



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
Câmpus de Ciências Exatas e Tecnológicas
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais do Cerrado

VALÉRIA RODRIGUES DE SOUSA

**EFEITO DA PROFUNDIDADE SOBRE A ATIVIDADE DE ENZIMAS DE SOLO
COM CULTURAS AGRÍCOLAS EM GOIÁS**

Anápolis

2017

VALÉRIA RODRIGUES DE SOUSA

**EFEITO DA PROFUNDIDADE SOBRE A ATIVIDADE DE ENZIMAS DE SOLO
COM CULTURAS AGRÍCOLAS EM GOIÁS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos Naturais do Cerrado, da Universidade Estadual de Goiás para a obtenção do título de Mestre em Recursos Naturais do Cerrado

Orientadora: Profa. Dra. Samantha Salomão Caramori

Anápolis

2017

Sousa, Valéria Rodrigues de.

Efeito da profundidade sobre a atividade de enzimas de solo com culturas agrícolas em Goiás / Valéria Rodrigues de Sousa. – 2017. 73f.: figs. tabs.

Orientador: Prof^a. Dra. Samantha Salomão Caramori.

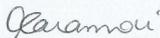
Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Goiás, Câmpus de Ciências Exatas e Tecnológicas, 2017.

Bibliografia

VALÉRIA RODRIGUES DE SOUSA

EFEITO DA PROFUNDIDADE SOBRE A
ATIVIDADE DE ENZIMAS DE SOLO COM
CULTURAS AGRÍCOLAS EM GOIÁS

Dissertação defendida no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Recursos
Naturais do Cerrado da Universidade Estadual de Goiás,
para a obtenção do grau de Mestre, aprovada em 21 de fevereiro de 2017, pela
Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:


Prof. Dr.ª Samantha Salomão Caramori
Presidente da banca
Universidade Estadual de Goiás


Prof. Dr.ª Valdirene Neves Monteiro
Membro externo
Universidade Estadual de Goiás


Prof. Dr. Flávio Marques Lopes
Membro interno
Universidade Federal de Goiás

Dedico aos meus pais, ao meu irmão e ao meu esposo que foram meus companheiros nesta jornada, me apoiaram e incentivaram.

A vocês todo meu carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela graça concedida, pela saúde, sabedoria, confiança e persistência, para que eu pudesse concluir mais uma etapa de formação profissional.

À minha orientadora Dra. Samantha Salomão Caramori, pelo companheirismo e compreensão, pelos ensinamentos tão ricos, não só profissionais, mas também como pessoa humana que é. Pela dedicação a mim concedida, pela paciência, pelo exemplo de profissional. Pela amizade e conselhos mui valiosos, meu muito obrigada!

Aos meus pais e meu irmão, pelo amor, compreensão, pelas orações e todo carinho e incentivo nos momentos difíceis. Ao meu esposo, pelo amor, paciência, companheirismo, compreensão. Pelos incentivos nos momentos de dificuldades ao longo desses dois anos. Pela motivação a mim concedida, pelo encorajamento e incentivo nas horas mais difíceis. Pela ajuda nas coletas.

À Leciana pelo conhecimento a mim transmitido, pelo encorajamento, pelo incentivo a mim repassado, pela paciência. Um exemplo de dedicação e profissionalismo, que será sempre lembrada por aqueles que conviveram com você. À Thâmara, pela paciência, compreensão, conselhos e ensinamentos. À Janaína e Milena, pelo apoio na realização de parte dos experimentos. Ao meu aluno José Elias pelo apoio em parte dos experimentos. Muito obrigada!

A todos os proprietários rurais e Usinas de Açúcar e Álcool, pela concessão do material de estudo.

Ao meu colega Marcos, motorista da UEG Câmpus CCET, pela parceria nas coletas, pelos conselhos e incentivos ao longo das nossas viagens.

Aos professores do RENAC, pelo conhecimento transmitido ao longo das disciplinas do programa.

À FAPEG pela concessão da bolsa de mestrado.

Às minhas colegas de mestrado Nariel, Déborah, Denise e Rogéria pelo companheirismo, compreensão e incentivos. Desejo que cada uma, alcance seus objetivos. Aos demais colegas da minha turma, pela parceria. Às minhas colegas de quarto Nariel e Tatiane, pela força, companheirismo, pelos momentos bons que dividimos em nossa humilde kitnet. À Nariel em especial, pela força, compreensão, incentivos, conselhos e parceria. Aos meus amigos e companheiros de trabalho Astenisa, Gabrielle e Laís pelo apoio e companheirismo.

A todos que contribuíram na realização deste trabalho, muito obrigada!!

“O segredo da vida é o solo, porque do solo dependem as plantas, a água, o clima e nossa vida. Tudo está interligado. Não existe ser humano sadio se o solo não for sadio”

Ana Primavesi

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE TABELAS.....	11
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	12
1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 Objetivo Geral.....	18
2.2 Objetivos Específicos.....	18
3 ARTIGO I.....	19
4 ARTIGO II.....	41
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	69
REFERÊNCIAS.....	70

