12\% < CV < 60\%$), and high
114 variability ($CV > 60\%$).

116 The mean values of enzymatic activity increased from the collection in the winter season
117 (126.17 and 106.95 $\mu\text{g p-nitrophenol g soil}^{-1} \text{ h}^{-1}$ for arylsulfatase and beta-glucosidase,
118 respectively) for the collection in the summer season (194.20 and 127.07 $\mu\text{g p-nitrophenol g}$
119 $\text{soil}^{-1} \text{ h}^{-1}$ for arylsulfatase and beta-glucosidase, respectively) for both enzymes, which may
120 have been influenced by environmental factors, such as temperature and soil moisture. In a
121 study by Borowik & Wyszowska (2016), they tried to identify the relationship between soil
122 moisture and soil enzyme activity, soil water content had a significant effect on beta-
123 glucosidase and arylsulfatase activities, where, 20 % of the water content of both activities were
124 higher than compared to 40 and 60% of water content, a factor that can be explained to soil

125 oxygenation conditions, where flooded soils end up inhibiting the development of aerobic
126 microorganisms. In addition, the temperature in turn also influences the development of
127 microorganisms, which for the first collection, which was carried out in the winter season, may
128 have resulted in the lowest average activity for both enzymes, with the maximum temperature
129 in the collection carried out in the winter season. ranged from 21.4 to 33.8°C in the 15 days
130 before collection, and in the month of December, the maximum temperature ranged from 27.3
131 to 36.9°C in the 15 preceding days.

132 In comparison with a study carried out by Simon et. al (2017), using cover crops in the
133 Cerrado of Mato Grosso do Sul state region, where the enzymatic activity of arylsulfatase and
134 beta-glucosidase ranged respectively from 74 to 131 and 167 to 299 $\mu\text{g p-nitrophenol g soil-1}$
135 h-1 , the results obtained in this study ranged from 42.09 to 337.51 and 30.52 to 407.19 $\mu\text{g p-}$
136 $\text{nitrophenol g soil-1 h-1}$ for arylsulfatase and beta-glucosidase respectively in the winter season,
137 and from 79.91 to 490.21 and 55.51 a 256.19 for arylsulfatase and beta-glucosidase respectively
138 for the summer season, demonstrating the high variation found for both enzymes.

139 The boxplot graphs, constructed for the enzymatic activity of arylsulfatase and beta-
140 glucosidase for each sampling time, are shown in Figure 3. Through these graphs, the presence
141 of outliers in each variable is observed, with outliers only of high activity values enzyme for
142 both enzymes and at both times, highlighting the value of 490.21 $\mu\text{g p-nitrophenol g soil-1 h-1}$
143 from the summer season collection for arylsulfatase and the value of 407.19 $\mu\text{g p-nitrophenol}$
144 g soil-1 h-1 of the beta-glucosidase winter season collection, being well above the upper limit
145 of the boxplot tails. It can also be observed that the minimum values are close to the values of
146 the first quartile, being identified that the boxplots are positive asymmetrical. In addition, there
147 were no lower outliers.

148 Through the correlation matrix (Table 3), it is possible to observe that the highest
149 correlation occurs at the same sampling time, with a correlation coefficient of 0.902 between

150 beta-glucosidase and arylsulfatase in the winter season and a correlation coefficient of 0.745
151 between beta-glucosidase and arylsulfatase in the summer season, demonstrating that the
152 collection season has a greater influence on the correlation between the different enzymes than
153 the characteristic of the enzyme itself.

154 In addition, the relationship of the same enzymatic activity at different collection times
155 is almost null, with all results from different times having correlation coefficients lower than -
156 0.283. In a study with soil, in agricultural areas, in forest areas and in pasture areas at different
157 times (winter and summer), Silva et. al (2012) found variation in the enzymatic activity of
158 arylsulfatase in the different periods evaluated, also observed that other biological attributes
159 such as microbial biomass, basal respiration and metabolic quotient are influenced by the
160 sampling period. However, the beta-glucosidase activity showed no difference in the two
161 different sampling periods.

162 For the parameters of the semivariogram analysis (Table 4), the adjusted model for
163 arylsulfatase in the winter season was exponential and for the other variables the adjusted model
164 was the Gaussian. The range of the adjusted models of each enzyme activity ranged from 10.9
165 meters to 17.1 meters. Regarding the regression determination coefficient (R^2), average value
166 (0.468) for arylsulfatase enzymatic activity for the winter season, high values (0.822; 0.843 and
167 0.725) were found, respectively, for arylsulfatase enzymatic activity in the summer season and
168 for beta-glucosidase enzymatic activity for winter and summer season collections.

169 Figure 4 shows the semivariogram graphs of the enzymatic activities of arylsulfatase
170 and beta-glucosidase for the collections carried out in May and December. It is observed that
171 all semivariograms have a plateau, accepting the intrinsic hypothesis of geostatistics.

172 After adjusting the semivariograms, they were used to estimate values in unsampled
173 locations through ordinary kriging, allowing the observation of the spatial variability of soil
174 attributes. The maps were made with five layers subdivided between 0 to 50, 50 to 100, 100 to

175 150, 150 to 200 and greater than 200 to 400 $\mu\text{g p-nitrophenol g soil-1 h-1}$.

176 Observing the thematic maps (Figure 5) it is possible to perceive the variability of
177 enzymatic activity in the area for both enzymes, both spatial and temporal, where for
178 arylsulfatase in the winter season most of the area is in the range of 100 to 150 $\mu\text{g p-nitrophenol}$
179 g soil-1 h-1 , with some parts between 50 to 100 and 150 to 200 $\mu\text{g p-nitrophenol g soil-1 h-1}$
180 very noticeable, however it is not noticed at any point to be in the range of 0 to 50, and in a few
181 places it is above 200 $\mu\text{g p-nitrophenol g soil-1 h-1}$. As for arylsulfatase in the summer season
182 collection, there is an increase in enzymatic activity in the area in general, now with almost the
183 entire area above 150 $\mu\text{g p-nitrophenol g soil-1 h-1}$, with a large amount of sites showing
184 arylsulfatase activity above 200 $\mu\text{g p-nitrophenol g soil-1 h-1}$, something that did not happen in
185 the first season.

186 In addition, in places where in the winter season there were values in the range of 50 to
187 100 $\mu\text{g p-nitrophenol g soil-1 h-1}$, in most cases there is an inversion, and these places have the
188 highest values of enzymatic activity in relative to the rest of the area.

189 For beta-glucosidase enzymatic activity, in the summer season collection, most of the
190 area was in the ranges smaller than 150 $\mu\text{g p-nitrophenol g soil-1 h-1}$, with emphasis on the
191 ranges from 50 to 100 and 100 to 150 $\mu\text{g p-nitrophenol g soil-1 h-1}$, also showed some sporadic
192 points in the other bands, both in the lower than 50 and in the higher than 150. In the summer
193 season of collection, it occurred in the same way as in the arylsulfatase activity, being that In
194 general, there was an increase in activity in the area as a whole, and in this case the values
195 tended to range from 100 to 150 $\mu\text{g p-nitrophenol g soil-1 h-1}$, leaving only a few points spaced
196 from the other ranges, with a greater presence of these points from 50 to 100 $\mu\text{g p-nitrophenol}$
197 g soil-1 h-1 , not being observed sites with values lower than 50 $\mu\text{g p-nitrophenol g soil-1 h-1}$.

198 The comparison between the different enzymes, but at the same time of sampling can
199 also be done, with this it can be seen the high correlation between enzymatic activities at the

200 same time of collection, where in the winter season mainly it is observed that the places that
201 showed lower activities of arylsulfatase were also the ones that presented the lowest values of
202 beta-glucosidase activity, in the same way it occurs for the places that presented the highest
203 values for one of the enzymes, it was also the one that presented the highest values for the other.

204

205 3.4 CONCLUSIONS

206

207 There is great spatial and temporal variability in the enzymatic activities of arylsulfatase
208 and beta-glucosidase, being possible to visualize through the thematic maps of interpolation by
209 kriging from the adjustment of the semivariograms.

210 The enzymatic activity of the different enzymes has a strong correlation when evaluated
211 at the same time, with a low correlation when evaluated at different times, that is, the collection
212 time has a great influence on the results of enzymatic activity.

213 More research should be carried out in order to evaluate the parameters to define the
214 classes to be used as a biological indicator of soil quality, in addition to identifying the best
215 time of collection that best relates to the parameters.

216 BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

217

218 Acosta-Martinez, V., Cano, A., & Johnson, J. (2018). Simultaneous determination of
219 multiple soil enzyme activities for soil health-biogeochemical indices. *Applied Soil Ecology*,
220 126, 121–128. <https://doi.org/10.1016/>

221 Borowik, A., & Wyszowska, J. (2016). Soil moisture as a factor affecting the
222 microbiological and biochemical activity of soil. *Plant, Soil and Environment*, 62(6), 250–255.
223 <https://doi.org/10.17221/158/2016-PSE>

224 Cambardella, C.A.; Moorman, T.B.; Novak, JM, Parkin, T.B.; Karlen, D.L.; Turco, R.F.
225 & Konopka, A.E. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil*
226 *Science Society of America Journal*, 58: 1501–1511.
227 <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>

228 Corrêa, A. N., Tavares, M. H. F., & Uribe-Opazo, M. A. (2009). Variabilidade espacial
229 de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. *Semina: Ciências*
230 *Agrárias*, 30(1), 81. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2009v30n1p81>

231 Cressie, N. (1992). *STATISTICS FOR SPATIAL DATA*. *Terra Nova*, 4(5), 613–617.
232 <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.1992.tb00605.x>

233 Dale, M. R. T.; Dixon, P.; Fortin, M. J.; Legendre, P.; Myers, D. E., & Rosenberg, M.
234 S. (2002). Conceptual and mathematical relationships among methods for spatial analysis.
235 *Ecography*, 25(5), 558–577. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2002.250506.x>

236 Duarte, I. B., Gallo, A. D. S., Gomes, S., De, N., Guimarães, F., Rocha, D. P., & Ferreira,
237 R. (2014). Plantas de Cobertura e Seus Efeitos Na Biomassa Microbiana do Solo. *Acta Iguazu*,
238 3(2).

