



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

**EFEITO DA SECAGEM DAS AMOSTRAS DE SOLO NOS NÍVEIS DE ATIVIDADE
DAS ENZIMAS β -GLICOSIDASE E ARILSULFATASE**

ANA CAROLYNA ALVES LIMA

Brasília - DF

2021

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**

**EFEITO DA SECAGEM DAS AMOSTRAS DE SOLO NOS NÍVEIS DE ATIVIDADE
DAS ENZIMAS β -GLICOSIDASE E ARILSULFATASE**

ANA CAROLYNA ALVES LIMA

Monografia apresentada
como parte das exigências
do curso de Graduação em
Agronomia, para a obtenção
do título de Engenheiro
Agrônomo.

**Orientadora: Alessandra Monteiro de Paula
Coorientadora: Ieda Carvalho Mendes**

Brasília-DF

2021

Dedico ao meus pais. Obrigada por tanto amor e cuidado que tens comigo e por serem os meus maiores incentivadores.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me conceder a realização desse sonho, por estar comigo em todos os momentos, e por tanto aprendizado durante todos esses anos. Sou imensamente agradecida por essa oportunidade e por ter conseguido chegar até o final, sei que será o primeiro de muitos sonhos realizados.

A toda minha família, em especial aos meus pais, irmãos, avós e padrinho que sempre me apoiaram, incentivaram e acreditaram em mim, eu nada seria sem vocês.

Aos meus amigos da Universidade que foram companhias inigualáveis todos esses anos, em especial a Letícia Mariano que foi o meu porto seguro. A sua amizade foi imprescindível para eu chegar até aqui.

Agradeço a professora Alessandra por todo amparo. Agradeço também a Universidade de Brasília por me abrir as portas e por todas as oportunidades dadas, foi um enorme prazer conviver com professores tão dedicados.

A Embrapa Cerrados, em especial a Ieda que sempre teve uma leveza e um humor contagiante foi uma experiência incrível estagiar e conhecer toda a equipe.

E o meu muitíssimo obrigada as minhas duas orientadoras por todo apoio e por serem exemplos de profissionais que são apaixonadas no que fazem. Vocês são as inspirações que com certeza levarei em toda a minha carreira profissional.

LIMA, ANA CAROLYNA ALVES. **Efeito da secagem das amostras de solo nos níveis de atividade das enzimas β -Glicosidase e Arilsulfatase** . 2021. Monografia (Bacharelado em Agronomia). Universidade de Brasília – UnB.

RESUMO

Desde julho de 2020 as enzimas arilsulfatase e β -glicosidase foram incorporadas nas análises de rotinas de solo em laboratórios comerciais. Utilizando o conceito para fertilidade química de amostragem de solo (Fertbio), esse conceito preconiza que as amostras devem ser secas ao ar e amostradas na fase pós colheita, permitindo ao produtor uma única coleta de solo para a realização dessas análises. A bioanálise de solo (BioAS) consiste na análise da β -glicosidase e arilsulfatase, associadas ao ciclo do carbono e do enxofre, portanto, essas enzimas funcionam como bioindicadores do solo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar se o efeito da secagem em estufa a 40°C altera a atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase, em solos com baixa e alta atividade biológica. O estudo foi realizado, em Latossolo Vermelho argiloso, em duas áreas do Distrito Federal localizados na Embrapa Cerrados, Planaltina – DF. Nas áreas com baixa e alta atividade biológica foram testados tratamentos onde se estimularam as atividades enzimáticas em solos secos em temperatura ambiente e em estufa a 40°C . Nas áreas de baixa atividade, os valores observados, em média, com solo seco ao ar e em estufa foram de 45 e 43 mg de p-nitrofenol/kg de solo/h para a enzima β -glicosidase e 20 e 24 mg de p-nitrofenol/kg de solo/h para a arilsulfatase. Nas áreas de alta atividade, os valores observados, em média, com solo seco ao ar e em estufa foram de 86 e 86 mg de p-nitrofenol/kg de solo/h para a enzimas β -glicosidase e 63 e 78 mg de p-nitrofenol/kg de solo/h para a arilsulfatase. Verificou-se que nas duas áreas (baixa e alta atividade biológica) não houve alterações expressivas quanto ao efeito da secagem nos níveis de atividade enzimática. Os laboratórios credenciados que quiserem utilizar a secagem em estufa a 40°C nas BioAs, poderão realizar sem que ocorra alterações expressivas nas atividades enzimáticas.

Palavras chave: arilsulfatase, β -glicosidase, secagem, estufa, enzimas do solo.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVO GERAL	8
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	8
3.1 História do estudo da enzimologia do solo.....	8
3.2 Atividade enzimática	9
3.2.1 Enzimas extracelulares	10
3.2.2 Arilsulfatase	11
3.2.3 β-glicosidase.....	12
3.3 Fatores que influenciam no ensaio enzimático	12
3.3.1 Secagem:.....	13
3.3.2 pH:.....	13
3.3.3 Concentração do substrato:.....	13
3.3.4 Tempo de incubação:.....	14
3.3.5 Temperatura:.....	14
3.4 Matéria orgânica do solo (MOS).....	15
3.5 Qualidade do solo	15
3.5.1 Bioindicadores de qualidade do solo	16
3.5.2 Índice de qualidade dos solos.....	17
3.5.3 Bioanálises de solo	18
3.6 Sistemas de cultivos	18
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1 Descrição da área de experimento	19
4.2 Descrição das áreas de estudo e coleta das amostras.....	19

4.3 Descrição dos tratamentos	21
4.4 Determinação das atividades enzimáticas	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6 CONCLUSÕES	27
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
8 ANEXOS	31

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que os microrganismos do solo desempenham um papel importantíssimo no ambiente como um todo. E essa área está ganhando a notoriedade de grandes e pequenos produtores que almejam produzir com mais sustentabilidade. Faz-se necessário introduzir cada vez mais tecnologias voltadas a área da biologia do solo, para que o produtor possa compreender o seu solo em todos os seus aspectos, e com a colaboração de um profissional, adequar táticas corretas de manejo, entre elas: plantio direto, integrações lavoura/pecuária ou lavoura/floresta, e/ou rotações de culturas, uso de plantas de cobertura, agricultura orgânica e manejo integrado de pragas e doenças .

Essas práticas possibilitam integrar o desenvolvimento econômico, ecológico e sustentável, que deverão ser o pilar da agricultura para as futuras gerações. O manejo adequado de práticas conservacionistas, quando introduzido gradativamente, tende a apresentar resultados a longo prazo, de forma satisfatória e contínua.

E uma das inovações tecnológicas que vêm a contribuir com esse processo é a introdução da Bioanálise de solo (BioAS) que agrega o componente biológico às análises de fertilidade já realizadas rotineiramente pelos agricultores (Mendes et al., 2019). Pelo fato de necessitar de um número razoável de variáveis, a qualidade do solo não pode ser mensurada diretamente, mas pode ser estimada a partir de indicadores de qualidade do solo (STOTT et al. , 1994; KARLEN et al., 1997; ANDREWS et al., 2004).

A definição de FertBio propõe a unificação da época da amostragem de solo para as análises químicas e biológicas (ambas realizadas na fase de pós-colheita) e com secagem do solo ao ar (Mendes et al., 2019). A secagem ao ar das amostras é uma prática comum para análises de solo para fins de fertilidade e textura. No entanto, a secagem pode causar a diminuição da atividade enzimática da amostra.

O componente biológico do solo influencia na manutenção de lavouras saudáveis, resilientes e sustentáveis que possam fornecer alimentos, com boa produtividade e qualidade. No caso específico do Brasil, a expansão e a adoção por longos períodos de tempo de sistemas de manejo conservacionistas, como o sistema plantio direto e a integração lavoura pecuária, têm possibilitado verificar que os aumentos de produtividades das culturas ou a manutenção das produtividades frente

a situações ambientais adversas, muitas vezes não são explicados pelos resultados das análises químicas de solos (Nicolodi et al., 2008). Com isso há a relevância do estudo das enzimas do solo que são bioindicadores e que explica questões como essas, pois as enzimas em estudo β -glicosidase e arilsulfatase conseguem “acessar a memória do solo” mostrando resultados ao longo dos anos e permitindo que o produtor consiga avaliar a saúde do seu solo, e se a sua biologia está funcionando adequadamente (Mendes et al. 2019)

É imprescindível ter o conhecimento que o solo não é abiótico, ou seja, sem vida, ele é composto por uma vasta gama de microrganismos, plantas e animais que possui uma forte interação solo- meio ambiente, atuando na transformação e decomposição da matéria orgânica e inorgânica no solo e contribuindo na ciclagem de nutrientes. As enzimas catalisam as maiorias destas reações e sem a sua presença, o solo não exerceria sua função corretamente.