RESUMO

O estado de Goiás é a unidade da federação que mais representa o bioma Cerrado em sua área, entretanto, seus remanescentes tem diminuído drasticamente com a intensificação da agricultura e pecuária. Mesmo considerando as vantagens econômicas das atividades agrícolas, é sabido que elas ocasionam alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas, afetam a dinâmica de funcionamento do solo, que depende dos mecanismos de transformação da matéria orgânica, mediados pelos microrganismos e enzimas extracelulares. Assim sendo, objetivou-se compreender, por meio da análise da influência da profundidade, a dinâmica de funcionamento dos solos, utilizando o monitoramento da atividade enzimática em áreas de cultivo anual e perene em comparação às áreas de Cerrado nativo. As amostras foram coletadas nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm e 50-100 cm em doze municípios do estado de Goiás. Os solos coletados foram analisados quimicamente para a determinação do teor de matéria orgânica, carbono e nitrogênio orgânico total, assim como dos nutrientes e a capacidade de troca catiônica. Foram dosadas as atividades das enzimas glicina aminopeptidase, alfa e beta glicosidase, fosfatase ácida, protease e urease. Os dados foram analisados por análise de variância (ANOVA *Three-way* e *Two-way*), análise multivariada (MANOVA) e análise de componentes principais (PCA) e as médias foram comparadas em teste *a posteriori* (Teste de Tukey, $p < 0,05$). As propriedades químicas se mostraram menos eficientes na detecção de alterações provenientes dos sistemas de manejo no solo. A enzima α -glicosidase não apresentou atividade para nenhum dos solos amostrados. As enzimas glicina aminopeptidase, β -glicosidase e fosfatase ácida apresentaram menores atividades para as áreas agrícolas em relação ao solo de Cerrado nativo, e quando avaliadas individualmente, observa-se que a maior atividade ocorre até 20 cm de profundidade. As enzimas protease e urease apresentaram valores de atividade significativamente semelhantes entre as culturas em relação ao Cerrado nativo. Porém, quando as enzimas foram avaliadas em conjunto, com o aumento da profundidade do solo há uma diminuição de sua atividade. Sendo assim, a avaliação de diversas enzimas relacionadas à mineralização de diferentes componentes do solo pode ser uma ferramenta eficiente no monitoramento de sua qualidade.

Palavras-chave: Cerrado, qualidade do solo, indicadores biológicos.

ABSTRACT

The state of Goiás is the Brazilian federation unit that most represents the Cerrado biome in its area, although its remnants have dwindled dramatically with the intensification of agriculture and livestock. Even considering the economic advantages of agricultural activities, it is known that they cause changes in the chemical, physical and biological properties, affect the dynamics of soil functioning, which depends on the organic matter transformation mechanisms mediated by microorganisms and extracellular enzymes. The objective of this study was to understand the dynamics of soil functioning by analyzing the influence of depth, using the monitoring of enzymatic activity in annual and perennial cultivation areas in comparison to native Cerrado areas. The samples were collected at depths of 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm and 50-100 cm in 12 municipalities in the state of Goiás. The soils collected were analyzed chemically for the determination of the organic matter content, carbon and total organic nitrogen, as well as nutrients and cation exchange capacity. The activities of the glycine aminopeptidase, alpha and beta glycosidase, acid phosphatase, protease and urease enzymes were also measured. The data were analyzed by analysis of variance (ANOVA Three-way and Two-way), multivariate analysis (MANOVA) and analysis of main components (PCA) and the means were compared and tested a posteriori (Tukey test, $p < 0.05$). The chemical properties were less efficient in the detection of changes from soil management systems. The α -glycosidase enzyme showed no activity for any of the soils sampled. The enzymes glycine aminopeptidase, β -glycosidase and acid phosphatase presented lower activities for the agricultural areas in relation to native Cerrado soil, and when evaluated individually, the highest activity occurs up to 20 cm depth. Protease and urease enzymes showed significantly similar activity values between cultures in relation to the native Cerrado. However, when the enzymes were evaluated together, with increasing soil depth there was a decrease in their activity. Thus, the evaluation of several enzymes related to the mineralization of different soil components can be an efficient tool in monitoring their quality.

Keywords: Cerrado; soil quality; bio-indicators.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

Figura 1 - Atividade da enzima glicina aminopeptidase em solo de vegetação nativa. Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre os períodos, na mesma profundidade. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades, no mesmo período ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).....29

Figura 2 - Atividade da enzima β -glicosidase em solo de vegetação nativa do bioma Cerrado nativo. Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre os períodos, na mesma profundidade. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades, no mesmo período ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).....30

Figura 3 - Atividade da enzima fosfatase ácida em solo de vegetação nativa do bioma Cerrado nativo. Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre os períodos, na mesma profundidade. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades, no mesmo período ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).....31

Figura 4 - Atividade da enzima protease coletados em solo de vegetação nativa do bioma Cerrado nativo. Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre os períodos, na mesma profundidade. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades, no mesmo período ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).....32

Figura 5 - Atividade da enzima urease coletados em solo de vegetação nativa do bioma Cerrado nativo. Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre os períodos, na mesma profundidade. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades, no mesmo período ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).....33

Figura 6 - Análise de componentes principais de variáveis químicas, de atividade enzimática e profundidade de solos coletados no Cerradão, Estado de Goiás. Variáveis químicas: pH; Ca; Mg; Al; P; K; CTC: Capacidade de troca catiônica; SA: Saturação por alumínio; SB: Saturação por base; MO: Matéria orgânica; COT: Carbono orgânico total; CBM: Carbono da biomassa microbiana. Variáveis de atividade enzimática: AM: Glicina aminopeptidase; BT: β -glicosidase; FT: Fosfatase; PT: Protease; UR: Urease. PF: Profundidades. Destaques em vermelho refere-se às enzimas. Destaques em azul às variáveis microbiológicas.....35