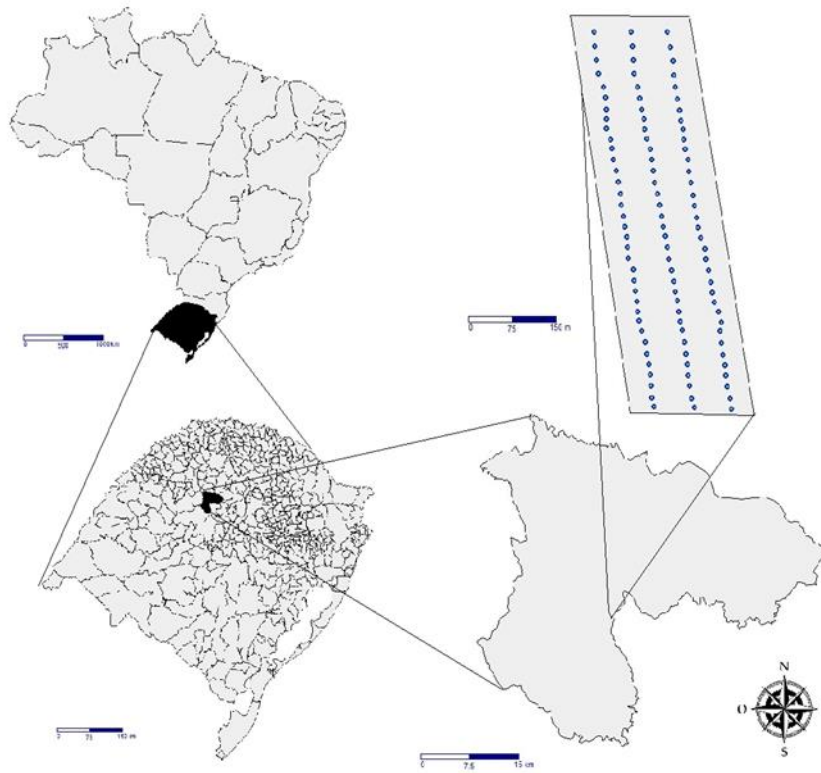
239 Embrapa. (2013). Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa Solos (p. 353).

240 Geiger, R. (1936). Classificação climática de Köppen- Geiger. Creative Commons

- 241 Attribution-Share Alike 3.0 Unported, 1–7. Retrieved from
242 <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>
- 243 Kuinchtner, A., & Buriol, G. A. (2016). Clima do estado do rio grande do sul segundo
244 a classificação climática de köppen e thornthwaite. *Disciplinarum Scientia | Naturais e*
245 *Tecnológicas*, 2(1), 171–182.
- 246 Martens, D. A., Johanson, J. B., & Frankenberger, W. T. (1992). Production and
247 persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. *Soil Science*, 153(1),
248 53–61. <https://doi.org/10.1097/00010694-199201000-00008>
- 249 Pacheco, L. P., Miguel, A. S. D. C. S., da Silva, R. G., de Souza, E. D., Petter, F. A., &
250 Kappes, C. (2017). Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to
251 annual crops and cover crops. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 52(8), 582–591.
252 <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000800003>
- 253 Rao, P.S.C. & Wagenet, R. J. (1985) . Spatial variability of pesticides in field soils:
254 methods for data analysis and consequences. *Weed Science*, 33(suppl. 2):18–24.
255 <https://doi.org/10.1017/s0043174500083764>
- 256 R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing.
257 Retrieved from <http://cran.univ-paris1.fr/web/packages/dpIR/vignettes/intro-dpIR.pdf>.
- 258 ROBERTSON, G. P (1998). *GS+ geostatistics for the environmental sciences: GS+*
259 *user's guide*. Plainwell: Gamma Design Software. 152p
- 260 Samuel, A. D., Mondici, S., & Brejea, R. (2021). Evaluation of soil enzyme activities
261 under different croplands. *Romanian Agricultural Research*, 2021(38), 271–279.
- 262 Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An Analysis of Variance Test for Normality
263 (Complete Samples). *Biometrika*, 52(3/4), 591. <https://doi.org/10.2307/2333709>
- 264 Silva, C. F. da, Pereira, M. G., Miguel, D. L., Feitora, J. C. F., Loss, A., Menezes, C. E.
265 G., & da Silva, E. M. R. (2012). Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade

- 266 enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do paraíba do sul
267 (RJ). *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 36(6), 1680–1689. <https://doi.org/10.1590/S0100->
268 06832012000600002
- 269 SIMON, C. A., Cordeiro, M. S., Lima, S. F. de, Brasil, M. D. S., De David, C. H., &
270 Secco, V. A. (2017). MICROBIAL ACTIVITY IN A SOIL WITH COVER CROPS IN
271 SUCCESSION WITH MAIZE IN A NO-TILLAGE SYSTEM. *BRAZILIAN JOURNAL OF*
272 *AGRICULTURE - Revista de Agricultura*, 92(2), 198. <https://doi.org/10.37856/bja.v92i2.3210>
- 273 Tabatabai, M. A. (1994). Soil Enzymes (pp. 775–833). In: Weaver, R.W.; Angle, S.;
274 Bottomley, P.; Bezdicek, D.; Smith, S.; Tabatabai, A. & Wollum, A. (Eds.), *Methods of Soil*
275 *Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties. SSSA Book Ser 5. SSSA,*
276 *Madison*, pp. 778–833. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.2.c37>
- 277 Vieira, S. R., Millete, J., & Topp, G. (2002). Handbook for geostatistical analysis of
278 variability in soil and climate data. In: ALVAREZ, V. V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.;
279 BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V.; COSTA, J. M. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa,
280 Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002, p.1-45. 2002 Retrieved from
281 <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=explorer&chrome=true&srcid=0Bz5ECUmybeiVO>
282 [Tc1ZGNhOGItNzVjYi00NDNhLWEzODgtZjQ0MjU2YTcwMWRm&hl=en&authkey=CPa](https://docs.google.com/viewer/a/v/pid/explorer/chrome=true/srcid=0Bz5ECUmybeiVO/Tc1ZGNhOGItNzVjYi00NDNhLWEzODgtZjQ0MjU2YTcwMWRm&hl=en&authkey=CPa)
283 LkasF
- 284 WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R. (1980). Spatial variability of soil physical
285 properties in the field. In: Hillel, D. (Ed.), *Applications of Soil Physics*. New York: Academic
286 Press, 1980. p. 319-344.

287 Figure 1 – Location of the study area, Cruz Alta, RS.



288

289

Caption: Author Source

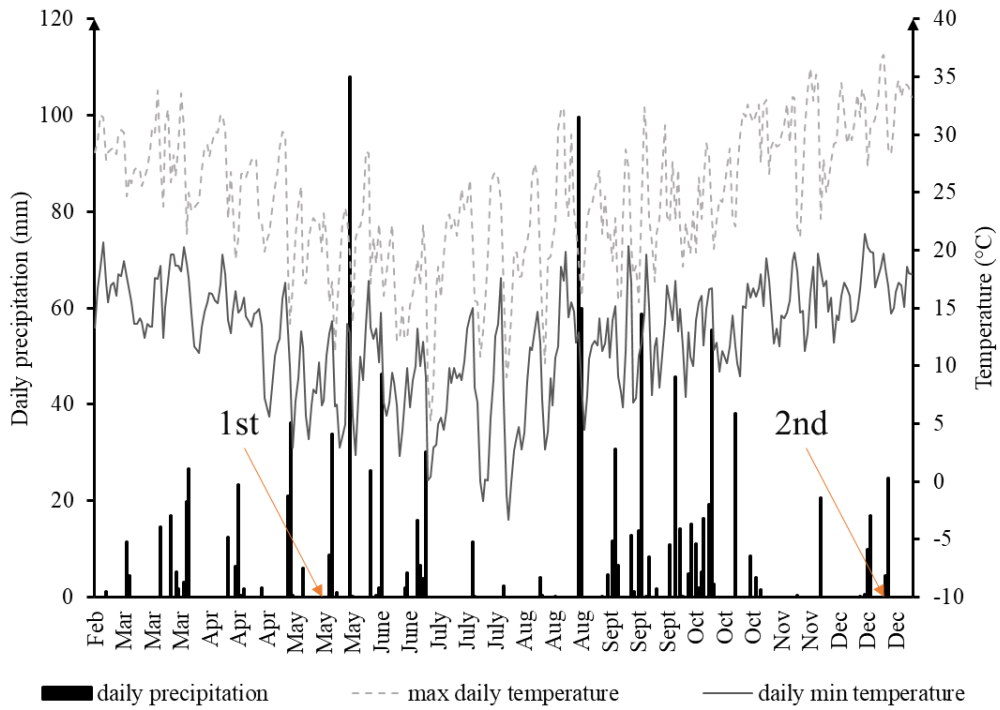
290 Table 1 – Average physiochemical soil attributes (depth of 0.00 – 0.15m).

Soil Physicochemical attributes (*)										
	Clay	pH	OM							
	(%)	(Water)	(%)	P	K	Ca	Mg	S	V(%)	CTC
Average	44.3	6.1	2.9	19.2	160.2	5.7	2.4	20.5	75	11.1

291

292 Source: Author(*) pH (Hydrogenic potential); P (phosphorus (mg dm⁻³)); K
 293 (potassium (mg dm⁻³)); Ca (calcium (cmolc dm⁻³)); Mg (magnesium (cmolc dm⁻³)); OM
 294 (organic matter); V (base saturation); S (Sulphur (mg dm⁻³)); CTC (cátion exchange capacity
 295 at pH 7,0 (cmolc dm⁻³)).

296 Figure 2 – Meteorological information for the area, Cruz Alta, RS.



297

298 Source: author adapted from INMET.

299 Legend: 1st: date of collection carried out in May 2021 (Winter Station); 2nd: date of

300 collection carried out in December 2021 (Summer Season).