Pensando na praticidade da realização das amostras e na redução do tempo dos laboratórios que possuem alta demanda, observa-se a importância do referente trabalho para sanar alguns questionamentos. Essa abordagem permite otimizar o uso de parâmetros bioquímicos na fertilidade do solo e agilizar o processo dessas análises.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar o efeito da secagem em estufa a 40°C sobre a atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase no solo.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar os efeitos da secagem em estufa nos níveis de atividade das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase em solos com alta e baixa atividade biológica.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 História do estudo da enzimologia do solo

As enzimas do solo são essenciais nos processos dos ecossistemas, pois medeiam inúmeras reações biogeoquímicas no solo. A catalase foi à primeira enzima do solo detectada em 1896. No decorrer desses 50 anos, a maior parte da pesquisa

enzimológica do solo foi focada no desenvolvimento de ensaios e no aumento do número de enzimas medidas - especialmente carboidrolases, proteases, fosfatases e urease (Sinsabaugh, 2010).

(Woods,1899) registrou a atividade das enzimas oxidantes, como as peroxidases, e concluiu que estas eram enzimas extracelulares persistentes que surgiram através da decomposição das raízes e outras partes da planta. Isso foi comunicado naquele ano na reunião anual da Associação Americana para o Avanço da Ciência em Colombo, e levou rapidamente à aceitação generalizada de que os solos exibem atividade enzimática. Dois anos mais tarde, um dos pioneiros da biologia do solo, ampliou sobre as observações de Woods e concluiu:

Metabolismo de bactérias ou leveduras, ou por enzimas secretadas por estes organismos ou por plantas superiores, são de vital importância nos processos agrícolas. Sem eles para decompor os compostos orgânicos, o solo se tornaria rapidamente inadequado para o sustento da vida. **(CONN HERBERT ,1901)**

Existem agora mais de 100 enzimas que foram ensaiadas, e pelo menos parcialmente caracterizadas, nos solos (Dick & Burns, 2011).

Os cientistas do solo na primeira década do século 20 tendiam a ver o solo-solução semelhante a um tecido vivo devido à sua capacidade de transportar para fora reações catalíticas (Quastel, 1946).

Nos últimos anos, a ênfase tem sido dada à utilização de atividades enzimáticas como indicadores não da produtividade das culturas, mas sim para detectar os efeitos negativos ou positivos a longo prazo da gestão da terra. (Dick & Burns, 2011). Hoje, esses estudos possuem relevância para a avaliação da fertilidade do solo, compreensão e crescimentos de plantas e na proteção e reabilitação de um solo degradado. E também como local para transformações essenciais para o ciclo do nitrogênio, enxofre e para a nutrição das plantas (Dick & Burns, 2011).

3.2 Atividade enzimática

As enzimas são proteínas e, atuam como catalisadores nas reações químicas, aumentando a velocidade da reação.

Primeiro, eles são catalisadores extremamente eficazes e capazes de aumentar a velocidade de uma reação um milhão de vezes ou mais em comparação com a mesma reação realizada na ausência de uma enzima. Em segundo lugar, as enzimas são específicas nas reações que catalisam. Em terceiro lugar, as enzimas

estão sujeitos à regulação e, assim, agir para controlar a concentração de metabólitos e do fluxo. Em quarto lugar, as enzimas agem sob condições normais fisiológicas de temperatura e pressão (Dick, 2011).

No solo, as enzimas participam como catalizadoras dessas reações metabólicas intracelulares, que ocorrem nos seres vivos. Além disso, as enzimas extracelulares desempenham papel fundamental, atuando em várias reações que resultam na decomposição de resíduos orgânicos (ligninases, celulasas, proteases, glucosidases, galactosidases), ciclagem de nutrientes (fosfatases, amidases, urease, sulfatase), formação da matéria orgânica seca (MOS) e da estrutura do solo. O potencial das análises de atividade enzimática como indicadores de grande sensibilidade, especialmente β -glicosidase e arilsulfatase, tem sido verificado no Cerrado (Mendes et al., 2003; Green et al., 2007; Peixoto et al., 2010) e no Sul do País (Balota et al., 2004; Lisboa et al., 2012; Mendes et al., 2015).

A atividade dos microrganismos afeta diretamente os atributos químicos e físicos do solo, contribuindo, ativamente, para sustentabilidade dos sistemas agrícolas (Pereira et al., 2007). (Silva, 2008) cita a atividade das enzimas β -glicosidase, arilsulfatase e fosfatase ácida como importantes atributos na avaliação da atividade dos microrganismos, relatando que estas enzimas foram eficientes em identificar as alterações decorridas do manejo do solo.

3.2.1 Enzimas extracelulares

As enzimas extracelulares são aquelas enzimas que ainda estão ativas, mas não estão mais contidas em uma planta viva, animal ou célula microbiana viva. As enzimas extracelulares no solo são especialmente importantes para o metabolismo de macromoléculas que muitas vezes são grandes demais para serem transportadas através das membranas para o interior de uma célula (Dick, 2011).

O solo é um ambiente inerentemente hostil para as enzimas extracelulares porque uma vez que deixam a célula estão sujeitas a desnaturação, degradação e inativação (Dick, 2011).

Na última década, os avanços em biologia molecular e técnicas analíticas, (Allison, 2005; Bouws et al., 2008; Wallenstein e Weintraub, 2008) começaram a fornecer novos conhecimentos sobre a ecologia das enzimas extracelulares. Outra motivação para os muitos avanços científicos neste assunto é a necessidade de

entender os detalhes de como as enzimas funcionam em um grande número de processos industriais, médicos e ambientais. Por exemplo, aqueles preocupados com compostagem (Crecchio et al., 2004; Raut et al., 2008), águas residuais (Shackle et al., 2006) e tratamento de lodos (Alam et al., 2009), e a conversão de materiais vegetais, incluindo madeira e resíduos de palha, para fermentação de açúcares para produção de bioetanol (Wackett, 2008) estão se esforçando para entender as funções e como melhorar a eficiência das muitas enzimas envolvidas.

As enzimas extracelulares, em particular, podem proporcionar um indicador de alterações duradouras ou mesmo permanentes na qualidade do solo porque são susceptíveis de serem complexados e protegidos (e, portanto, de longa duração) durante um período de tempo devido à sua associação com os complexos húmico e argiloso (Bandick e Dick, 1999; Ndiaye et al., 2000).

3.2.2 Arilsulfatase

O enxofre (S) orgânico pode se tornar disponível às plantas pela mineralização da matéria orgânica (David et al., 1982). A arilsulfatase é uma enzima que participa do ciclo do S no solo, ao hidrolisar ligações do tipo éster de sulfato, o que libera íons sulfato (Tabatabai & Bremner, 1970). Sua origem pode ser microbiana ou vegetal (Ganeshamurthy & Nielsen, 1990).

A atividade da arilsulfatase no solo decresce com a profundidade e com a diminuição do teor de matéria orgânica (Baligar et al., 1988), por constituir a principal reserva de ésteres de sulfato, que são substratos da enzima. Entretanto, (Speir, 1984) não observou correlação entre C-orgânico e atividade de arilsulfatase e concluiu que cada solo tem sua característica típica de atividade enzimática, que pode ser influenciada por fatores, tais como: grau de evolução da matéria orgânica ou tipo de vegetação que lhe deu origem. Dentre esses principais fatores que afetam a sua atividade, destaca-se a quantidade de matéria orgânica, pois ela é rica em ésteres de sulfato, substrato dessa enzima (Nogueira & Mello, 2003).

(Mendes et al., 2018) definiu que a classe de interpretação da arilsulfatase para Latossolos Vermelhos argilosos de cerrado sob cultivos anuais, na camada de 0 cm a 10 cm, utilizando o conceito Fertbio: específica para amostras de solo coletadas na fase de pós-colheita e secas ao ar. É classificada em: Baixa: ≤ 30 mg de p-nitrofenol/kg de solo/h. Moderada: 31-70 mg de p-nitrofenol/kg de solo/h. Adequada >71 mg de p-

nitrofenol/kg de solo/h.