ARTIGO II

Figura 1 - Atividade da enzima glicina aminopeptidase em diferentes tipos de uso do solo. A: Algodão e Cerrado nativo; B: Cana-de-açúcar e Cerrado nativo; Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades na mesma cultura. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas nos diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).....54

Figura 2 - Atividade da enzima β -glicosidase em diferentes tipos de uso do solo. A: Algodão e Cerrado nativo; B: Cana-de-açúcar e Cerrado nativo; Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades na mesma cultura. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas nos diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).55

Figura 3 - Atividade da enzima fosfatase ácida em diferentes tipos de uso do solo. A: Algodão e Cerrado nativo; B: Cana-de-açúcar e Cerrado nativo; Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades na mesma cultura. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas nos diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).57

Figura 4 - Atividade da enzima protease coletados em tipos de uso do solo. A: Algodão e Cerrado nativo; B: Cana-de-açúcar e Cerrado nativo; Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades na mesma cultura. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas nos diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).58

Figura 5 - Atividade da enzima urease coletados em tipos de uso do solo. A: Algodão e Cerrado nativo; B: Cana-de-açúcar e Cerrado nativo; Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades na mesma cultura. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas nos diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).....59

Figura 6 - Atividade enzimática de solos coletados em Cerrado nativo e sob cultivo de Algodão e cana-de-açúcar. A: Glicina aminopeptidase; B: β -glicosidase; C: Fosfatase ácida; D: Protease; E: Urease. Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades na mesma cultura. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas nos diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).....62

LISTA DE TABELAS

INTRODUÇÃO

Tabela 1: Principais classes de solos que ocorrem no bioma Cerrado.....13

ARTIGO I

Tabela 1: Localização geográfica dos pontos de amostragem.....23

Tabela 2: Propriedades químicas e carbono da biomassa microbiana das amostras de solos coletados em Cerradão, no estado de Goiás.....27

ARTIGO II

Tabela 1 - Localização geográfica dos pontos de amostragem.....45

Tabela 2 - Características químicas e carbono da biomassa microbiana das amostras de solos coletados na cultura do algodão e Cerrado nativo nas diferentes profundidades, no estado de Goiás.....51

Tabela 3 - Características químicas e carbono da biomassa microbiana das amostras de solos coletados na cultura da cana-de-açúcar e Cerrado nativo nas diferentes profundidades, no estado de Goiás.....52

Tabela 4 - Atividade enzimática total em diferentes tipos de uso do solo, nas diferentes profundidades de solos coletados no estado de Goiás.....63

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AM	Glicina aminopeptidase
BT	β -Glicosidase
CBM	Carbono da Biomassa Microbiana
COT	Carbono Orgânico Total
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
FT	Fosfatase ácida
Kc	Fator de Conversão
MO	Matéria Orgânica
NT	Nitrogênio Total
PCA	Análise de Componentes Principais
PT	Protease
SA	Saturação por Alumínio
SB	Saturação por Base
TCA	Ácido Tricloroacético
UR	Urease

INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado é o segundo maior bioma brasileiro (SANO et al. 2010), superado em território apenas pela Amazônia, porém constantes processos de degradação tem sido motivo de devastação do território. O bioma é considerado como um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade (MYERS, 2001). Sua vegetação apresenta diversas características de formas e fisionomias próprias de cada tipo de vegetação, diferenciando-se em formações florestais, que compreendem o cerradão e as matas de galeria, as formações savânicas, que se referem ao campo sujo, a formação campestre, que engloba o campo limpo e a formação de Cerrado, que é denominado Cerrado *sensu stricto* (RIBEIRO; WALTER, 1998; REATTO; MARTINS, 2005).

Para Reatto et al. (2008) a degradação do solo e dos ecossistemas nativos é considerada a maior ameaça à biodiversidade. Os solos do Cerrado são considerados naturalmente como solos de baixa fertilidade, e por muito tempo foram considerados impróprios para a agricultura. Por esta razão, as atividades agrícolas eram pouco exploradas até os anos 1970, mas a mecanização e o uso de fertilizantes proporcionaram a ocupação de grandes extensões de terra pela agricultura moderna, haja vista a expansão agrícola tanto em áreas de produção quanto de produtividade (EMBRAPA, 2005).

Os solos do bioma Cerrado são considerados solos antigos, possuem boa drenagem e apresentam baixa fertilidade naturalmente e também acidez acentuada (EMBRAPA, 2005). A classificação dos solos para o bioma Cerrado abrange diversos tipos, em que os principais estão representados na Tabela 1.

Tabela 1: Principais classes de solos que ocorrem no bioma Cerrado.

Classe de solo	Ocorrência (%)	Vegetação natural correspondente
Latossolo Vermelho-Amarelo	24,56	Cerradão / Cerrado Denso / Cerrado Típico / Mata Ciliar / Mata de Galeria
Latossolo Vermelho	22,1	Cerradão/Cerrado Denso/Cerrado Típico/Mata Seca
Neossolo Quartzarênico	14,46	Cerradão/Cerrado Denso/Cerrado Ralo/Cerrado Típico
Argissolo Vermelho-Amarelo	7,2	Cerrado Denso/Cerrado Típico
Neossolo Litólico	7,49	Campo Rupestre/Cerrado Rupestre

Argissolo Vermelho	6,46	Mata Seca/Cerradão/Cerrado Denso/Cerrado Típico
Plintossolo Háptico	5,41	Campo Sujo/Parque de Cerrado /Mata de Galeria/Mata Ciliar/Campo Limp/Campo Rupestre/Vereda/Palmeiral/Cerrado Ralo

Fonte: Adaptado de Reatto et al. (2008).