301 Table 2 – Descriptive analysis of the enzymatic activity of beta-glucosidase and arylsulfatase.

Parâmetros	Arylsulfatase		Beta-glucosidase	
	May	December	May	December
Mean	126,17	194,20	106,95	127,07
Maximum	337,51	490,21	407,19	256,19
Minimum	42,09	79,91	30,52	55,54
Median	119,65	185,38	98,56	119,97
n	105,00	105,00	105,00	105,00
Amplitude	295,42	410,30	376,67	200,66
Variance	3412,82	4857,84	3174,54	1915,98
Standard deviation	58,42	69,70	56,34	43,77
Mean standard error	5,70	6,80	5,50	4,27
CV	46,30	35,89	52,68	34,45
Asymetry	0,81	1,13	1,82	0,60
Kurtosis	3,51	5,36	9,51	2,85
P-value (SW)	0,0003*	0,0001*	0,0000*	0,0069*
W	0,944	0,938	0,877	0,965

302

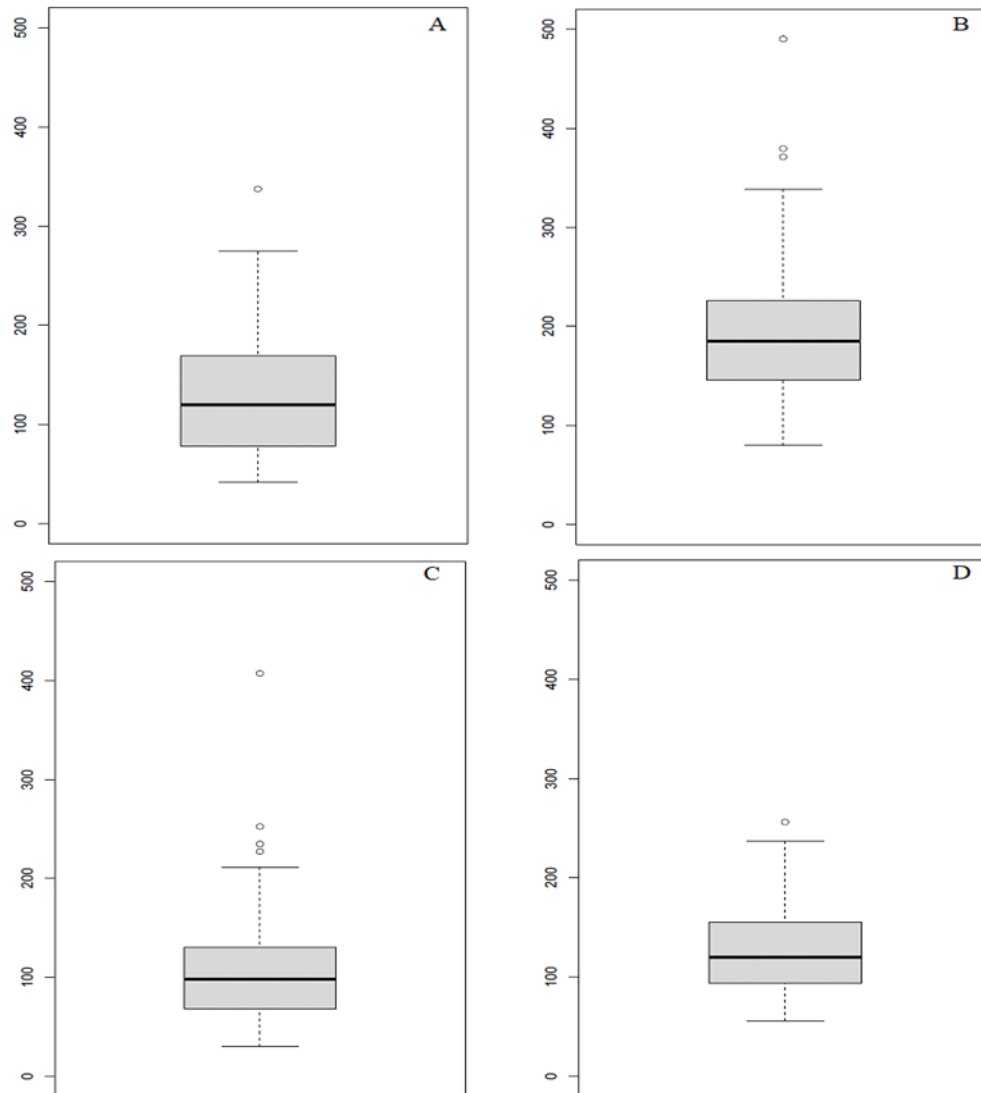
303 Source: Author

304 Legenda: n: número de observações; CV: coeficiente de variação; SW: Shapiro-Wilk.

305 Valores expressos em μg p-nitrofenol g solo-1 h-1. * Valores significativos a nulidade da

306 normalidade.

307 Figure 3 – Boxplots of Arylsulfatase and Beta-Glucosidase enzymatic activity.



308

309 Source: Author

310 Caption: A) Arylsulfatase first season (May); B) Arylsulfatase second season
 311 (December); C) Betaglucosidase first season (May); D) Beta-glucosidase second season
 312 (December).

313 Table 3 – Simple linear correlation matrix between enzyme activities at different sampling
 314 times.

	Betaglucosidase (Winter)	Arylsulfatase (Winter)	Betaglucosidase (Summer)	Arylsulfatase (Summer)
Betaglucosidase (Winter)	1			
Arylsulfatase (Winter)	0,902	1		
Betaglucosidase (Summer)	-0,253	-0,283	1	
Arylsulfatase (Summer)	-0,035	-0,016	0,745	1

315

316 Source: Author

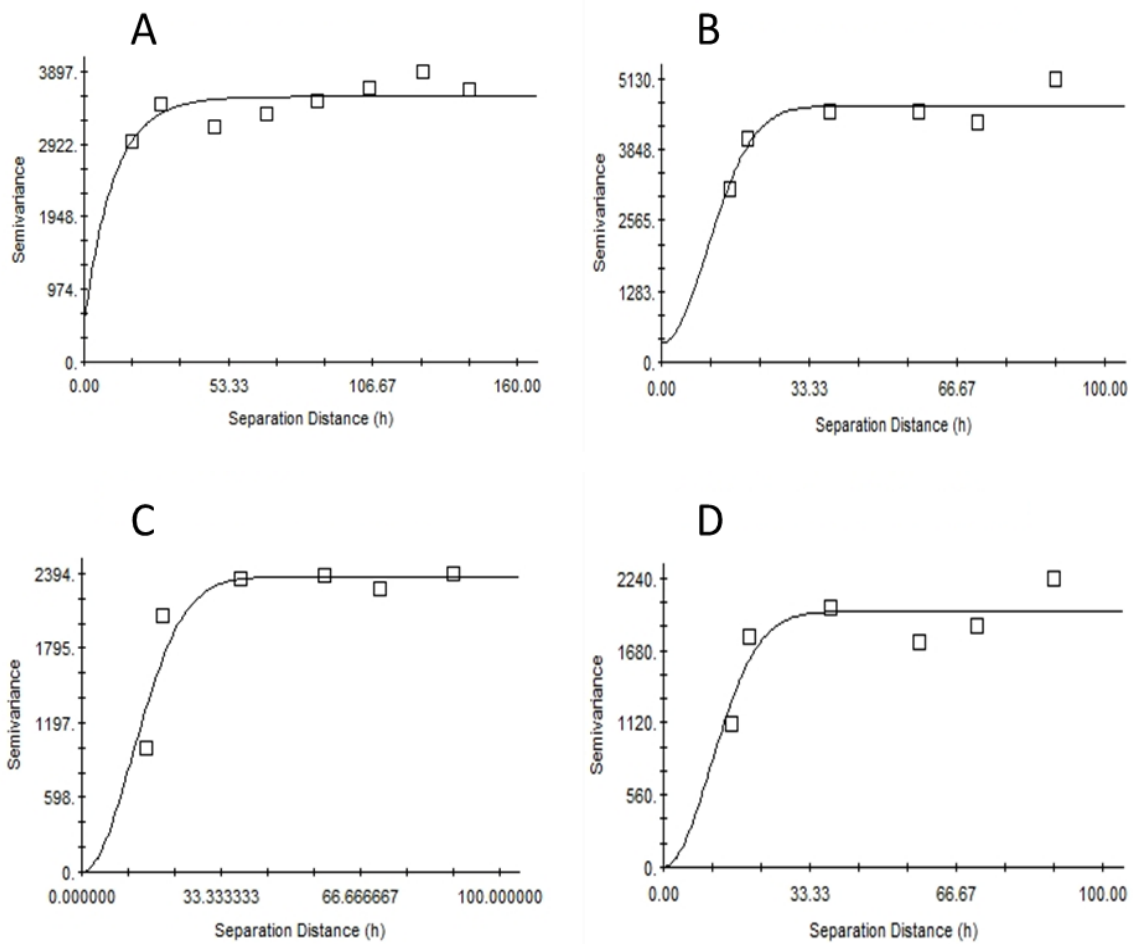
317 Table 4 – Parameters of the semivariograma analysis of enzymatic activity of beta-
 318 glucosidase and arylsulfatase.

Attribute	Model	C0	C0+C1	A (m)	r ²
Winter Arylsulfatase	Exponencial	525	3561	10,9	0,468
Summer Arylsulfatase	Gaussiano	340	4639	14,6	0,822
Winter Beta-glucosidase	Gaussiano	1	2366	17,1	0,843
Summer beta-glucosidase	Gaussiano	1	1984	15,2	0,725