3.2.3 β -glicosidase

A enzima β - Glicosidase no solo atua na etapa final de degradação da celulose, hidrolisando os resíduos de celobiose, liberando glicose, importante fonte de energia para os microrganismos (Makoi & Ndakidemi, 2008). Dentre os principais fatores que afetam a sua atividade, destacam-se a quantidade e qualidade dos resíduos vegetais (Mendes e Reis Jr., 2004) e também o pH do solo (Ekenler e Tabatabai, 2003).

β -glicosidase catalisa a hidrólise de vários β -glicosídeos, sendo sua determinação muito utilizada para a avaliação da qualidade do solo, devido ao fato de esta enzima ser muito sensível a práticas de manejo do solo (DE-POLLI, 2005).

(Mendes et al., 2018) definiu que a classe de interpretação da β -glicosidase para Latossolos Vermelhos argilosos de cerrado sob cultivos anuais, na camada de 0 cm a 10 cm, utilizando o conceito Fertbio: específica para amostras de solo coletadas na fase de pós-colheita e secas ao ar. É classificada em: Baixa: ≤ 66 mg de p-nitrofenol/kg de solo/h. Moderada: 67-115 mg de p-nitrofenol/kg de solo/h. Adequada >116 mg de p-nitrofenol/kg de solo/h.

3.3 Fatores que influenciam no ensaio enzimático

A avaliação da atividade de uma enzima no solo é baseada na medição colorimétrica do substrato. Outros fatores que devem ser considerados e controlados durante a medição da atividade de uma enzima no solo incluem a eficiência de extração do produto ou substrato do solo, se o solo foi coletado seco ou úmido no campo, pH, concentração do substrato, tempo de reação, temperatura (Dick, 2011).

Todos estes fatores têm de ser cuidadosamente avaliados e otimizados para proporcionar o ensaio enzima - solo mais válido possível. O objetivo é garantir que a taxa de reação medida seja proporcional à concentração enzimática no solo, ou que a reporta com precisão. Mede-se a atividade enzimática, e não a própria enzima, pois isto envolveria a extração de uma enzima específica e, em muitos casos, não teria sentido, porque, do ponto de vista ecológico, a atividade da enzima é o que é mais importante. Em vez disso, o objetivo do solo é medir a atividade de uma reação enzimática catalisada em um solo em relação ao outro. Isso requer processos de

ensaio padrão que podem ser utilizados em laboratórios em todo o mundo para fornecer resultados reprodutíveis (Dick, 2011).

3.3.1 Secagem:

As temperaturas elevadas devem ser evitadas, para não inativar as enzimas, pois as altas temperaturas desnaturam as proteínas (Dick, 2011). As reduções nas atividades enzimáticas do solo após a secagem ao ar podem ser atribuídas basicamente a dois fatores, à morte de uma porção significativa de microrganismos que liberam enzimas no solo, e a desnaturação das enzimas como resultado da baixa disponibilidade de água no solo (Skujins, 1967; Ladd, 1985; Gianfreda e Bollag, 1996; Nannipieri et al., 2002).

Embora a secagem ao ar mova o solo em direção ao equilíbrio, não é seguro assumir que, uma vez o solo seco, pode ser mantido em um estado estável durante o armazenamento (Bartlett e James, 1980). Por este motivo, as mudanças no solo com a secagem parecem ser afetadas pelo tempo de secagem, a preparação de solos secos (em um forno ou à temperatura do ar), umidade, temperatura, luz e período de tempo de armazenamento após a secagem (Bartlett e James, 1980; Nobili et al., 2006).

3.3.2 pH:

As enzimas apresentam uma atividade ótima em valores específicos de pH porque as alterações no pH causam variações no estado iônico tanto dos resíduos de aminoácidos da enzima como das moléculas do substrato. O sítio ativo das enzimas é composto por aminoácidos que possuem cadeias laterais ionizáveis e estas cadeias devem estar na forma iônica adequada para que possam manter a forma do sítio ativo, se ligar ao substrato e promover sua catálise. Estes efeitos serão reversíveis numa faixa estreita de pH, mas os extremos de acidez ou alcalinidade frequentemente causam desnaturação permanente da proteína enzimática (Dick, 2011).

3.3.3 Concentração do substrato:

Na análise de atividade enzimática, a concentração do substrato deve ser suficiente para manter uma cinética de ordem zero em relação à concentração do

substrato, alcançando assim uma taxa de reação proporcional à concentração enzimática (Segel, 1975). Outra forma de dizer isto é que a taxa de formação do produto deve estar diretamente relacionada ou proporcional à concentração enzimática no solo e independente da concentração do substrato. Esta norma cinética de ordem zero para a concentração do substrato deve ser cumprida para todos os solos estudados (Dick, 2011).

3.3.4 Tempo de incubação:

Tempos de incubação mais longos resultarão em mais produto e, portanto, uma menor quantidade de enzima pode ser detectada; isto representa uma maior sensibilidade. No entanto, um curto tempo de incubação reduz o potencial de proliferação microbiano. Um tempo de incubação curto também reduz os custos, uma vez que permite a realização de mais reações num determinado período de tempo. Deseja-se um tempo de incubação que reduza problemas potenciais e assegure a criação de produto suficiente para detectar pequenas quantidades de enzimas no solo. O tempo deve ser o mais curto possível, permitindo ao mesmo tempo atividade suficiente para a detecção e comparação válida entre os solos da enzima (Dick, 2011).

3.3.5 Temperatura:

A temperatura afeta a atividade enzimática ao transmitir energia aos reagentes e torna possível que mais reagentes atravessem a barreira energética que existe entre o substrato e o produto. Uma maior temperatura levará a uma diminuição da atividade. Isto é devido à atividade térmica se tornar tão grande que causa inativação da proteína enzimática por causa de alterações conformacionais na estrutura da proteína. A temperatura a que a enzima começa a perder a sua atividade é chamada de temperatura de inativação. A escolha adequada da temperatura é aquela que é baixa o suficiente para evitar qualquer inativação significativa da enzima, mas ainda alta o suficiente para produzir a maior possível taxa de reação (e assim maximizar a sensibilidade da reação). A realidade é que os bioquímicos padronizaram a maioria dos ensaios enzimáticos a 37°C (Dick, 2011).

3.4 Matéria orgânica do solo (MOS)

A MOS é um grande reservatório de nutrientes, sendo constituída basicamente por C, H, O, N, S e P (Silva e Resck, 1997). Em regiões de clima tropical e subtropical, como o Cerrado, a MOS é considerada o componente principal de fertilidade do solo, desempenhando papel fundamental na capacidade de troca catiônica (CTC) e fornecimento de nutrientes, além da complexação de elementos tóxicos (Bayer e Mielniczuk, 1999).

Essa alta contribuição da MOS na CTC em solos do Cerrado deve-se à presença de argilas de baixa atividade, composta basicamente por caulinita, gibsitita e óxidos de ferro e alumínio que possuem baixa CTC (Adámoli et al., 1986). Em solos intemperizados, como os do Cerrado, a contribuição da MOS é ainda maior, devido à ionização de grupos carboxílicos, enólicos e fenólicos e a aumentos do pH do meio (Silva & Resck, 1997).

Além disso, a MOS está ligada à disponibilidade de nutrientes, como o C, N, P, S e micronutrientes (Bayer & Mielniczuk, 2008). Esse fornecimento pode ser afetado dentre outros fatores, pela quantidade e qualidade dos resíduos aportados e pela atividade microbiana e suas enzimas, que controlam a decomposição desses resíduos e o acúmulo e liberação de nutrientes através dos processos de imobilização e mineralização, funcionando como fonte e dreno destes (Singh et al., 1989).

A MOS afeta diretamente as propriedades biológicas do solo, pois atua como fonte de carbono, energia e nutrientes para os organismos. Ela também pode reter água na estrutura ativa e na matéria macrorrgânica, sendo que esta água é fundamental para manter o equilíbrio biológico do solo, principalmente em regiões secas (Bayer & Mielniczuk, 2008).