O solo é um componente importante para a atividade agrícola e seu uso e manejo de forma adequada são fundamentais para adoção de práticas alternativas e sustentáveis, das quais precisam de medidas de conservação e estudos apropriados de suas propriedades físicas, químicas e biológicas de forma a permitir a eficiência na produção agrícola. A forma de manutenção destes solos e os diferentes tipos de manejo refletem na sua qualidade (SANT'ANNA, 2007; CUNHA et al. 2008), pois os atributos físicos, químicos e biológicos do solo se inter-relacionam, sendo assim as alterações no solo podem influenciar sua estrutura e atividade biológica (CARNEIRO et al. 2009).

Indicadores de qualidade do solo são atributos capazes de demonstrar a sustentabilidade que compõem este ecossistema (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Dentre os atributos bioquímicos mais destacados estão a biomassa microbiana do solo, que participa da transformação bioquímica de resíduos e compostos orgânicos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2002). O uso de indicadores bioquímicos reflete importante recurso na detecção de alterações no solo que interferem na sua qualidade, e conseguem ser detectados antes mesmo das alterações dos atributos químicos e físicos (SILVA et al. 2009).

Diversos estudos têm demonstrado a eficiência das propriedades bioquímicas para avaliar a qualidade do solo (D'ANDRÉA et al. 2002; ZAGO et al. 2016), desta forma conhecer a atividade das enzimas tem sido um ponto importante de estudos de qualidade de solo, pela sua capacidade em descrever mudanças na qualidade e funcionamento deste ecossistema (SILVA et al. 2009). Sendo assim, conhecer a dinâmica do solo permite a decisão de práticas sustentáveis de forma a melhorar a produção agrícola (SANT'ANNA, 2007).

As enzimas são sintetizadas pela biomassa microbiana e a atividade enzimática pode variar de acordo com as condições em que se encontram, por ventura isto reflete a qualidade destes solos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Como são capazes de detectar alterações no solo, é evidente dizer que podem ser usadas como ferramenta para apontar alterações ambientais oriundas das atividades agrícolas e ainda para compreender o

funcionamento do ecossistema solo (ACOSTA-MARTINÉZ et al. 2014). Mais ainda, as propriedades biológicas são capazes de detectar alterações no solo, antes mesmo de serem percebidas pelas propriedades químicas (NDIAYE et al. 2000).

Dentre as enzimas mais utilizadas como indicadores de qualidade de solos cultivados, tem-se atenção especial às hidrolases que participam do ciclo do carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Destacam-se a α -glicosidase (EC 3.2.1.20, α -D-glicosídeo glicohidrolase) e β -glicosidase (EC. 3.2.1.21, β -D-glicosídeo glicohidrolase) pela sua relação com o ciclo do carbono no solo e a sensibilidade destes indicadores, na detecção de alterações provenientes de atividades agrícolas (TABATABAI, 1977; EIVAZI; TABATABAI, 1988) e são conhecidas como um grupo de enzimas capazes de hidrolisar ligações glicosídicas de resíduos do amido e celulose.

As amilases são importantes para romper as ligações separando o amido, celulose e outros polissacarídeos em dextroses ou mesmo em glicose (GUPTA et al. 2003). A enzima α -glicosidase é uma exoamilase responsável pela hidrólise de ligações glicosídicas α -1,4 da extremidade não redutora de sacarídeos curtos e por liberar unidades de α -D-glicose (VIHINEN; MÄNTSÄLÄ, 1989). As enzimas β -glicosidases são um grupo de enzimas importantes, amplamente distribuídas na natureza, podendo ser encontradas tanto em plantas quanto animais. São comumente encontradas também em solos (BHATIA et al. 2002; MAKOI; NDAKIDEMI, 2008), hidrolisam a ligação β -glicosídica em dissacarídeos, oligossacarídeos e glicosídeos conjugados, tendo como produto final a glicose (BHATIA et al. 2002).

A fosfatase ácida (EC 3.1.3.2) é produzida por diversos organismos, são enzimas capazes de hidrolisar ligações éster-fosfato, ligadas ao ciclo do fósforo, liberando fosfato inorgânico às plantas e microrganismos do solo e entre as fosfatases é amplamente estudada pela relação com a disponibilização de fósforo em solos agrícolas (NANNIPIERI et al. 2011).

A decomposição dos resíduos orgânicos propicia a disponibilidade do fósforo inorgânico para as plantas, sendo a atividade da fosfatase importante fonte de ciclagem de nutriente (GRANT et al. 2001). O mecanismo de transformação do fósforo orgânico em fósforo inorgânico (a forma assimilável pelas plantas) envolve diversos processos de retenção e fixação de partículas a serem solubilizadas no solo, bem como uma série de reações químicas, entre elas a mineralização, imobilização e absorção (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

As proteases (EC 3.4.2) são responsáveis pela hidrólise das ligações amida das proteínas e peptídeos para formar grupo amina (NH_2) e carboxila (COOH) originando fragmentos menores ou aminoácidos livres (BARRET et al. 2001). Assim como diversas outras enzimas de solo, as proteases são produzidas por animais, plantas e microrganismos (RAO et

al. 1998). No solo destacam-se as bactérias e fungos como importantes produtores de proteases (GUPTA et al. 2003). A quebra das ligações peptídicas promove a degradação da proteína disponibilizando os aminoácidos que podem ser reutilizados pelos próprios microrganismos (RAO et al. 1998; ALLISON; VITOUSEK, 2005; RAWLINGS, 2013).