319 Source: Author

320 Caption: C0: nugget effect; C0+C1: plateau; A: range (meters); r²: coefficient of
 321 determination.

322 Figure 4 – Semivariograms of soil biological attributes.



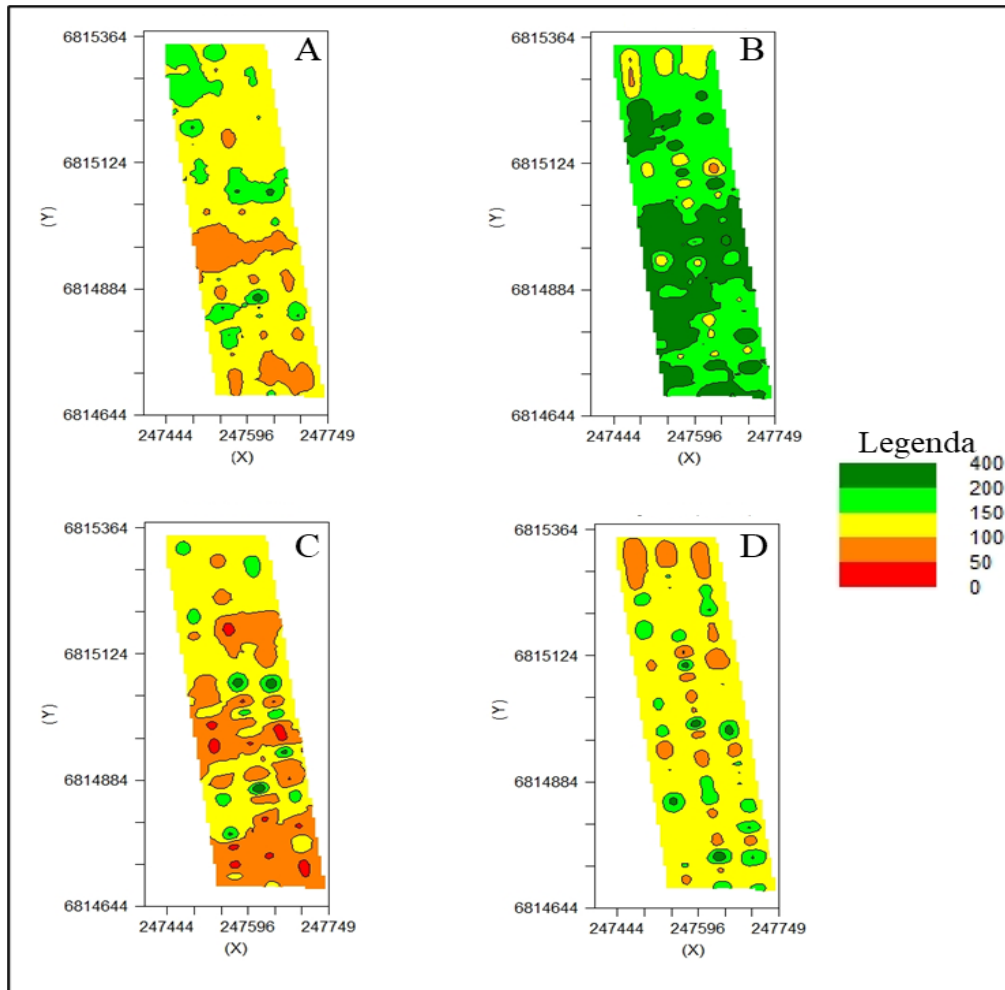
323

324 Source : Author

325 Caption: A) Arylsulfatase winter season; B) Arylsulfatase summer season; C)

326 Betaglucosidase winter season; D) Beta-glucosidase summer season.

327 Figure 5 – Thematic maps of the spatial variability of the enzymatic activity of arylsulfatase
 328 and beta-glucosidase.



329

330 Source: Author

331 Legend: Values expressed in $\mu\text{g p-nitrophenol g soil-1 h-1}$. A) Arylsulfatase winter
 332 season; B) Arylsulfatase summer season; C) Winter season beta-glucosidase; D) Summer
 333 season beta-glucosidase.

334

1 **4. ARTIGO II - EFEITO A CURTO PRAZO DE PLANTAS DE COBERTURA EM**
2 **PERÍODO OUTONAL NA ATIVIDADE ENZIMÁTICA E PRODUTIVIDADE DO**
3 **TRIGO**

4
5 **RESUMO**

6 Por anos os impactos da utilização de plantas de cobertura em sistemas produtivos foram
7 avaliados através de sua relação com propriedades químicas e físicas do solo.
8 Conseqüentemente, os efeitos nas características microbiológicas do solo foram pouco
9 explorados. Atualmente uma das formas que possibilita o estudo da qualidade microbiológica
10 do solo é a atividade enzimática. Assim, o trabalho tem como objetivo avaliar o efeito a curto
11 prazo de sistemas de plantas de cobertura na atividade enzimática de arilsulfatase e
12 betaglicosidase, e produtividade do trigo. O estudo foi conduzido entre os meses de maio a
13 novembro de 2021, foi implantado 35 diferentes sistemas de plantas de cobertura no período de
14 outono (18 sistemas solteiros e 17 consorciado), sendo avaliado em cada tratamento 3 repetições
15 das variáveis atividade enzimática de arilsulfatase e betaglicosidase, produtividade do trigo e
16 teores de MO e S no solo. Os dados foram submetidos a análise descritiva, análise multivariada
17 de agrupamento por dendrogramas para os sistemas de plantas solteiro e para os sistemas de
18 plantas consorciadas e teste de t para amostras independentes entre as médias de cada grupo
19 dentro dos dendrogramas. De maneira geral independente do sistema de cultivo, percebe-se
20 efeitos a curto prazo na atividade enzimática e na produtividade do trigo. Verificando
21 comportamentos distintos em plantas de mesma família botânica. Portanto a curto prazo as
22 plantas de cobertura afetam a atividade enzimática e tendem a afetar a produtividade do trigo.

23
24 Palavras-Chave: Bioindicadores, enzimas de solo, arilsulfatase, betaglicosidase.

26 4.1 INTRODUÇÃO

27

28 A demanda crescente por alimentos aliada com as preocupações com o meio ambiente,
29 evidenciam que a melhoria das técnicas de cultivo, bem como, o melhor aproveitamento dos
30 recursos, como o solo, a água e os fertilizantes, é essencial para se ter uma produção sustentável.
31 No sistema produtivo, uma das principais técnicas conservacionistas utilizadas e que promovem
32 a sustentabilidade é o Sistema Plantio Direto (SPD), o qual promove a restauração e
33 reestruturação do solo (Salomão et. al 2020).

34 Para Adams (2016), o SPD tende a proporcionar a cobertura contínua do solo, através
35 da rotação de culturas e a semeadura direta na palha, tendo como principais objetivos realizar
36 o mínimo revolvimento do solo, sendo muito eficiente para minimizar os impactos da produção
37 agrícola sobre o solo, mantendo suas propriedades físicas, químicas e biológicas.

38 Dentro do SPD, uma das principais práticas é a rotação de culturas com a utilização de
39 plantas de cobertura, as quais segundo Neto & Campos (2017) e Nunes et al. (2011) promovem
40 incremento da matéria orgânica, melhorias nas propriedades físicas, reduzem a erosão, causam
41 supressão de plantas daninhas, melhoram as características microbiológicas do solo, além de
42 principalmente realizar ciclagem de nutrientes, conseqüentemente melhorando de modo geral
43 a qualidade do solo.

44 Muitos estudos sobre os benefícios das plantas de cobertura são direcionados para os
45 atributos químicos e físicos do solo (Bressan et al. 2013; Bertolino et al. 2021; Salomão et al.
46 2020), havendo a necessidade então de mais estudos sobre a dinâmica entre plantas de cobertura
47 e qualidade biológica do solo. Os principais indicadores utilizados mundialmente, tratam da
48 atividade dos microrganismos no solo, sendo através da respiração basal ou da atividade de
49 determinadas enzimas, esse último com alta sensibilidade para detectar alterações mais
50 precocemente além de ter alta correlação com a ciclagem de nutrientes (Silveira 2007).

51 As enzimas são biomoléculas que têm importante participação nos ciclos dos elementos
52 no solo, tendo grande contribuição para a estabilidade dos ecossistemas (Martens et al. 1992).
53 Como é o caso da enzima arilsulfatase que atua diretamente na disponibilização do enxofre (S)
54 para as plantas, e a enzima betaglicosidase que atua na etapa final do processo de decomposição
55 da celulose, sendo muito importante para o ciclo do carbono (Tabatabai 1994). Por estarem
56 relacionadas aos microrganismos, aos vegetais e a fauna, a atividade de enzimas tem grande
57 potencial para serem utilizadas como indicadoras de qualidade do solo, já que são sensíveis às
58 variações induzidas por manejo (Revoredo 2005).

59 Portanto, a hipótese que fundamenta esse trabalho é que a utilização de diferentes
60 sistemas de plantas de cobertura podem influenciar diretamente a atividade enzimática de
61 arilsulfatase e betaglicosidase no solo e na produtividade de trigo, sendo necessário estudos
62 para entender o comportamento desses indicadores biológicos nos diferentes sistemas de
63 manejo e a relação desses manejos com a produtividade das culturas. Com isso, o objetivo deste
64 trabalho foi avaliar o efeito a curto prazo de sistemas de plantas de cobertura na atividade
65 enzimática de arilsulfatase e betaglicosidase e produtividade do trigo.

66

67 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

68

69 O estudo foi realizado em área comercial da empresa Sementes Aurora, localizada no
70 município de Cruz Alta no Estado do Rio Grande do Sul, situada entre as coordenadas
71 geográficas: latitude 28°45'53.96"S e longitude 53°35'9.58"O com altitude aproximada de 410
72 metros. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA 2013), e relevo
73 suave ondulado. A área ainda fica totalmente localizada sob irrigação por pivô central.
74 Conforme classificação de Köpen (Kuinchtner & Buriol 2001) o clima da região é do tipo Cfa,
75 com temperatura média do ar entre -3°C e 18°C nos 3 meses mais frios, temperatura média do

76 ar no mês mais quente maior que 22°C, tendo estações de Verão e Inverno bem definidas, além
 77 de ocorrer precipitação em todos os meses do ano, sendo sem presença de estação seca definida
 78 (Silva Filho et. al 2021).

79 Foram avaliados 35 diferentes sistemas de plantas de cobertura no período de outono,
 80 com plantio posterior a colheita do milho e com desenvolvimento antecedendo a cultura do
 81 trigo, sendo constituídos de 18 sistemas solteiros, e 17 consorciado (Tabela 1). Os sistemas
 82 foram semeados com o uso de semeadora mecânica entre os dias 22 até 26 de fevereiro de 2021,
 83 em faixas medindo aproximadamente 20 m de largura e 200 m de comprimento cada.

84 Realizou-se coleta de solo na profundidade de 0 a 0,15 m, no dia 27 de maio de 2021,
 85 sendo com três repetições por tratamento, totalizando 105 amostras, para compor cada amostra
 86 foi realizado oito subamostras, o solo então foi catalogado e enviado para avaliação junto ao
 87 laboratório da UNISC-RS para determinação química e para o laboratório da ConnectBio-
 88 UNISC-RS para determinação das atividades enzimáticas de arilsulfatase e betaglicosidase
 89 conforme metodologia própria do laboratório adaptada de Tabatabai (1994).