3.5 Qualidade do solo

O conceito de Qualidade do Solo (QS) é moderno, datado do fim dos anos 80 e início dos anos 90, e reflete a preocupação crescente com a sustentabilidade de produção de alimentos e a degradação dos solos. A QS foi conceituada de acordo com (Doran e Parkin, 1994) como a capacidade do solo de exercer várias funções dentro dos limites do uso da terra e do ecossistema para sustentar a produtividade biológica, manter ou melhorar a qualidade ambiental e contribuir para a saúde das

plantas, dos animais e humana.

Um dos desafios atuais da pesquisa é como avaliar a qualidade de um solo de maneira simples e confiável. De acordo com (Seybold et al.,1997), o solo tem propriedades químicas, físicas e biológicas que interagem de maneira complexa, determinando sua qualidade e capacidade de uso. Dessa forma, a qualidade do solo pode ser inferida a partir das mudanças avaliadas nos seus atributos ou nos atributos do ecossistema, conhecidos como indicadores.

Grande parte do pensamento em relação à QS está centrada na identificação de um índice capaz de servir como indicador, assim como existem indicadores para qualidade do ar e da água. Cientistas do solo, agricultores e instituições governamentais têm interesse em obter um indicador de qualidade do solo (IQS) para avaliar terras, em relação à degradação, estimar necessidades de pesquisa e de financiamentos e julgar práticas de manejo, a fim de monitorar mudanças nas propriedades e nos processos do solo, na sustentabilidade e na qualidade ambiental, que ocorram no tempo, em resposta ao uso da terra e às práticas de manejo (Granatstein & Bezdicek, 1992; Harberern, 1992; Parr et al., 1992; Doran & Parkin, 1994; Doran, 1997; Huffman et al., 1998; Karlen et al., 2001).

3.5.1. Bioindicadores de qualidade do solo

Os microrganismos, constituem a fração viva da matéria orgânica do solo e podem ser utilizados como bioindicadores uma vez que estão intimamente relacionados ao funcionamento do solo, apresentando uma estreita inter-relação com os componentes físicos e químicos (Mendes et al., 2009).

A maior vantagem dos bioindicadores é que eles são mais sensíveis que indicadores químicos e físicos, detectando com maior antecedência alterações que ocorrem no solo, em função do seu uso e manejo (Matsuoka et al., 2003; Mendes et al., 2003; Balota et al., 2004; Hungria et al., 2009; Peixoto et al., 2010; Lisboa et al., 2012).

O grau de revolvimento do solo, juntamente com a qualidade e a quantidade do resíduo vegetal que é aportado ao solo, interferem nas interações dos diversos componentes dos sistemas agrícolas, fazendo com que os diferentes sistemas de manejo deixem sua impressão digital, ou seja, a sua assinatura biológica, no solo. A capacidade que o solo tem de guardar em sua “memória” o tipo de manejo ao qual ele

é submetido está intimamente relacionada à sua parte viva, ao seu componente biológico (Mendes et al. 2019). Assim, além dos aspectos relacionados à saúde do solo, as determinações de atividade enzimática são uma das vias de acesso à memória do solo (Miller e Dick, 1995; Bandick e Dick, 1999; Kandeler et al., 1999; Bending et al., 2004; Geisseler e Horwath, 2009; Peixoto et al., 2010).

Vários estudos mostraram que, por os indicadores microbianos do solo estarem mais associados com a porção viva do solo, eles são mais sensíveis às mudanças (Miller e Dick, 1995;).

Um modelo conceitual para ensaios enzimáticos como indicadores da qualidade do solo foi articulado por (Dick, 1994). As atividades enzimáticas têm potencial como indicadores da qualidade do solo. Porque os ensaios são simples e rápidos, são integrativos na natureza, e são sensíveis à gestão de terras (Ross e Cairns, 1982; Dick, 1994, 1997; Bandick e Dick, 1999; Ndiaye et al., 2000).

Dentre os parâmetros que mais têm sido avaliados nos estudos de indicadores microbiológicos destacam-se, a biomassa microbiana do solo, a atividade e diversidade microbiana e atividade enzimática (Matsuoka et al., 2003, Carneiro et al., 2004, Carneiro et al., 2008).

3.5.2 Índice de qualidade dos solos

Os índices de qualidade do solo podem ser obtidos por meio de uma expressão ou modelo matemático que inclua os atributos do solo considerado. Assim, a soma dos efeitos dos atributos selecionados, que são determinantes da qualidade do solo de um dado ambiente, é expressa no índice de qualidade (Burguer e Keltling, 1999).

(Chaer, 2001) propôs alguns modelos que permitem estimar os índices de qualidade do solo sob as mais variadas condições. A partir disso, desenvolveu-se o Sistema de Monitoramento da Qualidade do Solo (SIMOQS), desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, em que o usuário, tendo em mãos um conjunto de dados obtidos a partir da análise de características químicas, físicas e biológicas, escolhe um modelo ajustado aos seus propósitos, adequando o modelo escolhido aos dados disponíveis (Chaer et al., 2004). De acordo com (Silva, 2008), o SIMOQS foi eficaz como ferramenta para o monitoramento da qualidade do solo em diferentes agroecossistemas, sendo que, através dos cálculos do índice de qualidade, foi possível observar benefícios do bom manejo das pastagens (principalmente quando

em consórcio com leguminosas), da rotação lavoura/pastagem e do plantio direto.

3.5.3 Bioanálises de solo

A BioAS é uma tecnologia desenvolvida pela Embrapa que agrega o componente biológico às análises de rotina de solos. A BioAS consiste na análise das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase, associadas aos ciclos do enxofre e do carbono, respectivamente. Por estarem relacionadas, direta ou indiretamente, ao potencial produtivo e à sustentabilidade do uso do solo, essas enzimas funcionam como bioindicadores e ajudam a avaliar a saúde dos solos (MENDES, 2019).

As enzimas arilsulfatase e β -glicosidase, em conjunto ou separadamente, foram as indicadoras que consistentemente apresentaram maior sensibilidade para detectar alterações no solo, em função do sistema de manejo utilizado (MENDES et al., 2019). Essas duas enzimas apresentam uma estreita relação com a MOS – parâmetro base da qualidade de um solo – e com o rendimento de grãos – parâmetro que reflete o aspecto econômico das lavouras – que são fundamentais para a sustentabilidade do negócio agrícola (LOPES et al., 2013, 2018; MENDES et al., 2019a). Além disso, as duas enzimas são relacionadas à ciclagem da MOS e não são influenciadas pela aplicação de adubos e calcário (MENDES et al., 2019).

3.6 Sistemas de cultivos

A intensidade de cultivo através do sistema convencional de produção, com revolvimento do solo e incorporação dos resíduos vegetais, tem contribuído para o processo de degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Já o sistema de plantio direto, com mobilização mínima, rotação de culturas e adoção das culturas de cobertura, promove maior produção de biomassa e recuperação do solo, conservação da água e ciclagem de nutrientes, viabilizando a agropecuária sustentável (CALEGARI et al., 1993; SCHOMBERG; FORD; HARGROVE, 1994; CHAVES; PAVAN; CALEGARI, 1997; FRANCHINI et al., 2001).

A compactação e a redução nos teores de matéria orgânica são consideradas como os principais indutores da degradação das terras agrícolas. Tal degradação, com todas as suas implicações e consequências, tem resultado no desafio de viabilizar sistemas de produção que possibilitem maior eficiência energética e

conservação ambiental, criando-se novos paradigmas tecnológicos baseados na sustentabilidade (Kluthcouski et al., 2000).

A semeadura direta, com apenas um pequeno preparo na linha de semeadura, que surgiu como uma simples técnica de manejo com o objetivo básico de controle da erosão hídrica do solo evoluiu para um sistema complexo e ordenado de produção agrícola, denominado, no Brasil, de sistema de plantio direto (Muzilli, 2002).

O sistema de plantio direto, ao manter os resíduos vegetais na superfície, tende a aumentar os teores de matéria orgânica do solo, melhorando a agregação das partículas em relação ao preparo convencional (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990).