As aminopeptidases (EC 3.4.11) tem sido usadas como indicadores de qualidade do solo pela associação ao ciclo do nitrogênio (ALLISON; VITOUSEK, 2005). São enzimas proteolíticas que realizam hidrólise de ligações peptídicas a partir da extremidade N-terminal da proteína liberando polipeptídios menores, no solo atuam na despolimerização de macromoléculas orgânicas, como forma de produzir peptídeos curtos e aminoácidos livres (BARRET, et al. 2001; SIQUEIRA; MOREIRA, 2006), que serão usados como fonte de nutrientes para os organismos que vivem neste sistema.

As ureases (E.C. 3.5.1.5) são responsáveis por catalisar a reação de hidrólise da ureia, liberando molécula de dióxido de carbono e amônia, são produzidas por plantas, bactérias, fungos, algas e alguns invertebrados. No solo a urease é originada a partir de plantas, microrganismos e alguns grupos de animais (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). Esta enzima tem grande importância na produção agrícola, pois a disponibilização das formas assimiláveis pelas plantas, amoniacal (NH_4^+) e nítrica (NO_3^-), são obtidas a partir da hidrólise da ureia, que é realizada pela enzima urease. A ureia, no entanto, é o fertilizante com maior utilização na agricultura do país (VILLALBA et al. 2014).

A urease tem como função disponibilizar nitrogênio na forma de amônia para os organismos, de forma a contribuir para seu crescimento e o monitoramento da sua atividade é crucial para entender o potencial de conversão do nitrogênio orgânico na sua forma mineral pelos solos (LANNA et al. 2010). Contudo é sabido que a atividade da urease pode ser influenciada por diversos fatores, como tipo de uso do solo, bem como seu manejo, temperatura, pH, matéria orgânica (LONGO; MELO, 2005; CARNEIRO et al. 2008).

Para o Cerrado em especial há pouca informação a respeito da biologia dos solos, principalmente para a atividade enzimática (CARNEIRO et al. 2008). Destacam-se os estudos que demonstram as propriedades de solos cultivados com culturas agrícolas em comparação a áreas de vegetação nativa, como forma de entender a dinâmica de funcionamento desses solos (REIS-JÚNIOR; MENDES, 2007; ZAGO et al. 2016).

No entanto, as informações a respeito do funcionamento destes solos ocorrem nas primeiras camadas, sendo que com o aumento da profundidade se observa diminuição da atividade biológica do solo (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007), afetando a diversidade de microrganismos, que influenciam também a qualidade dos solos. Partindo da premissa de que

é importante conhecer a dinâmica do funcionamento do ecossistema ao longo do perfil do solo, a principal hipótese deste trabalho é que com o aumento da profundidade diminui-se também a atividade enzimática, pois além da respiração do solo ser menor, as práticas de manejo acabam sendo realizadas nas camadas mais superficiais.

Como a necessidade de produção agrícola sempre vem crescendo, é importante relatar a necessidade de se adotar práticas e medidas de conservação do solo por meio de alternativas sustentáveis. Sendo assim, neste trabalho foi avaliada a atividade enzimática de solos sob cultivo anual e perene, sendo um deles por meio de práticas de plantio direto e outro convencional, além de se verificar a influência da profundidade sobre a atividade enzimática.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a atividade de enzimas de solo de Cerrado em áreas de cultivo anual e perene, utilizando como modelo o algodão e a cana-de-açúcar, em diferentes profundidades do solo no estado de Goiás.

2.2 Objetivos específicos

- ❖ Monitorar as reações enzimáticas de α e β -glicosidase, fosfatase ácida, glicina aminopeptidase, protease e urease em diferentes tipos de uso do solo e em diferentes períodos do ano;
- ❖ Analisar efeitos, como profundidade e precipitação no solo influenciam a atividade enzimática;
- ❖ Analisar a composição química de solos cultivados com algodão e cana-de-açúcar.

ARTIGO I – A ser submetido para *Brazilian Journal of Biology*

**AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE BIOLÓGICA E COMPORTAMENTO DAS
VARIÁVEIS QUÍMICAS AO LONGO DO PERFIL DE SOLOS DE CERRADÃO, NO
ESTADO DE GOIÁS**

Sousa, V.R.; Jardim, J.L.; Agra, M.A.; Caramori, S.S.