90

91 Tabela 1 – Sistemas de plantas de coberturas, espécies e densidades de sementes utilizadas no
 92 trabalho.

	Identificação	Descrição dos tratamentos
T1		Feijão IAV Veloz
T2		Milho DKB240
T3		Feijão guandu (20 Kg ha ⁻¹)
T4		Tremoço branco (60 Kg ha ⁻¹)
T5	RX 520	(aveia branca + Centeio + Ervilha forrageira + nabo pivotante) 50 Kg ha ⁻¹
T6	RX 410	(aveia IPR Afrodite + aveia preta + nabo For.) 40 Kg ha ⁻¹
T7		Milheto (30 Kg ha ⁻¹)

- T8 Trigo mourisco (30 Kg ha⁻¹) + Milheto (10 Kg ha⁻¹)
- T9 Milheto (15 Kg.ha⁻¹) + Nabo For. (10 Kg ha⁻¹) + Trigo Mourisco (30 Kg ha⁻¹)
- T10 Milheto (20 Kg ha⁻¹) + Nabo For. (10 Kg ha⁻¹)
- T11 *Crotalaria juncea* (20 Kg ha⁻¹) + Milheto (15 Kg ha⁻¹)
- T12 *Crotalaria juncea* (30 Kg ha⁻¹)
- T13 *Crotalaria juncea* (20 Kg ha⁻¹) + Nabo For. (10 Kg ha⁻¹)
- T14 *Crotalaria spectabilis* (20 Kg ha⁻¹)
- T15 *Coracana eleusine* (10 Kg ha⁻¹)
- T16 *Coracana eleusine* (5 Kg ha⁻¹) + Milheto (20 Kg ha⁻¹)
- T17 Sorgo branco forrageiro (20 Kg ha⁻¹)
- T18 Ervilhaca⁽¹⁾ (40 Kg ha⁻¹)
- T19 Ervilhaca⁽²⁾ (40 Kg ha⁻¹)
- T20 Nabo For. (10 Kg ha⁻¹) + Ervilhaca⁽²⁾ (15 Kg ha⁻¹)
- T21 Nabo For. (20 Kg ha⁻¹)
- T22 Trigo mourisco (60 Kg ha⁻¹)
- T23 Aveia branca (100 Kg ha⁻¹)
- T24 Aveia branca (40 Kg ha⁻¹) + Ervilhaca⁽²⁾ (20 Kg ha⁻¹) + Nabo For. (10 Kg ha⁻¹)
Aveia branca (30 Kg ha⁻¹) + Ervilhaca⁽²⁾ (15 Kg ha⁻¹) + Nabo For. (5 Kg ha⁻¹) +
- T25 Milheto (15 Kg ha⁻¹)
- T26 Aveia ucraniana (65 Kg ha⁻¹)
- T27 Aveia ucraniana (30 Kg ha⁻¹) + Milheto (20 Kg ha⁻¹)
- T28 Aveia ucraniana (30 Kg ha⁻¹) + Milheto (15 Kg ha⁻¹) + Nabo For. (10 Kg ha⁻¹)
- T29 Aveia preta (80 Kg ha⁻¹)
- T30 Aveia preta (40 Kg ha⁻¹) + Milheto (20 Kg ha⁻¹)
- T31 Aveia preta (40 Kg ha⁻¹) + Milheto (30 Kg ha⁻¹) + Nabo For. (10 Kg ha⁻¹)

T32	Aveia preta (30 Kg ha ⁻¹) + Milheto (15 Kg ha ⁻¹) + Nabo For. (10 Kg ha ⁻¹) Aveia preta (30 Kg ha ⁻¹) + Milheto (15 Kg ha ⁻¹) + Nabo For. (5 Kg ha ⁻¹) +
T33	Ervilhaca ⁽²⁾ (15 Kg ha ⁻¹)
T34	Mucuna Cinza (80 Kg ha ⁻¹)
T35	Feijão de Porco (100 Kg ha ⁻¹)

93

94 Nabo For.: Nabo Forrageiro (*Raphanus sativus L.*); Feijão Gandú (*Cajanus cajan*); Tremoço
 95 Branco (*Lupinus albus*); Aveia Branca (*Avena sativa*); Aveia Preta (*Avena strigosa*); Crotalária
 96 Juncea (*Crotalaria juncea*); Crotalária Spectabilis (*Crotalaria spectabilis*); Capim-pé-de-
 97 galinha (*Coracana eleusine*); Aveia Ucraniana (*Avena strigosa* (cv). Ucraniana); Centeio
 98 (*Secale cereale*); Ervilhaca comum⁽¹⁾ (*Vicia sativa L*); Ervilhaca⁽²⁾ (*Vicia villosa*); Milheto
 99 (*Pennisetum glaucum*); Trigo Mourisco (*Fagopyrum esculentum*); Sorgo Branco Forrageiro
 100 (*Sorghum bicolor*); Mucuna Cinza (*Mucuna pruriens*); Feijão de Porco (*Canavalia ensiformis*).

101

102 No dia 28/06/2021 foi realizado o plantio do trigo (cultivar TBIO AUDAZ) utilizando
 103 adubação de base com 200 kg.ha⁻¹ de 07.40.00 (NPK), após adubações de cobertura de 150
 104 kg.ha⁻¹ KCl, 100 kg.ha⁻¹ Ureia e 100 kg.ha⁻¹ de YaraBella (27.00.00), sendo o padrão para toda
 105 a área. Os tratos culturais do trigo foram os mesmos para todos os tratamentos. A colheita do
 106 trigo foi realizada no dia 11/11/2021, de forma mecanizada e os dados obtidos com o auxílio
 107 de sensores de produtividade (Shiratsuchi 2004). No final da colheita foi gerado um arquivo
 108 com os dados de produtividade georreferenciados, que foram processados no programa SMS
 109 Advance® Ag Leader Technology e posteriormente exportado para o programa CR - Campeiro
 110 7 (Giotto & Robaina 2007). Em seguida foram gerados dados espacializados de rendimentos de
 111 trigo individualizados para cada sistema de plantas de cobertura, a fim de avaliar a influência
 112 dos sistemas no rendimento de grãos da cultura do trigo.

113 Os dados foram submetidos à análise exploratória (estatística descritiva), objetivando
114 verificar a posição e dispersão dos dados.

115 Os valores de arilsulfatase, betaglicosidase, matéria orgânica, enxofre do solo e
116 produtividade do trigo foram utilizados nas análises estatísticas multivariadas de agrupamento
117 por dendrogramas, com ligação completa e a distância euclidiana como medida de
118 dissimilaridade, frequentemente empregado em variáveis quantitativas (Callegaro & Longhi
119 2013). A fim de encontrar tratamentos com respostas semelhantes nas variáveis avaliadas. Os
120 sistemas de plantas de cobertura foram previamente subdivididos em dois, sendo plantas
121 solteiras e sistemas consorciados, e com isso realizado a análise de agrupamento isolada para
122 cada tipo de sistema. Depois, foram calculadas as médias, de cada variável, em cada grupo e
123 comparadas, duas a duas, pelo teste t de Student para amostras independentes. As análises
124 estatísticas foram realizadas com auxílio dos softwares R, versão 3.2.2 (R Core Team 2018) e
125 Bioestat 5.0 (Ayres et al. 2007).

126

127 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

128

129 Os resultados referentes a análise descritiva dos atributos do solo são apresentados na
130 Tabela 2. Em relação ao coeficiente de variação, para Warrick e Nielsen (1980), a classificação
131 dos atributos de solo é dividida em baixa variabilidade ($CV < 12\%$), moderada variabilidade
132 ($12\% < CV < 60\%$), e alta variabilidade ($CV > 60\%$). Com isso, os dados apresentam baixa
133 variabilidade para MO, média variabilidade para ambas as enzimas e alta variabilidade para os
134 teores de enxofre (S) no solo. O coeficiente de variação da massa de produção de grãos de trigo
135 é de apenas 13,7%, sendo considerada moderada variabilidade.

136

137 Tabela 2 – Análise descritiva de atributos de solo e produtividade do Trigo.

	MO	S	Betaglicosidase	Arilsulfatase	MPS
Média	2,92	20,13	109,48	127,72	3646,23
Máximo	3,6	140	407,17	378,1	5932
Mínimo	2,4	7,3	30,47	42,15	3097
Mediana	2,9	17,2	104,75	119,63	3567
Variancia	0,06	220,32	3639,90	3939,77	250324,7
Desvio padrão	0,24	14,84	60,33	62,76	500,32
CV (%)	8,44	73,72	55,10	49,14	13,72

138

139 Fonte: Autor

140 Legenda: n: número de observações; CV: coeficiente de variação; MO: Matéria Orgânica; S:

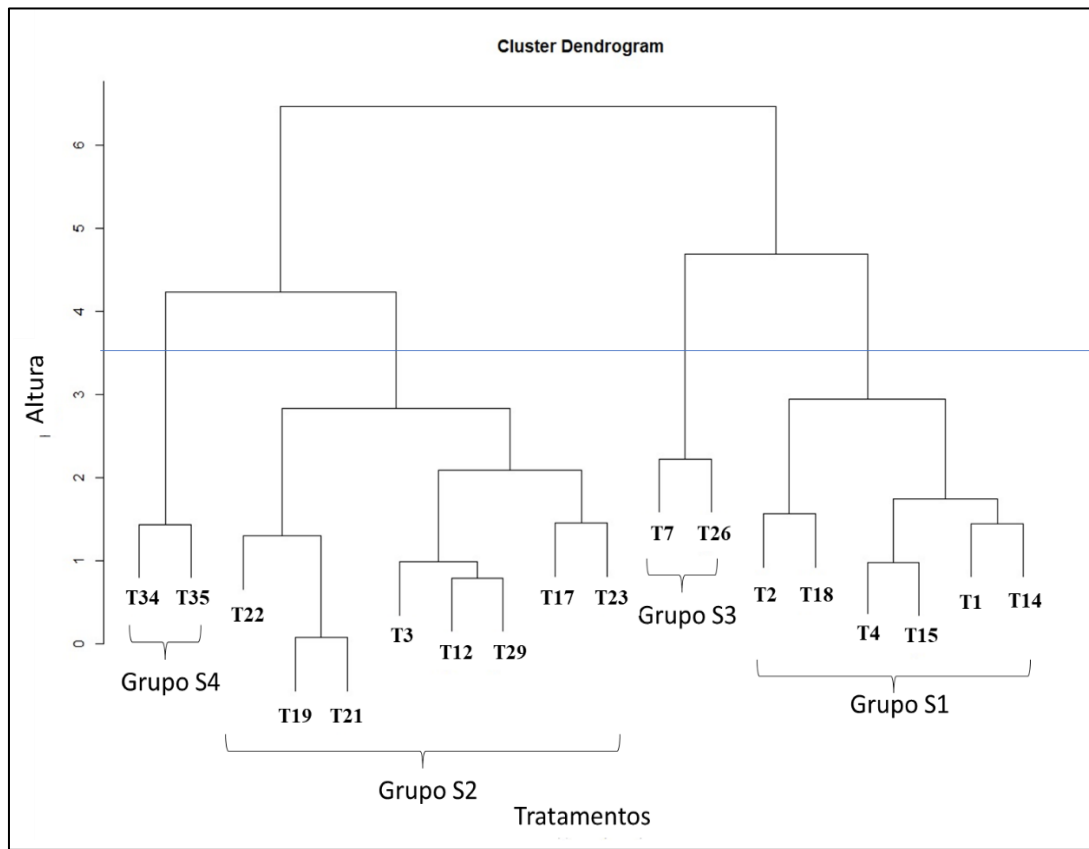
141 Enxofre; MPS: Massa de Produtividade Seca de grãos de Trigo