Já no preparo convencional, a ruptura dos agregados ocasionada pelo revolvimento do solo, acelera as perdas pela oxidação da matéria orgânica e pelos processos de erosão do solo (OADES, 1984; MENDONÇA; ROWELL, 1994).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Descrição da área de experimento

O experimento foi conduzido nas áreas experimentais da Embrapa Cerrados, Planaltina-DF. De acordo com a classificação de Köppen (BRASIL, 1972) essa região apresenta um clima tropical estacional (Aw) por ser localizada no bioma Cerrado e apresenta suas estações de seca e chuva bem definidas, uma estação seca de maio a setembro e, outra chuvosa de outubro a abril. Com precipitação média anual de 1570 mm e temperatura média anual de 21,3 °C. Os veranicos costumam ocorrer nos meses de janeiro e fevereiro. Isso implica positivamente para um calendário de plantio bem definido na região.

4.2 Descrição das áreas de estudo e coleta das amostras

Para este estudo as amostras de solo foram coletadas na profundidade de 0-10 cm, com a utilização de um trado holandês em dezembro de 2019. Coletaram-se 4 sub-amostras em diferentes pontos. As quatro sub-amostras foram homogeneizadas formando-se uma única amostra por área. No laboratório, o solo foi separado em duas porções de 500g, designada para os dois tratamentos.

A primeira área é denominada “Área Solos”, apresentada na figura 1. Há cinco anos essa área é cultivada com milho (*Zea mays*) em rotação com *Crotalaria juncea*.

O preparo do solo é realizado com grade aradora e niveladora, esse maquinário atua no destorroamento e no nivelamento da área. Essa área é destinada ao melhoramento de milho e adota o sistema de plantio convencional.

A segunda área de estudo é denominada “Área Inova”, apresentada na figura 2. A vegetação presente originalmente na área era Cerrado Sentido Restrito. O desmatamento foi efetuado em agosto de 2008 (época seca), com correntão, seguido pela passagem de uma patrula para enleiramento de troncos, galhos e raízes. A área recebeu calcário e gesso e adubação fósfatada corretiva. O calcário foi incorporado com arado e grade aradora. Após a correção, ocorreu o nivelamento e destorroamento. Antes do primeiro cultivo de soja foi plantado o milheto na área (no dia 01/09/2009), visando a produção de palhada e, também, a exportação de nitrogênio do solo. Desde então, há dez anos, a área vem sendo cultivada com uma rotação soja (*Glycine max*)/ milheto (*Pennisetum glaucum*) sob sistema de plantio direto.

A caracterização química e granulométrica das áreas experimentais será apresentada na tabela 1.

Tabela 1: Análises Químicas e Granulométricas do solo das duas áreas experimentais na camada de 0 a 10 cm.

Experimentos	pH (H ₂ O)	H+Al cmol _c dm ⁻³	Ca+Mg cmol _c dm ⁻³	P mg dm ⁻³	K mg dm ⁻³	Al ₃ ⁺ cmol _c dm ⁻³	Matéria orgânica (g kg ⁻¹)	Argila ----- (g kg ⁻¹)	Areia ----- (g kg ⁻¹)	Silte ----- (g kg ⁻¹)
Área Solos	5,30	4,50	2,99	1,55	40	0,02	20,43	358	115	527
Área Inova	4,60	5,30	2,35	4,52	55	0,08	30,11	261	185	554



Foto: Ana Carolyna Alves Lima.

Figura 1. Área Solos, Embrapa Cerrados – DF.



Foto: Ana Carolyn Alves Lima.

Figura 2. Área Inova, Embrapa Cerrados – DF.

4.3 Descrição dos tratamentos

O trabalho teve como finalidade avaliar os dois tratamentos descritos abaixo, com delineamento inteiramente casualizado com dez repetições.

Para avaliar o efeito da secagem no nível de atividade enzimática as amostras de solo coletadas nas duas áreas foram submetidas a dois tratamentos: secagem ao ar por cinco dias e secagem em estufa a 40°C por dois dias, esse período de dias foi escolhido a partir de análises visuais realizadas diariamente. Antes do processo de secagem o solo foi peneirado em peneira de malha 2mm.

O procedimento de secagem em estufa é muito utilizado para os métodos de análise de solo quando se trata de grandes quantidades de amostras ou em laboratório com alta demanda, já que reduzem o tempo de secagem, com o intuito de agilizar esse processo.

4.4 Determinação das atividades enzimáticas

As atividades das enzimas β -glicosidase e arilsulfatase foram determinadas, utilizando-se os métodos descritos por Tabatabai (1994) omitindo-se o tolueno. Esta metodologia tem por base a incubação, com temperatura a 37°C das amostras de solo, com uma solução tamponada de substratos específicos para cada enzima, promovendo a liberação do p-nitrofenol, que é determinado colorimetricamente, a partir disso é realizado a leitura através do espectrofotômetro com o programa UVProbe (Photometric) que gera os valores e a curva padrão.

Para cada amostra foram realizadas duas repetições analíticas mais um controle-testemunha (Figura 3). Para a determinação da quantidade de p-nitrofenol liberada por cada amostra foi utilizada, como base, uma curva padrão preparada com concentrações conhecidas de p- nitrofenol (0, 10, 20, 30, 40 e 50 μg de p-nitrofenol mL^{-1}). A atividade enzimática do solo é expressa em microgramas de p-nitrofenol liberado por hora por grama de solo seco (μg p-nitrofenol h^{-1} g^{-1} solo).

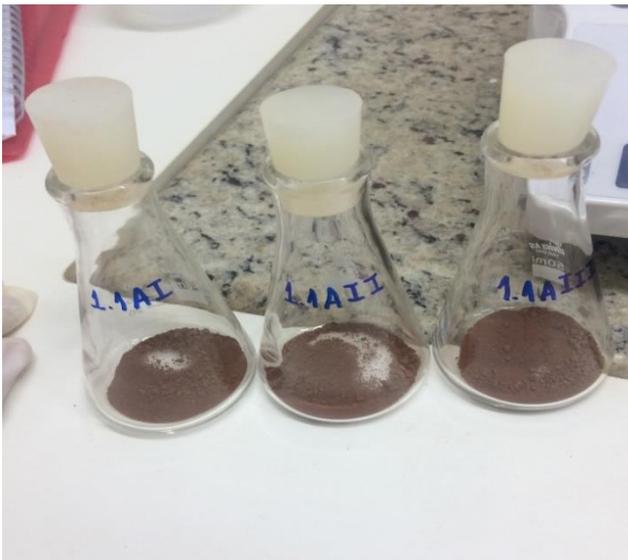


Foto: Ana Carolyn Alves Lima.

Figura 3. As três repetições analíticas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A secagem do solo a 40°C em estufa não alterou a atividade enzimática da arilsulfatase.

Nota-se que estatisticamente, utilizando a média, mediana e desvio padrão, não há distinção entre os tratamentos com as enzimas arilsulfatase sobre a secagem ao ar (T1) e a secagem em estufa a 40°C (T2), pois o seu grau de dispersão, ou seja, o desvio padrão da média aproximou os dois tratamentos, sendo observado pela sobreposição no gráfico (Figura 4).

Embora ocorra uma tendência de maior atividade da enzima arilsulfatase a secagem em estufa a 40°C na área Inova.