RESUMO

O Cerrado é considerado o segundo maior bioma brasileiro e está entre um dos *hotspots* para conservação. Tem tido perdas significativas de áreas nativas para inserção de culturas agrícolas, sendo considerado como a nova fronteira agrícola do país. Embora se tenha benefícios econômicos advindos da agricultura, é sabido que as práticas agrícolas provocam alterações nas propriedades químicas e biológicas do solo, afetando a qualidade do solo e conseqüentemente a disponibilidade de nutrientes para as plantas e microrganismos, que dependem da atividade biológica destes solos. Desta forma a atividade das enzimas é também afetada. As enzimas participam da ciclagem de carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre, disponibilizando nutrientes as plantas. No presente estudo buscou-se compreender a dinâmica de funcionamento dos solos de ambiente de vegetação nativa, especificamente pelo monitoramento da atividade enzimática. Amostras de solo de Cerrado nativo do tipo fitofisionômicos de Cerradão foram coletados nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm e 50-100 cm em doze municípios do estado de Goiás. A amostras foram submetidas a análise química para determinação do teor de matéria orgânica, carbono e nitrogênio orgânico total, assim como, nutrientes e capacidade de troca catiônica. O monitoramento da atividade das enzimas β -glicosidase, fosfatase ácida, glicina aminopeptidase, protease e urease foi realizada por meio de diferentes metodologias baseadas na determinação colorimétrica das soluções derivadas da ação das enzimas após incubação dos solos com substratos específicos. Os dados foram analisados por análise de variância (ANOVA *Two-way*) e as médias comparadas em teste a posteriori (Teste de Tukey), o efeito da sazonalidade e das profundidades sobre a atividade enzimática foi considerado significativo para $p < 0,05$. Também foi construída uma análise de componentes principais (PCA) para verificar a relação das propriedades químicas e biológicas das amostras coletadas. As propriedades químicas não apresentaram diferenças significativas entre os períodos de amostragem e profundidades. A enzima Glicina aminopeptidase apresentou menor atividade no período de chuva até a camada 20 cm. também há variação na atividade até a camada 50 cm. A atividade da enzima β -glicosidase e fosfatase ácida não se diferem nos períodos amostrados e também nas diferentes profundidades. Protease e urease se diferem, maiores atividades no período de seca e também até a profundidade 50 cm, isso pode ser pela cobertura vegetal que propicia um microclima, que favorecem a atividade da microbiota no solo. A profundidade interfere na atividade das enzimas de forma negativa, sendo que quanto maior a profundidade menor será a atividade enzimática. A PCA demonstrou relação dos teores de matéria orgânica, nitrogênio, carbono orgânico total, carbono da biomassa microbiana com a atividade enzimática, fato não percebido na análise química. A relação das enzimas com estes fatores demonstra a importância das áreas de vegetação por sua maior diversidade vegetal, contribuem com a qualidade da matéria orgânica, refletindo na atividade dos microrganismos.

Palavras-chave: sazonalidade; enzimas; profundidade do solo.

Biological activity and behavior of chemical variables along the profile of Brazilian mesophytic forest soils, in the state of Goiás

Abstract

The Cerrado is considered the second largest Brazilian biome and is among one of the conservation hotspots. It has had significant losses of native areas for the insertion of agricultural crops, being considered as the new agricultural frontier of the country. Although it has economic benefits from agriculture, it is known that agricultural practices cause changes in the chemical and biological properties of the soil, affecting soil quality and consequently the availability of nutrients to plants and microorganisms, which depend on the biological activity of these soils. In this way the activity of the enzymes is also affected. Enzymes participate in the cycling of carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur, making nutrients available to plants. In the present study we sought to understand the soil dynamics and functioning, from native vegetation areas, based specifically on the monitoring of the enzyme activity. Native Cerrado soil samples of mesophytic forest were collected at depths of 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm and 50-100 cm in 12 municipalities of the state of Goiás. The samples were submitted to chemical analysis for determination of the content of organic matter, carbon and total organic nitrogen, as well as nutrients and cation exchange capacity. Monitoring of activity of the enzymes β -glucosidase, acid phosphatase, glycine aminopeptidase, protease and urease was carried out by means of different methodologies based on the colorimetric determination of the solutions derived from the action of the enzymes after incubation of the soils with specific substrates. The data were analyzed by analysis of variance (ANOVA Two-way) and the means were compared a posteriori (Tukey test), the effect of seasonality and depths on enzymatic activity was considered significant at $p < 0.05$. A principal component analysis (PCA) was also constructed to verify the relationship of the chemical and biological properties of the collected samples. The chemical properties did not show significant differences between sampling periods and depths. The enzyme glycine aminopeptidase showed lower activity in the rainy season until 20 cm depth. There was also variation in activity up to the 50 cm depth. The activity of β -glucosidase and acid phosphatase did not differ in the periods sampled and also in the different depths. Protease and urease differed, greater activities in the dry season and also to depth 50 cm, this may be due to the vegetative cover that provides a microclimate, which favors the activity of the microbiota in the soil. The depth interferes in the enzyme activities in a negative way, and the greater the depth, the lower the enzymatic activity. The PCA showed a relationship of the organic matter, nitrogen, total organic carbon, and the carbon of the microbial biomass with the enzymatic activity, a fact not observed in the chemical analysis. The relation of the enzymes with these factors demonstrates the importance of the vegetation areas due to their greater vegetal diversity, they contribute to the quality of the organic matter, reflecting in the activity of the microorganisms.

Keywords: seasonality; enzymes; soil depth.

1 INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado constitui a segunda maior formação vegetal brasileira, e segundo maior bioma da América do Sul, com cerca de 2.036.448 km², ocupando cerca de 22% do território nacional (SANO et al. 2010; MMA, 2016). É um bioma de grande importância biológica, porém com menor porcentagem de áreas sobre proteção, sendo apenas 8,21% de sua área de vegetação protegidos por unidades de conservação (MMA, 2016).

A ocupação da região do bioma Cerrado ocorreu a partir da década de 1920, ao longo dos anos, a intensificação da agricultura e pecuária na região ocasionou a conversão de cerca de 80 milhões de hectares de áreas de vegetação em áreas agrícolas, dados de 2010, ocasionando perda de 38,9% de sua área de vegetação nativa para ações antrópicas (SANO et al. 2010), sendo assim considerado como fronteira agrícola.

A grande expansão da população humana, os avanços tecnológicos, mecanização intensiva, ocasionaram a fragmentação do bioma, gerando inúmeros problemas ambientais (CUNHA et al. 2008). No estado de Goiás, cerca de 5 milhões de hectares de áreas estão destinadas ao cultivo agrícola, com destaques para a soja, milho, algodão e cana-de-açúcar (SANO et al. 2010).