142

143 Para a análise multivariada de dendrogramas realizado apenas com sistemas de plantas
144 solteiras, os sistemas de plantas de cobertura foram subdivididos em quatro grupos (Figura 1),
145 sendo que o grupo S1 é composto por culturas de espécies diferentes, tendo leguminosas
146 (Feijão, Tremoço branco, *Crotalaria spectabilis* e Ervilhaca comum) e gramíneas (Milho e
147 *Coracana eleusine*). O grupo S2 segue tendo tanto gramíneas (Sorgo branco forrageiro, Aveia
148 branca e Aveia preta), leguminosas (Feijão guandu, *Crotalaria juncea* e Ervilhaca Peluda),
149 além de ter crucífera (Nabo For.) e poligonácea (Trigo mourisco). O Grupo S3 composto apenas
150 por gramíneas (Milheto e Aveia ucraniana) e o grupo S4 apenas por leguminosas (Mucuna
151 Cinza e Feijão de Porco).

152

153 Figura 1 – Agrupamento por dendrograma dos sistemas de plantas de cobertura solteiros.



154

155 Fonte: Autor

156

157 Os quatro diferentes grupos apresentaram valores médios das variáveis conforme tabela
 158 3. Observa-se que o grupo S1 e S2 se diferenciam entre si apenas pelas atividades enzimáticas
 159 tendo teores de MO e S no solo e produtividades de trigo sem diferença significativa, então
 160 apesar de apresentarem diferença na atividade enzimática isso não demonstrou relação com a
 161 produtividade do trigo na comparação entre os grupos S1 e S2.

162

163 Tabela 3 – Teores médios para cada grupo de sistemas de plantas solteiras.

Grupo*	N trat.	Betaglicosidase	Arilsulfatase	MO	S	MPS
S1	6	170,5 A	176,8 A	2,9 A	21,1 AB	3713,0 B
S2	8	86,2 B	93,8 B	2,9 A	22,7 A	3768,2 B
S3	2	147,1 A	158,8 ABC	3,0 A	14,2 AB	3246,4 C
S4	2	61,4 B	71,1 C	2,9 A	14,3 B	4672,0 A

164

165 Fonte: Autor

166 *Para cada variável, médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste
 167 t para amostras independentes, a 5% de probabilidade. S1=Feijão, Tremoço branco, Crotalaria
 168 spectabilis, Ervilhaca comum, Milho e Coracana eleusine; S2 = Sorgo branco forrageiro, Aveia
 169 branca, Aveia preta, Feijão guandu, Crotalaria juncea, Ervilhaca Peluda, Nabo For. e Trigo
 170 mourisco; S3= Milheto e Aveia ucraniana; S4 = Mucuna Cinza e Feijão de Porco. MPS: Massa
 171 de Produtividade Seca de grãos de Trigo.

172

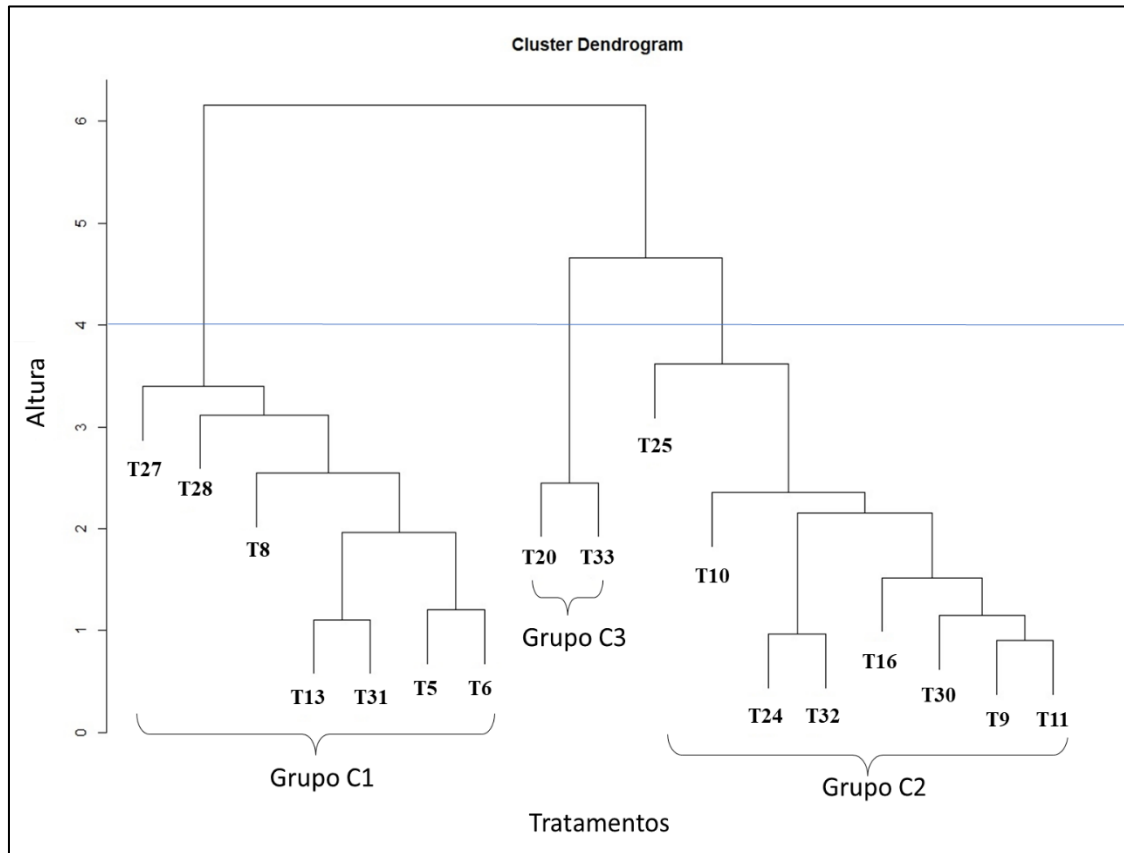
173 Em estudo realizado por Simon et. al (2017), avaliando diferentes plantas de cobertura
 174 em sucessão a cultura do milho, observaram que para a atividade enzimática de arilsulfatase as
 175 culturas da família Fabaceae (leguminosas) demonstraram valores de atividade menor que para
 176 as culturas de cobertura da família Poaceae (gramíneas) com exceção da cobertura de milheto
 177 que não diferiu das leguminosas do estudo, o que por sua vez não corrobora com os dados
 178 encontrados para o grupo S3 e grupo S4 de coberturas solteiras, onde que a atividade de
 179 arilsulfatase no grupo com apenas leguminosas não diferiu do grupo com apenas gramíneas. Já
 180 em estudo realizado por Balota (2004) em sistema plantio direto, a atividade enzimática de
 181 arilsulfatase foi maior para as rotações com gramíneas (milho/trigo) nas camadas de 0 a 0,05 m
 182 e de 0,10 a 0,20 m do que as rotações com leguminosa e gramínea (soja/trigo) nas mesmas

183 camadas.

184 A produtividade do trigo para os diferentes grupos demonstrou melhor resposta quando
185 utilizado leguminosas solteiras (S4) e o menor rendimento quando utilizado gramíneas solteiras
186 (S3) Em estudo realizado por Ledur (2017), foi possível constatar assim como neste estudo que
187 a maioria dos sistemas com uso de leguminosas beneficiou a cultura do trigo, sendo que a
188 cobertura com gramínea (milheto) foi que apresentou menores resultados de produtividade
189 juntamente com o pousio. Essa menor produtividade nos grupos apenas com gramíneas se
190 explica principalmente devido à alta relação C/N das gramíneas no geral, onde que pelo
191 sucessivo cultivo (milho/gramíneas/trigo), a imobilização do N mineral pelos organismos do
192 solo foram maiores para a realização da decomposição da palhada (Aita & Giacomini, 2006).

193 Na análise de dendrogramas realizado apenas com sistemas de plantas consorciadas
194 (Figura 2), os sistemas de plantas de cobertura foram subdivididos em três grupos com
195 comportamento semelhante dos dados, sendo grupo C1 com os tratamentos T5, T6, T8, T13,
196 T27, T28 e T31, o grupo C2 com os tratamentos T9,T10,T11,T16,T24,T25,T30 e T32, o grupo
197 C3 com os tratamentos T20 e T33, o que pode se observar é algumas tendencias nas culturas
198 presentes em cada grupo, sendo que o grupo C1 apresenta em apenas 2 tratamentos dentre os 7
199 que o compõe com a presença de leguminosas (T5 com presença de Ervilha forrageira, e T13
200 com a presença de *Crotalaria Juncea*) e todos com exceção do T13 apresentam gramíneas como
201 uma das espécies. O grupo C2 por sua vez, em todos os tratamentos têm a presença de
202 gramíneas, sendo que a principal que aparece é a cultura do milheto, a qual somente não está
203 presente no tratamento T24 composto por aveia branca, ervilha e nabo forrageiro. Por fim o
204 grupo C3, que tem como tendencia a presença em todos os tratamentos que o compõe ervilhaca
205 peluda e nabo forrageiro.