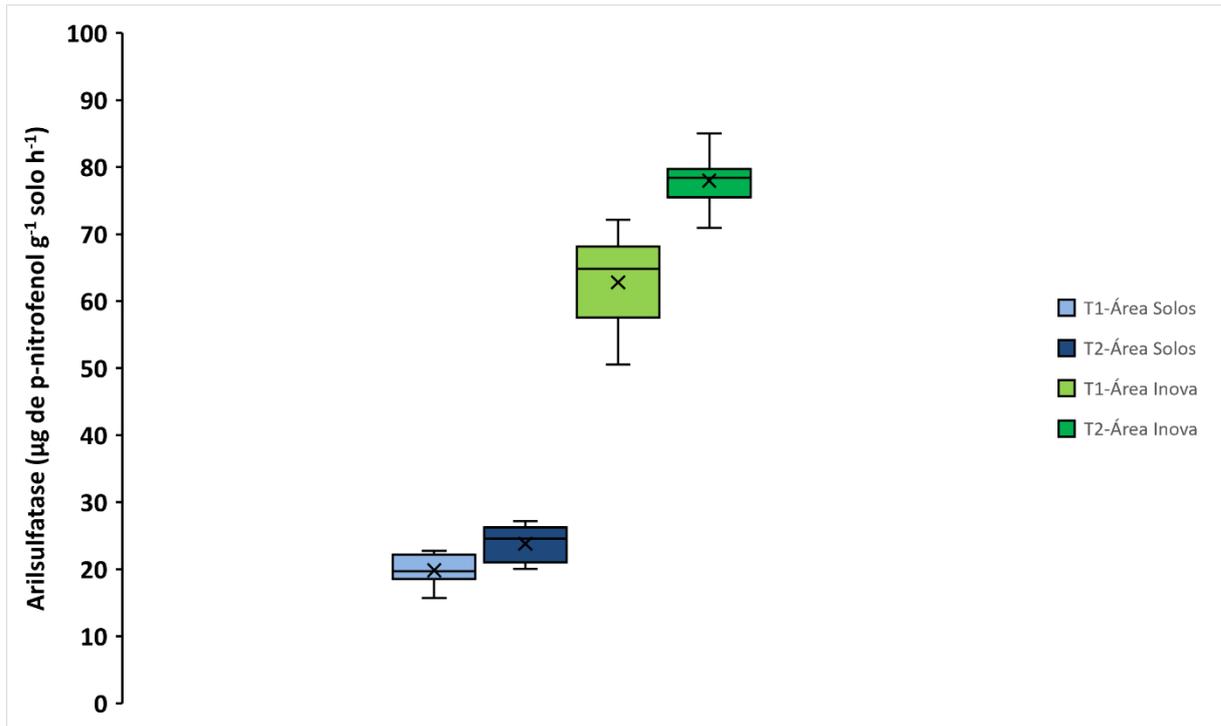


Figura 4: Atividade da arilsulfatase, o x representa a média, a linha representa a mediana e as barras o desvio padrão da média, nas duas áreas em função da secagem do solo ao ar e em estufa a 40°C (solo coletado na profundidade 0-10 cm).

Conclui-se também que a secagem do solo a 40°C em estufa não alterou a atividade enzimática da β -glicosidase.

Observa-se que estatisticamente, utilizando a média, mediana e desvio padrão das amostras, não há distinção entre os tratamentos com as enzimas β -glicosidase sobre a secagem ao ar (T1) e a secagem em estufa a 40°C (T2) nas áreas com baixa e alta atividade biológica, pois o seu grau de dispersão aproximou os dois tratamentos, sendo notado pela sobreposição nos gráficos (Figura 5).

A β -glicosidase se manteve estável nos respectivos tratamentos.

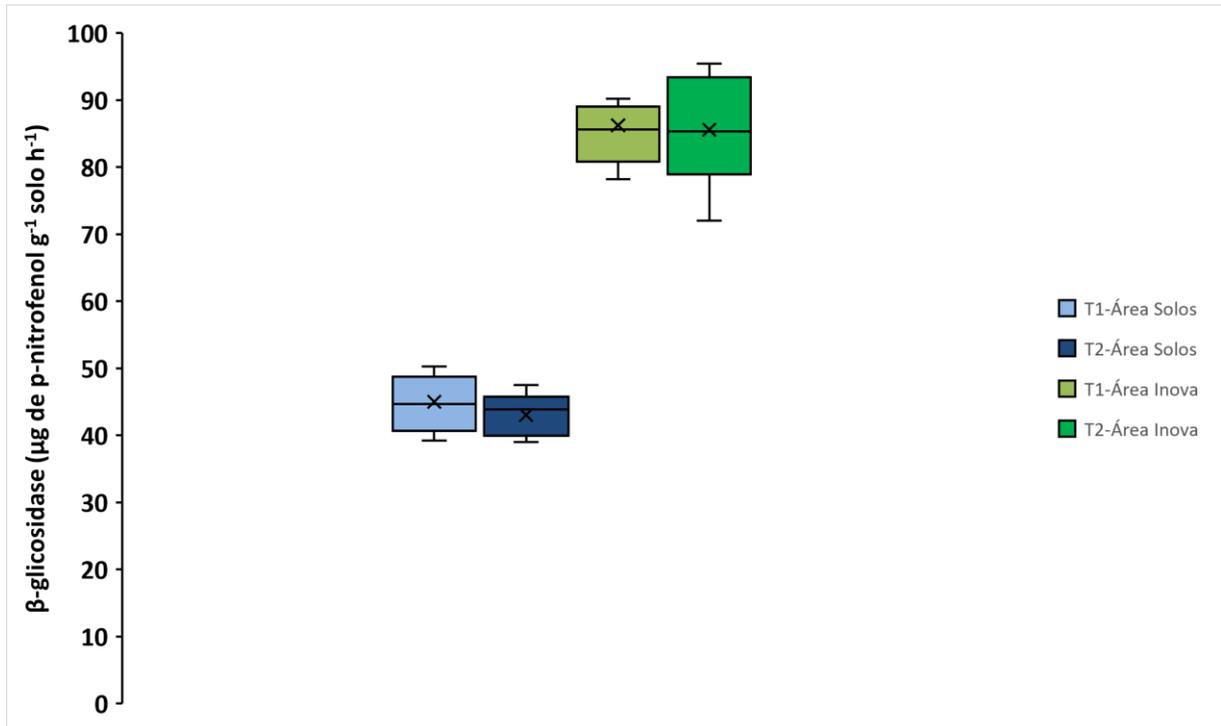


Figura 5: Atividade da β -glicosidase, o x representa a média, a linha representa a mediana e as barras o desvio padrão da média, nas duas áreas em função da secagem do solo ao ar e em estufa a 40°C (solo coletado na profundidade 0-10 cm).

Constata-se que na Área Solos os níveis de atividade das enzimas arilsulfatase e β -glicosidase foram menores do que na Área Inova. A baixa atividade enzimática observada na Área Solos deve-se principalmente ao preparo de solo convencional realizado anualmente na área. Por outro lado, os elevados níveis de atividade enzimática observado na Área Inova é decorrente do seu sistema de manejo, ou seja, preparo do solo com plantio direto.

Após a secagem do solo úmido, pode ocorrer a redução na atividade enzimática que está estreitamente relacionada à morte de células microbianas, com consequente rompimento da parede celular (Ladd, 1985; Gianfreda & Bollag, 1996; Nannipieri et al., 2012) e a processos de desnaturação enzimática. Entretanto, embora vários estudos na literatura mencionem reduções na atividade enzimática com a secagem (Abellan et al., 2011; Bandick & Dick, 1999; Lee et al, 2007; Pancholy & Rice, 1972; Wallenius et al., 2010); existem relatos de aumentos na atividade enzimática com a secagem (Bandick & Dick, 1999; Eivazi & Tabatabai, 1977; Eivazi & Tabatabai, 1990; Gianfreda & Bollag, 1996; Longo & Melo, 2005); de ausência de alterações (Zornoza et al., 2006) e de efeitos erráticos (Rao et al., 2003).

A secagem ao ar dá às amostras de solo condições físicas que são ideais para serem manuseados e conservados sem refrigeração (Zornoza et al., 2006; Lopes et al., 2015). Além disso, a secagem ao ar provavelmente elimina a atividade de enzimas mais suscetíveis à desnaturação, deixando apenas enzimas estabilizadas que poderia ter um importante efeito ecológico sobre qualidade do solo (Nannipieri et al., 1990).

(Zornoza et al., 2006) observou que as atividades da β -glicosidase quase não foram afetadas pela secagem; no entanto, Wallenius et al. (2010) relataram aumento de atividade da enzima arilsulfatase após secagem. No presente caso, ao ser submetida a temperatura de secagem de 40°C, houve também um aumento de atividade enzimática da arilsulfatase.

A atividade hidrolítica das enzimas do solo é um somatório das atividades intracelulares, localizadas internamente nas células, e extracelulares, que são associadas a enzimas adsorvidas nos colóides do solo (fração argila e matéria orgânica). Esse fato pode estar relacionado a uma distribuição diferenciada da atividade hidrolítica dessas enzimas nos solos do cerrado no caso da β -glicosidase, a maior parte da atividade enzimática está associada ao componente abiótico. Este componente, por ser mais estabilizado, seria menos impactado por fatores ambientais tais como a secagem (Knight & Dick, 2004). Observando que a atividade hidrolítica da enzima arilsulfatase foi mais impactada por esses fatores, tais como a secagem.

A atividade da arilsulfatase é influenciada por fatores ambientais como pH, umidade e temperatura. E a atividade máxima encontra-se entre 20° C e 40° C e pela umidade relativa de 60%. (MOREIRA; SIQUEIRA , 2006).