Um ecossistema sustentável depende da disponibilidade de matéria orgânica na superfície do solo, esta que fornece fluxo de nutrientes como forma de energia para a atividade microbiana, que sustenta a ciclagem de nutrientes de forma a manter a saúde do solo e os microrganismos que ali sobrevivem (SPAGNOLLO, 2004). As áreas de floresta nativa tendem a ser mais equilibradas, assim a ciclagem de nutrientes é mantida por meio da atividade microbiana (NOGUEIRA et al. 2006), assim sendo torna-se importante conhecer a dinâmica da matéria orgânica de solos sob vegetação nativa.

A qualidade dos compostos orgânicos destes ambientes é dependente da diversidade de cobertura vegetal (BADIANE et al. 2001), isto influencia a ciclagem de nutrientes, e também na quantidade de insumos de carbono disponíveis no solo, que são geralmente maiores nos ambientes nativos do que em áreas cultivadas (NOGUEIRA et al. 2006).

O funcionamento do solo depende da interação de diversos fatores bióticos e abióticos, sendo assim perturbações nestes ecossistemas influi na sua sustentabilidade (LACERDA et al. 2013). Alterações ambientais afetam a diversidade microbiana (NOGUEIRA et al. 2006), que tem sido correlacionadas com a sustentabilidade de ambientes agrícolas e florestais em diferentes condições de uso do solo (NOGUEIRA et al. 2006). A matéria orgânica

tem sido utilizada como indicador de qualidade do solo pela sua relação com a disponibilidade de nutrientes para a microbiota do solo e para as plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006), e alterações na sua qualidade e disponibilidade influenciam também as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (LANNA et al. 2010).

Diante disso, a avaliação da biomassa microbiana e também da atividade enzimática do solo são mecanismos importantes na compreensão das mudanças das propriedades orgânicas, conseqüentemente refletem as alterações que possam ser originadas pelas práticas de cultivo (REIS JÚNIOR; MENDES, 2007). A biomassa microbiana do solo consiste no reservatório da parte ativa da matéria orgânica, com atuação na regulação de nutrientes, principalmente no balanço de nitrogênio, fósforo e enxofre (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A liberação dos nutrientes, presentes nos resíduos orgânicos dependem exclusivamente da atividade metabólica dos microrganismos que habitam o solo, sendo estes constituídos de fungos, bactérias, realizando a decomposição da matéria orgânica (ROSCOE et al. 2006; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A avaliação da qualidade do solo pode ser realizada por meio de diferentes propriedades químicas, físicas e biológicas, que participam da ciclagem de nutrientes, sendo muito estudada para descrever o impacto da conversão de áreas vegetais em áreas de cultivo agrícolas (D'ÁNDREA et al. 2002; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007). Essas propriedades são também utilizadas como indicadores de impactos ou da eficiência de iniciativas de recuperação (BADIANE et al. 2001; NOGUEIRA et al. 2006).

A velocidade de decomposição, imobilização e mineralização da matéria orgânica é determinada pela atividade enzimática e que vão refletir o funcionamento do solo (GESSNER et al. 2010). A atividade enzimática tem grande utilização como indicadora de alterações no ecossistema solo, pela sua relação a ciclagem de nutrientes e decomposição da matéria orgânica (CARNEIRO et al. 2008).

Diante da discussão apontada em relação a utilização dos solos do Cerrado para fins agrícolas, é importante ressaltar que as informações a respeito de seu funcionamento se além na detecção de impactos, em virtude da conversão das áreas de vegetação nativa em áreas de cultivo. Pouco se conhece do funcionamento do solo no âmbito das vegetações nativas. Neste aspecto, a proposta deste trabalho foi avaliar a atividade enzimática de solos de ambiente de vegetação nativa, especificamente do tipo Cerradão, sua dinâmica de funcionamento diante da sazonalidade e especificamente avaliar o efeito da profundidade desses solos sobre a atividade enzimática.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de amostragem

O estudo foi realizado em áreas de vegetação nativa, caracterizada pelo tipo fitofisionômico de Cerradão (RIBEIRO; WALTER, 2008). Para a avaliação da atividade biológica dos solos e suas características químicas, foram selecionados 12 ecossistemas naturais, localizados nas regiões centro, sul e leste do Estado de Goiás (Tabela 1). O clima predominante da região é classificado como tipo Aw, segundo a classificação de Köpen, que corresponde ao clima tropical chuvoso. Os dados referentes a temperatura e precipitação foram obtidos para cada ponto de coleta através da plataforma CLIMATE-DATA e estão discriminados na Tabela 1.

Tabela 1: Localização geográfica dos pontos de amostragem.

Pontos de Amostragem	T* (°C)	Precipitação (mm ano ⁻¹)	Coordenada geográfica	
			Latitude	Longitude
Palmeiras	24,0	1457	16°48'30,0"	49°52'31,1"
Turvelândia	24,7	1468	17°49'13,7"	50°18'56,9"
Santa Helena	24,3	1539	17°52'28,0"	50°33'07,7"
Itapirapuã	25,6	1575	15°33'48,7"	50°38'13,4"
Matrinchã	25,7	1525	15°28'42,3"	50°40'27,3"
Cristalina	20,1	1422	16°09'56,1"	47°36'59,8"
Inhumas	23,1	1516	16°19'35,6"	49°27'33,4"
Morrinhos	23,3	1368	17°47'40,8"	49°12'01,0"
Itumbiara	24,6	1119	18°30'25,3"	49°22'07,9"
Anicuns	23,6	1535	16°24'34,9"	49°54'31,1"
Goiatuba	23,0	1369	18°05'06,3"	49°39'30,4"
Edeia	24,1	1423	17°37'43,8"	50°11'59,8"

*T: Temperatura (Climate-data, 2016)

2.2. Amostragem do solo

As coletas de solo para análises químicas e biológicas foram realizadas nos períodos de janeiro/2016 a março/2016 (período de chuva) e nos meses de junho/2016 e julho/2016 (período de seca). Os solos foram coletados, com o auxílio de um trado para amostra deformada, em quatro profundidades diferentes: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm e 50-100 cm. Este procedimento foi repetido três vezes em cada ponto de coleta, para que as subamostras de cada profundidade fossem reunidas para constituírem amostras compostas.