206 Figura 2 – Agrupamento por dendrograma dos sistemas de plantas de cobertura consorciadas.



207

208 Fonte: autor

209

210 Na tabela 4 são apresentados os valores médios das variáveis para cada grupo de plantas
 211 consorciadas, e assim como ocorre com os sistemas de plantas de cobertura solteiros, os teores
 212 de MO e S no solo não possuem diferença significativa entre si, também constatando que eles
 213 não têm influência direta nas diferentes variáveis.

214 Tabela 4 – Teores médios para cada grupo de sistemas de plantas consorciadas.

Grupo	N trat.	Betaglicosidase	Arilsulfatase	MO	S	MPS
C1	7	122,4 A	160,0 A	2,9 A	16,4 A	3414,1 B
C2	8	87,2 B	112,7 B	2,9 A	23,4 A	3393,3 B
C3	2	74,1 B	89,0 B	3,1 A	18,8 A	4156,6 A

215

216 Fonte: Autor

217 *Para cada variável, médias seguidas por letras diferentes, na coluna, diferem entre si pelo teste
 218 t para amostras independentes, a 5% de probabilidade. MPS: Massa de Produtividade Seca de
 219 grãos de Trigo

220

221 Em relação as produtividades dos sistemas consorciados, o grupo C3 foi o que
 222 apresentou os melhores resultados em comparação aos demais, o que se destaca é a presença de
 223 nabo + ervilhaca em ambos os tratamentos que compõe o grupo. Zanata et. al (2015) também
 224 encontrou melhores rendimentos de grãos quando utilizado como cultura de cobertura a
 225 ervilhaca, entretanto o estudo era no rendimento de milho em sucessão. Deuschle et. al (2015),
 226 mesmo com espécies de cobertura de solo como crotalária júncea (*Crotalaria juncea*), mucuna-
 227 preta (*Mucuna aterrima*), guandu-anão (*Cajanus cajan*), milheto (*Pennisetum glaucum*) e feijão
 228 preto (*Phaseolus vulgaris*), não encontraram diferença no rendimento de grãos de trigo para os
 229 tratamentos. Além disso Neto & Campos (2017) estudando as coberturas de girassol
 230 (*Helianthus annuus* L.), crotalária-juncea (*Crotalaria juncea* L.), nabo-forrageiro (*Raphanus*
 231 *sativus* L.), ervilha-forrageira (*Pisum sativum* L.) e trigo-mourisco (*Fagopyrum esculentum*
 232 *Moench*), constataram que na cobertura de girassol apresentou os maiores valores de
 233 rendimento de trigo, sendo que as demais plantas de cobertura não apresentaram diferença em
 234 comparação ao tratamento sem cobertura.

235 Entretanto alguns trabalhos evidenciam a diferença na produtividade do trigo com o uso
236 de diferentes plantas de cobertura, até mesmo associada a adubação com N. Em estudo
237 avaliando crotalária e ervilhaca peluda junto com diferentes doses de N, Nunes et. al (2011)
238 verificaram que o uso de *Crotalária juncea* obteve os melhores resultados em relação a
239 ervilhaca peluda e pousio, dados que divergem deste estudo, já que as coberturas de crotalária
240 e de ervilhaca encontram-se em um mesmo grupo (Grupo C2).

241

242 CONCLUSÕES

243

- 244 1. A curto prazo as plantas de cobertura afetaram a atividade enzimática de arilsulfatase e
245 betaglicosidase.
- 246 2. As plantas de cobertura tiveram efeito significativo na produtividade do trigo.
- 247 3. Plantas de mesma família botânica impactaram de forma diferente a atividade enzimática e
248 produtividade do trigo.
- 249 4. Foi possível agrupar sistemas de cultivo com resposta semelhante na atividade enzimática
250 das diferentes enzimas e na produtividade do trigo.
- 251 5. Os grupos de plantas que apresentaram maior atividade enzimática não necessariamente
252 apresentaram as maiores produtividades.

253 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

254

255 ADAMS, G. A. Influência de diferentes tipos de plantas sobre a estrutura do solo em plantio
256 direto. UFFS. Cerro Largo, RS. 2016.

257 AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: *Manejo*
258 *de sistemas agrícolas: Impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa.* I
259 Bruno J.R. Alves et al (Eds) – Porto Alegre: Genesis, 2006.

260 AYRES, M.; AYRES JR, M. & AYRES, L. D. Bioestat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas
261 das ciências biológicas e médicas. *Instituto Mamirauá* – 364p, 2007.

262 BALOTA, E. L.; KANASHIRO, M.; COLOZZI FILHO, A.; ANDRADE, D. S. & DICK, R.
263 P. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical
264 agro-ecosystems. *Brazilian Journal of Microbiology*, 35(4), 300–306. 2004.

265 BERTOLINO, K. M.; DUARTE, G. R. B.; VASCONCELOS, G. M. P. de V. e; BOTREL, É.
266 P. & MARTINS, F. A. D. Produção de biomassa e cobertura do solo pelo consórcio de
267 crotalária e milho e sua influência em propriedades físicas dos solo. *ForScience*, 9(2). 2021.

268 BRESSAN, S. B.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R.S.A.; BARBOSA, R.S. & SOUSA,
269 L.B. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no
270 cerrado maranhense. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, n.4, 2013.

271 CALLEGARO, R.M. & LONGHI, S.J. Grupos florísticos em uma Floresta Ombrófila Mista,
272 Nova Prata, RS, Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.8, n.4, p.641-647, 2013.

273 DEUSCHLE, D.; BOENI, M.; MICHELON, C.J.; PELLEGRIN, J. B. R.; MARTINS, J. D. &
274 SALLES, N. M. Espécies de cobertura de solo e sua influência sobre o rendimento do trigo e
275 da soja em sucessão. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo. Natal. 2015.

276 EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. *Embrapa Solos* (p. 353). 2013.

277 GIOTTO, E. & ROBAINA, A. D. A agricultura de precisão com o CR Campeiro 7. Manual

- 278 do usuário. Santa Maria: UFSM/Centro de Ciências Rurais/Departamento de Engenharia
279 Rural/Laboratório de Geomática, 2007.
- 280 KUINCHTNER, A.; BURIOL, G. Clima do estado do Rio Grande do Sul segundo a
281 classificação climática de Köppen e Thornthwaite. *Disciplinarum Scientia*, Santa Maria, v.2,
282 n.1, p.171-182, 2001.
- 283 LEDUR, C. L. *Uso de plantas de cobertura no período outonal e seu efeito sobre os atributos*
284 *físicos do solo e a produtividade do trigo*. Curso de Agronomia. UNIVERSIDADE
285 FEDERAL DA FRONTEIRA SUL. TCC. 2017.
- 286 MARTENS, D. A.; JOHANSON, J. B. & FRANKENBERGER, Jr., W.T. Production and
287 persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. Baltimore, *Soil*
288 *Science*, v. 153, n.1, p. 53-61, 1992.
- 289 NETO, F.S. & CAMPOS, A.C. Plantas de cobertura antecedendo a cultura do trigo. *Scientia*
290 *Agraria Paranaensis*, Marechal Cândido Rondon, v.16, n.4, out./dez., p.463-467, 2017.
- 291 NUNES, A.S.; A.; DE SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T. & DE SOUZA MOTA, L. H.
292 Adubos verdes e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo sob plantio direto.
293 *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v.32, n.4, p.1375-1384, 2011.
- 294 R. CORE, T. R: A language and environment for statistical computing. 2018. Retrieved from
295 <http://cran.univ-paris1.fr/web/packages/dpIR/vignettes/intro-dpIR.pdf>.
- 296 REVOREDO, M. D. *Atributos químicos e bioquímicos de um latossolo tratado com lodo de*
297 *esgoto contaminado com níquel e cultivado com sorgo*. Jaboticabal, 2005. p.2-23. Dissertacao
298 (Mestrado em Agronomia) – UNESP.
- 299 SALOMÃO, P. E. A.; KRIEBEL, W; SANTOS, A.A. dos & MARTINS, A. C. E. A
300 importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da
301 matéria orgânica. *Research, Society and Development*. v. 9, n.1, 2020
- 302 SHIRATSUCHI, L. S. Conceitos e considerações práticas do sistema de geração de

- 303 mapas de produtividade na cultura de grãos. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 27p.
304 (Documentos, 126).
- 305 SILVA FILHO, A. L. da; SANTOS JR, W.M.; COSTA, V.C. da & MARQUES FILHO, J. da
306 P. Classificação climática de köppen aplicada em unidades de conservação: estudo de caso no
307 Parque Estadual do Mendanha (PEM) e na Área de Proteção Ambiental Gericinómendanha
308 (APAGM). *Revista Humboldt*. 2021.
- 309 SILVEIRA, A. de O. *Atividades enzimáticas como indicadores biológicos da qualidade de*
310 *solos agrícolas do Rio Grande do Sul*. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós graduação
311 em ciência do solo, UFRGS, Porto Alegre, 2007.
- 312 SIMON, C. A.; CORDEIRO, M. S.; LIMA, S. F. de; BRASIL, M. da S.; DAVID, C. H. de &
313 SECCO, V. A. Microbial activity in a soil with cover crops in succession with maize in a no-
314 tillage system. *BRAZILIAN JOURNAL OF AGRICULTURE - Revista de Agricultura*. 2017.
- 315 TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: WEAVER, R.W., et al. (Eds.), *Methods of Soil*
316 *Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties*. SSSA Book Ser 5. SSSA,
317 Madison, pp. 778–833. 1994.
- 318 WARRICK, A. W. & NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the
319 field. In: HILLEL, D. (Ed.). *Applications of soil physics*. New York: Academic Press, 1980. p.
320 319-344.
- 321 ZANATA, L. F.; BRANCALEONI, E.; MATTOS, G.; RIBEIRO, R. H.; CARNEIRO, A. L.
322 & PIVA, J. T. Rendimento de Milho cultivado sob diferentes plantas de cobertura no Planalto
323 Catarinense. In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal. 2015.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de plantas de cobertura nos sistemas de manejos agrícolas tem sido considerada uma excelente alternativa na busca por melhores produtividades das culturas. Além de melhorar as propriedades físicas do solo e influenciar no controle de plantas daninhas ainda pode trazer benefícios para a qualidade biológica do solo.