Uma das possíveis hipóteses que justifica esse aumento da atividade enzimática durante a secagem, é que dependendo do teor de água na amostra, poderá haver o crescimento de microrganismos e a síntese de novas moléculas enzimáticas (Haney et al., 2004). É importante salientar também que seguindo o comportamento das reações químicas, temperatura elevadas podem vir inativar essas enzimas, conclui-se, portanto, que a temperatura da estufa a 40°C torna-se uma temperatura ótima para as enzimas β -glicosidase e arilsulfatase, não alterando significativamente a sua atividade enzimática, podendo ser utilizado em laboratórios credenciados para realização dessas análises.

É possível que nos sistemas produtivos onde a fertilidade do solo esteja fortemente ligada à ciclagem de matéria orgânica, possa haver uma correlação entre as atividades das enzimas e a fertilidade desses solos (Dick & Tabatabai, 1992). Solos

que possuem manejos que visam melhorar a saúde do solo, tais como: plantio direto, adubação orgânica, rotação de culturas; devem apresentar maior atividade biológica e conseqüentemente, maior produtividade, uma produção superior de enzimas e um maior potencial para estabilizá-las e protegê-las (Dick et al. 1996).

Na área Inova onde está instalado o sistema de plantio direto, fica claro esse aumento considerável das atividades enzimáticas. A sensibilidade das enzimas possibilitam a detecção mais rápida da condição de equilíbrio ou desequilíbrio em que o sistema de produção se encontra, já a matéria orgânica apresenta um resultado mais lento, devido a sua degradação ser mais vagarosa.

Na área sob plantio direto, as atividades da β -glicosidase foram superiores. Conforme ressaltado por Bandick & Dick (1999), essa maior atividade da β -glicosidase pode estar associada não só ao acúmulo, mas também à qualidade dos restos culturais acumulados na superfície do solo nas áreas sob plantio direto. Esses resíduos então funcionariam para as enzimas como estímulo para sua produção (indução pela presença do substrato).

As arilsulfatases ocorrem em diferentes tipos de solo e apresentam correlação elevada com a biomassa microbiana (DODGSON et al., 1982). Em estudos sobre o impacto do manejo do solo nas atividades hidrolíticas, foi observado aumento da atividade dessa enzima nos sistemas com pouco revolvimento do solo, principalmente devido à manutenção dos fungos, principais produtores de ésteres de enxofre, substrato para essas enzimas (BANDICK e DICK, 1999; LISBOA et al., 2012).

A enzima β -glicosidase ocorre na maioria dos solos e desempenha papel muito importante, pois está envolvida na biodegradação de resíduos orgânicos (TABATABAI, 1994; 1997). A avaliação da atividade dessa enzima é fundamental, pois ela reflete a atividade biológica e a capacidade do solo em estabilizar a matéria orgânica, podendo ser usada para detectar efeitos de diferentes formas de uso, com a mínima variabilidade devido a fatores sazonais ou ambientais (Knight e Dick, 2004).

A relação da textura com os indicadores do solo é inteiramente proporcional, quanto mais partícula de argila no solo, mais condições de armazenar matéria orgânica e conseqüentemente, maior atividade enzimática. Os algoritmos da tecnologia BioAS foram calibrados para textura, rendimento de grãos e matéria orgânica, integrando a qualidade e produtividade, fatores cruciais para um melhor desenvolvimento.

6 CONCLUSÕES

Nas áreas com baixa e alta atividade biológica não ocorreram alterações expressivas entre as atividades enzimáticas no solo seco em temperatura ambiente e nem na secagem em estufa a 40°C.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, FLÁVIA APARECIDA DE ET AL. ADUBAÇÃO VERDE NA RECUPERAÇÃO DA FERTILIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO DEGRADADO. **Pesq. Agropec. Bras**, Brasília - DF, v. 35, n. 2, p. 277-288, fev. 2000. Disponível : file:///F:/Tcc-%20refer%C3%Aancias/6873.pdf. Acesso em: 17 out. 2020.

ARAGÃO, OSNAR OBEDE DA SILVA. **INDICADORES MICROBIOLÓGICOS DE QUALIDADE DO SOLO ESTÃO RELACIONADOS COM MAIORES PRODUTIVIDADES DO CAFEIRO NO CERRADO MINEIRO**. 2012. 75 p. Dissertação - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras- MG. Disponível: http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/123456789/11241/Dissertacao_Osnar%20Obede%20da%20Silva%20Aragao.pdf?sequence=1&isAllowed=. Acesso em: 08 mar. 2021.

ARAÚJO, EDSON ALVES; KER, JOÃO CARLOS; NEVES, JÚLIO CÉSAR LIMA; LANI, JOÃO LUIZ. QUALIDADE DO SOLO: CONCEITOS, INDICADORES E AVALIAÇÃO. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.187-206, 2012. Disponível em: file:///C:/Users/PC%20INFO/Downloads/1658-8972-1-PB.pdf. Acesso em: 08 mar. 2021.

BRASILEIRO, LEMERSON DE OLIVEIRA. **FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES ASSOCIADOS A GRAMÍNEAS NATIVAS DO GÊNERO AXONOPUS**,. 2017. 33 p. Graduação - Curso de Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília- DF, 2017. Disponível em: file:///F:/Tcc-%20refer%C3%Aancias/2017_LemersonDeOliveiraBrasileiro_tcc.pdf. Acesso em: 17 out. 2020.

DICK, R.P. **SOIL ENZYMES ACTIVITIES AS INDICATORS OF SOIL QUALITY**. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., ed. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison: Soil Science Society of America, 1994. p.107-124. (Special Publication number, 35).

DICK, RICHARD P.; BURNS, RICHARD G. **A BRIEF HISTORY OF SOIL ENZYMOLOGY RESEARCH**. In: DICK, Richard P.; BURNS, Richard G. *Methods of Soil Enzymology*. 9. ed. EUA: Copyright, 2011. Cap. 1. p. 1-34.

DICK, WARREN A. **DEVELOPMENT OF A SOIL ENZYME REACTION ASSAY**. In: DICK, Richard P.; BURNS, Richard G. *Methods of Soil Enzymology*. 9. ed. EUA: Copyright, 2011. Cap. 4. p. 71-84.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **MANUAL DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE SOLO / Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. – 2. ed. rev. atual. – Rio de Janeiro, 1997. 212p.: il. Disponível em: file:///F:/Tcc-%20refer%C3%Aancias/Manual+de+Metodos_000fzvhotqk02wx5ok0q43a0ram31wt r.pdf. Acesso em: 17 out. 2020.

ENCONTRO ANUAL DA BIOFÍSICA, 2018, Recife - PE. **ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE FOSFATASE E B-GLICOSIDASE EM SOLO DE DIFERENTES CULTURAS [...]**. [S. l.: s. n.], 2018. 2 p. Disponível em: <file:///F:/Tcc-%20refer%C3%AAncias/20.pdf>. Acesso em: 17 out. 2020.

LACERDA, M. P. C.; MALAQUIAS, J. C. **CRITICAL LIMITS FOR MICROBIAL INDICATORS IN TROPICAL OXISOLS AT POST-HARVEST: THE FERTBIO SOIL SAMPLE CONCEPT**. *Applied Soil Ecology*. Article in press.

LOPES, ANDRÉ ALVES DE CASTRO. **INTERPRETAÇÃO DE INDICADORES MICROBIOLÓGICOS EM FUNÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO E DOS RENDIMENTOS DE SOJA E MILHO**. 106 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2012. Disponível: file:///F:/Tcc-%20refer%C3%AAncias/2012_Andr%C3%A9AlvesdeCastroLopes%20DISSERTA%C3%87AO.pdf. Acesso em: 17 out. 2020.

LOPES, ANDRÉ ALVES DE CASTRO; SOUSA, DJALMA MARTINHÃO GOMES DE; REIS JUNIOR, FÁBIO BUENO DOS; MENDES, IEDA CARVALHO. **AIR-DRYING AND LONG-TERM STORAGE EFFECTS ON B-GLUCOSIDASE, ACID PHOSPHATASE AND ARYLSULFATASE ACTIVITIES IN A TROPICAL SAVANNAH OXISOL**. *Applied Soil Ecology*, Brasília-DF, v. 93, p. 68-77, 2015..

MATSUOKA, M.; MENDES, I. C.; LOUREIRO, M. F. **BIOMASSA MICROBIANA E ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM SOLOS SOB VEGETAÇÃO NATIVA E SISTEMAS AGRÍCOLAS ANUAIS E PERENES NA REGIÃO DE PRIMAVERA DO LESTE (MT)**. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa - MG, v. 27, n. 3, p. 425-433, jun. 2003. Disponível em: <file:///F:/Tcc-%20refer%C3%AAncias/16660.pdf>. Acesso em: 17 out. 2020.

MENDES, IEDA CARVALHO et al. **BIOANÁLISE DE SOLO: A MAIS NOVA ALIADA PARA A SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA**. Brasília-DF. **Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia**, v. 8, 2020.

MENDES, LAURA BRAZ; SANTOS, MARIA AMÉLIA. **MANEJO DE MELOIDOGYNE JAVANICA NA CULTURA DA SOJA COM CROTALARIAS**. Uberlândia – MG. 7 p. Disponível em: <file:///F:/Tcc-%20refer%C3%AAncias/ManejoMeloidogyneJavanica.pdf>. Acesso em: 17 out. 2020.

MOREIRA, RODRIGO SANTOS et al. **AIR-DRYING PRETREATMENT EFFECT ON SOIL ENZYMATIC ACTIVITY**. *Plant Soil Environ.*, Campinas-SP, v. 63, n. 1, p. 29-33, 2017. Disponível em: https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/656_2016-PSE.pdf. Acesso em: 08 mar. 2021.

NOGUEIRA, M. A.; MELO, W. J. **ENXOFRE DISPONÍVEL PARA A SOJA E ATIVIDADE DE ARYLSULFATASE EM SOLO TRATADO COM GESSO AGRÍCOLA**. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa- Mg, v. 27, n. 4, p. 655-663, ago. 2003. Disponível em: <file:///F:/Tcc-%20refer%C3%AAncias/a10v27n4.pdf>. Acesso em: 17 out. 2020.

SILVA, EDSON CABRAL DA ET AL. **APROVEITAMENTO DO NITROGÊNIO DA**

CROTALÁRIA E DO MILHETO PELO MILHO SOB PLANTIO DIRETO EM LATOSSOLO VERMELHO DE CERRADO. **Ciência Rural**, Santa Maria - RS, v. 36, n. 3, p. 739-746, jun. 2006. Disponível: <file:///F:/Tcc%20refer%C3%A4ncias/a04v36n3.pdf>. Acesso em: 17 out. 2020.

SOUZA, DJALMA MARTINHÃO GOMES. **DETERMINAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA FACILMENTE OXIDÁVEL EM AMOSTRAS DE SOLO POR EXTRAÇÃO COM DICROMATO DE POTÁSSIO EM MEIO ÁCIDO**. Embrapa Cerrados. 8 p.

SOUZA, LEANDRO MORAES. **ATRIBUTOS QUÍMICOS, FÍSICOS E BIOLÓGICOS, ESTRUTURA DE COMUNIDADES BACTERIANAS E QUALIDADE DE SOLOS DE CERRADO SOB PLANTIO DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL**. 2011. 203 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília- DF, 2011. Disponível em: <file:///F:/Tcc-%20refer%C3%A4ncias/LEANDRO.pdf>. Acesso em: 17 out. 2020.

TEÓRICOS E PRÁTICOS. Concórdia: Embrapa Cerrados, 2018. 24 p. (Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 38).

VEZZANI, FABIANE MACHADO; MIELNICZUK, JOÃO. **UMA VISÃO SOBRE QUALIDADE DO SOLO**. Revista Brasileira Ciência do Solo, Viçosa- MG, v. 33, n. 4, p. 745-756, ago. 2009. Disponível em: <file:///F:/Tcc-%20refer%C3%A4ncias/01.pdf>. Acesso em: 17 out. 2020.

WALLENSTEIN, MATTHEW D.; BURNS, RICHARD G. **ECOLOGY OF EXTRACELLULAR ENZYME ACTIVITIES AND ORGANIC MATTER DEGRADATION IN SOIL: A COMPLEX COMMUNITY-DRIVEN PROCESS**. In: DICK, Richard P.; BURNS, Richard G. *Methods of Soil Enzymology: methods of soil enzymology*. 9. ed. EUA: Copyright, 2011. Cap. 2. p. 35-55.

8 ANEXOS

Tabela 3: Análise de micronutrientes do solo das duas áreas experimentais na camada de 0 a 10 cm.

Experimentos	B mg dm ⁻³	Cu mg dm ⁻³	Fe mg dm ⁻³	Mn mg dm ⁻³	B mg dm ⁻³
Área Solos	0,20	0,36	86	7,0	3,58
Área Inova	0,16	0,29	78	8,4	4,45

Figura 4: Fertigrama do solo realizado a partir da análise química da Área Solos.

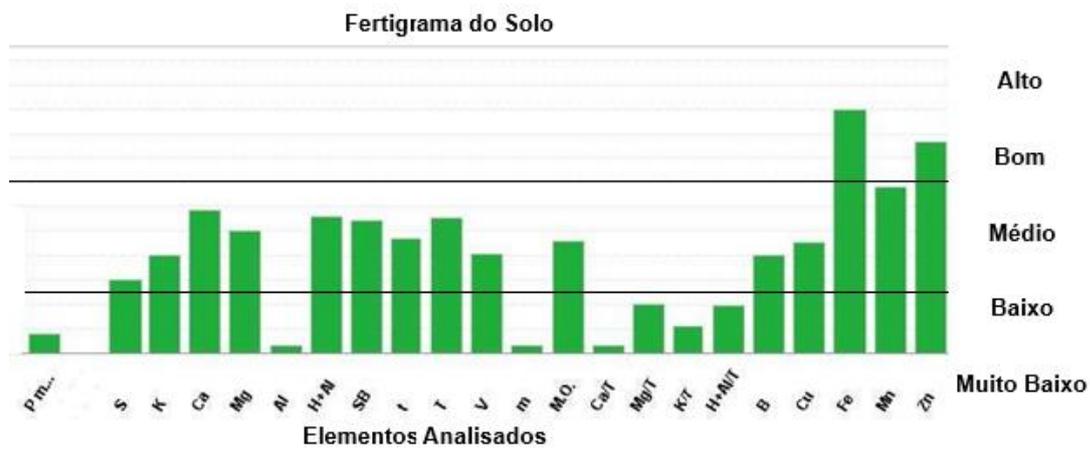


Figura 4: Fertigrama do solo realizado a partir da análise química da Área Solos.

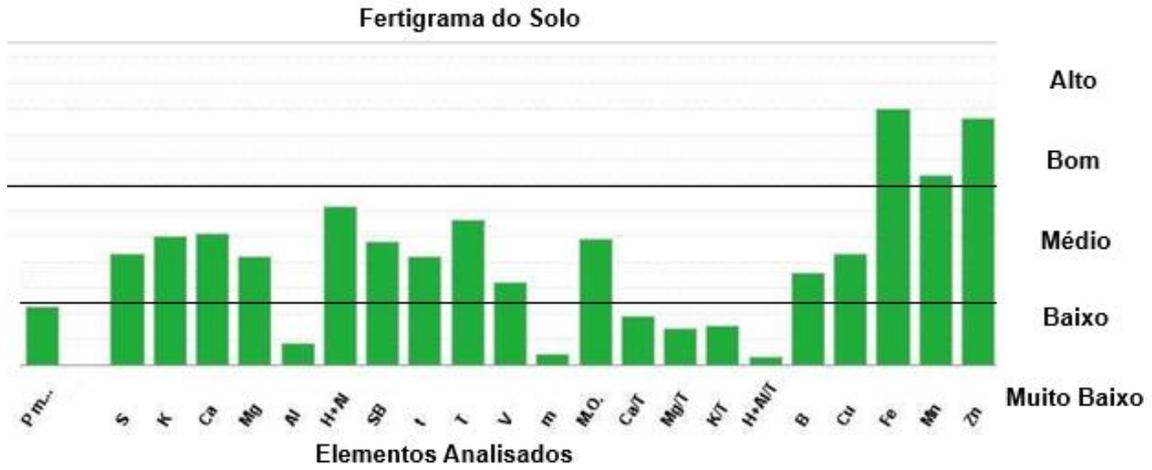


Figura 5: Fertigrama do solo realizado a partir da análise química da Área Inova.