Os atributos biológicos, como a atividade enzimática que é considerada um ótimo bioindicador de qualidade do solo, têm grande relação com os atributos químicos do solo, com o manejo utilizado e principalmente com a época de realização da avaliação, sendo possível afirmar que existe grande variabilidade espacial e temporal das atividades enzimáticas de arilsulfatase e de betaglicosidase, o que demonstra a heterogeneidade das áreas agrícolas. Com isso se faz necessário um maior entendimento da relação entre sistemas de manejo e atividade enzimática do solo, visando também avaliar as dinâmicas com as épocas de coletas.

Os diferentes sistemas de plantas de cobertura demonstram grande relação com as atividades enzimática e com a produtividade de trigo, sendo assim a assertividade na escolha da melhor planta de cobertura para tornar mais eficiente o sistema de manejo é de grande importância, assim como demonstrado nesse estudo, as diferentes espécies, ou consórcios de plantas tem resultados diferentes para se obter uma maior produtividade de trigo e nos valores de atividade enzimática de arilsulfatase e betaglicosidase.

A rotação de culturas juntamente com a rotação de espécies de plantas foi o que demonstrou os melhores resultados se tratando de produtividade, sendo que intercalar leguminosas e crucíferas entre as duas gramíneas de interesse obtiveram os maiores valores, o que pode ser influenciado principalmente pela ciclagem de nutrientes, fixação de N e diversidade de espécies.

6. CONCLUSÃO GERAL

As atividades enzimáticas de arilsulfatase e betaglicosidase demonstraram grande variabilidade espacial e temporal, sendo influenciados pela época de coleta, condições ambientais e por práticas de manejo. Com isso, é de grande importância a definição de um padrão de época de coleta e condições ambientais para que se obtenha uma assertividade maior nos valores da atividade enzimática de cada área e local, podendo assim comparar diferentes locais quanto a sua qualidade biológica de forma mais adequada.

A curto prazo as plantas de cobertura afetaram a atividade enzimática de arilsulfatase e betaglicosidase, tendo também efeito significativo na produtividade do trigo. Apesar de ter sistemas com plantas de mesma família botânica, eles responderam de forma diferente a atividade enzimática de arilsulfatase e de betaglicosidase e a produtividade do trigo. Sendo assim, o agrupamento dos sistemas por dendrogramas se mostrou mais eficiente em comparar diferentes grupos de resposta.

Os grupos de plantas que apresentaram maior atividade enzimática não necessariamente apresentaram as maiores produtividades. Com isso, indica-se a realização de estudos mais aprofundados para avaliar a relação de atividade enzimática com a produtividade em sistemas de plantas específicos, levando em consideração a época de amostragem, as condições climáticas e a variabilidade local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, G. A. Influência de diferentes tipos de plantas sobre a estrutura do solo em plantio direto. UFFS. Cerro Largo, RS. 2016.
- AITA, C. et al. da. Plantas de cobertura do solo como fonte de nitrogênio ao milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.157–165, 2001.
- AITA, C.; GIACOMINI, S. J.. Plantas de cobertura de solo em sistemas agrícolas. In: **Manejo de sistemas agrícolas: Impacto no sequestro de C e nas emissões de gases de efeito estufa.** / Bruno J.R. Alves et al (Eds) – Porto Alegre: Genesis,2006.
- AJWA, H. A.; DELL, C. J.; RICE, C. W. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. *Elmsford, Soil Biology & Biochemistry*, v. 31, p. 769-777, 1999.
- BALOTA E. L. et al. Soil enzyme activities under long-term tillage and crop rotation systems in subtropical agro ecosystems. **Brazilian Journal of Microbiology**, Sao Paulo, v. 35, p. 300-306, 2004.
- BERTOLINO, K. M. et al. Produção de biomassa e cobertura do solo pelo consórcio de crotalária e milho e sua influência em propriedades físicas do solo. **ForScience**, v.9, n.2, 2021.
- BOER, C.A. et al. Ciclagem de nutrientes por plantas de cobertura na entressafra em um solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.9, p.1269-1276, 2007.
- BRESSAN, S. B. et al. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.4, 2013.
- CARVALHO, F. **Atributos bioquímicos como indicadores da qualidade do solo em florestas de Araucaria angustifolia (Bert.)**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2005. 95p. (Tese de Mestrado)
- CARVALHO, M. A. C. et al. Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de semeadura direta e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.47-53, 2004a.
- CARVALHO, M. A. C. et al. Soja em sucessão a adubos verdes no sistema de semeadura direta e convencional em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1141-1148, 2004b.
- CERETTA, C.A. et al. Fornecimento de nitrogênio por leguminosas para o milho em sucessão nos sistema de cultivo mínimo e convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.18, p.215-220, 1994.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra de grãos. Brasília: Conab, v.7, n.4, 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra Brasileira de grãos. Brasília: Conab, v.9, n.4, p. 82-88, 2022.

CORRÊA, A.N.; TAVARES, M.H.F.; URIBE-OPAZO, M.A. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo e seus efeitos sobre a produtividade do trigo. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, v.30, n.1, p.81-94, 2009.

DALE, M. R. T. et al. Conceptual and mathematical relationships among methods for spatial analysis. *Ecography*, Copenhagen, v. 25, n. 5, p. 558–577, 2002.

DAROLT, M.R. Princípios para manutenção e implantação do sistema. In: DAROLT, M.R. Plantio direto: pequena propriedade sustentável. Londrina: IAPAR, 1998. p. 16– 45 (circular 101).

DUARTE, I. B. et al. Plantas de cobertura e seus efeitos na biomassa microbiana do solo. **Revista Acta Iguazu**. Cascavel, v3, n2, p. 150-165, 2014.

GAERTNER, C.; DEDECEK, R. A.; BISCAIA, R. M. Produtividade do trigo e da soja em latossolo vermelho distrófico com diferentes níveis de erosão hídrica. **Scientia Agraria**. 2006.

KRAMER, L. F. M. et al. Atributos químicos do solo associados à produtividade do trigo em um talhão com diferentes potenciais produtivos. **Revista Brasileira de Ciência Do Solo**, 38(4), 1190–1199. 2014.

LOREGIAN, M. V et al. Desempenho produtivo do trigo em função da densidade de semeadura e lâminas de irrigação suplementar. *Cultura Agronômica: Revista de Ciências Agronômicas*, 28(3), 299–315. 2019.

MARTENS, D. A.; JOHANSON, J. B.; FRANKENBERGER, Jr., W.T. Production and persistence of soil enzymes with repeated addition of organic residues. *Baltimore, Soil Sci.*, v. 153, n.1, p. 53-61, 1992.

MERLADETE, A. RT-PCR no solo? Entenda. Portal AGROLINK. 2021. Acesso em 18/03/2022 > https://www.agrolink.com.br/noticias/rt-pcr-no-solo--entenda_447989.html <

NETO, F.S.; CAMPOS, A.C. Plantas de cobertura antecedendo a cultura do trigo. **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v.16, n.4, out./dez., p.463-467, 2017.

NOETZOLD, R. et al. Variabilidade espacial e temporal de atributos químicos do solo durante cinco safras. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 6, n. 4, p. 328-345, out/dez. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbge>>. Acesso em: 12/03/2022

NUNES, A.S. et al. Adubos verdes e doses de nitrogênio em cobertura na cultura do trigo sob plantio direto. *Ciências Agrárias*, Londrina, v.32, n.4, p.1375-1384, 2011.

PACHECO, L. P. et al. Biomass yield in production systems of soybean sown in succession to annual crops and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 52, 582-591. 2017.

PEREIRA, G. A. M. et al. Interferência de plantas daninhas no crescimento da cultura do

trigo. revista de agricultura neotropical, 4(3), 23–29. 2017.

PEREIRA, G. T. et al. Optimization of the sampling scheme for maps of physical and chemical properties estimated by kriging. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 5, p. 1128-1135, 2013.

REVOREDO, M. D. **Atributos químicos e bioquímicos de um latossolo tratado com lodo de esgoto contaminado com níquel e cultivado com sorgo**. Jaboticabal, 2005. p.2-23. Dissertacao (Mestrado em Agronomia) – UNESP.

SÁ, J.C.M. Manejo de fertilidade do solo em semeadura direta. Carambeí: Fundação ABC, 1993. 96 p.

SALOMÃO, P. E. A. et al. A importância do sistema de plantio direto na palha para reestruturação do solo e restauração da matéria orgânica. **Research, Society and Development**. v. 9, n.1, 2020

SILVEIRA, A. de O. **Atividades enzimáticas como indicadores biológicos da qualidade de solos agrícolas do Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós graduação em ciência do solo, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

TABATABAI, M.A; BREMNER, J.M. Arylsulphatase activity in soils. Soil Science Society. America Proceeding, v.34(2): 225-229, 1970.

TABATABAI, M.A. Soil enzymes. In: Weaver, R.W., et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties. SSSA Book Ser 5. SSSA, Madison, pp. 778–833. 1994.

TEJADA, M.; HERNANDEZ, M.T.; GARCIA, C. Application of Two Organic Amendments on Soil Restoration: Effects on the Soil Biological Properties. J. Environ. Qual., v. 35, p. 1010 – 1017. 2006.

USDA. United States Department of Agriculture. Produção Mundial de Trigo – 2017 a 2021. Estatísticas ABITRIGO, 2021. Disponível em: <<http://www.abitrigo.com.br/wp-content/uploads/2021/02/PRODU%C3%87%C3%83O-MUNDIAL-DE-TRIGO-2017-2021.pdf>>. Acesso em: 20/03/2022.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 35, 213-223. 2011.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Eds). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.1, 352p. p. 1-54. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Sidney_Vieira/publication/313098532_Geoestatistica_em_estudos_de_variabilidade_espacial_do_solo_In_NOVAIS_R_F_et_al_Eds/links/5b87c6ef92851c1e123b80b2/Geoestatistica-em-estudos-de-variabilidade-espacial-do-solo-In-NOVAIS-R-F-et-al-Eds.pdf>.

WENTZ, R. **Fontes de adubação nitrogenada e seus reflexos na produtividade de trigo**.

2010. 49f. Trabalho Conclusão de Curso (Agronomia) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2010.