Após transportadas ao laboratório, as amostras foram homogeneizadas e tamisadas (2 mm) para remoção de impurezas (galhos, raízes e cascalhos), posteriormente foram armazenadas em sacos de polietileno a 4 °C. Para cada amostra foi determinado o teor de umidade, por meio da secagem de 5 g de solo, em estufa a 105 °C, por 24 h. A atividade das enzimas foi testada em até 15 dias após as coletas, utilizando-se como referência a massa seca do solo.

2.3. Análise química do solo

As propriedades químicas do solo foram mensuradas logo após o período da coleta, por laboratório especializado. Foram determinados o pH, os teores de nutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , K^+ e P), saturação por alumínio (SA), saturação por base (SB), matéria orgânica (MO), carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) utilizando a metodologia da Embrapa (1997).

2.4. Atividade biológica do solo

2.4.1. Ensaio enzimáticos

Foram avaliadas as atividades de cinco enzimas extracelulares que se relacionam com o ciclo do nitrogênio (glicina aminopeptidase, protease e urease), carbono (β -glicosidase) e fósforo (fosfatase ácida). As atividades das enzimas foram mensuradas em triplicata, utilizando-se métodos colorimétricos com substratos específicos para cada enzima avaliada.

A atividade de glicina aminopeptidase (EC 3.4.11) foi determinada utilizando-se da metodologia descrita por Allisson e Vitousek (2005), expressa em μmol de *p*-nitroanilina $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$. As atividades de β -glicosidase (EC 3.2.1.21) e fosfatase ácida (EC 3.1.3.2) foram mensuradas conforme metodologia proposta por Baldrian et al. (2005), que consiste na quantificação de *p*-nitrofenol após a incubação dos solos com os substratos específicos (*p*-nitrofenil- β -D-glicopiranosídeo e *p*-nitrofenilfosfato) a 40 °C por 1 h. A atividade enzimática foi expressa em μmol de *p*-nitrofenol $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$. A determinação de protease (EC 3.4.2.21) ocorreu segundo a metodologia descrita por Ladeira et al. (2010) e a atividade foi expressa em $\text{U g}^{-1} \text{h}^{-1}$. A atividade da enzima urease foi determinada pelo método colorimétrico descrito por Sousa (2014) e a atividade foi expressa em $\mu\text{mol N}$ hidrolisado $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$.

A atividade enzimática, exceto a protease, foi obtida com base no gráfico de calibração e expressa em micromol de produto formado por grama de massa seca de solo, por hora de reação (μmol de produto $\text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$). A atividade de protease foi expressa em unidade de enzima (U) por grama de solo por hora de reação ($\text{U g}^{-1} \text{h}^{-1}$), que se refere a quantidade de enzima necessária para produzir um aumento igual a 0,1 na absorbância a 420 nm, após 60 min de ensaio (LADEIRA et al. 2010).

A determinação de carbono da biomassa microbiana (CBM) baseou-se na quantificação de carbono segundo a metodologia de irradiação-incubação proposta por Ferreira et al. (1999). Foram feitas triplicatas para cada amostra de solo e a quantificação da respiração microbiana foi obtida pela quantidade de CO_2 liberado de cada amostra através da titulação com HCl (1 mol L^{-1}). Os resultados foram expressos em microgramas de carbono por grama de solo ($\mu\text{g C g}^{-1}$) e calculados mediante diferença entre as amostras irradiadas e não irradiadas utilizando o fator de conversão (kc) de 0,45 (DE-POLLI; GUERRA, 1996).

2.5 Análises estatísticas

Os dados de atividade enzimática foram analisados por meio de uma ANOVA fator duplo (*Two-way ANOVA*) e teste a posteriori (Teste de Tukey) considerando $p < 0,05$, para verificar a influência da sazonalidade e das diferentes profundidades para cada enzima avaliada. Essas análises foram realizadas utilizando os programas estatísticos Assistat versão 7.7 (Silva, 2009) e os gráficos foram plotados pelo programa Sigmaplot versão 12.0. Uma Análise de Componente Principais (PCA) foi construída para comparar as propriedades químicas e atividade enzimática dos solos amostrados nas diferentes profundidades, com base na matriz de correlação das variáveis, com uso do programa *Statistica 7.0* (STATSOFT, 2005). Os dados das variáveis foram previamente transformados em $\log(x + 1)$, devido as unidades de medidas diferenciadas. Para o componente principal foi construído um círculo de autovetores das variáveis e o diagrama de ordenação das variáveis para os dois primeiros componentes, representados pelos eixos x e y.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Propriedades químicas do solo

As amostras de solos coletados nos ambientes de Cerradão não apresentaram diferenças nas propriedades químicas analisadas em relação a influência dos períodos de amostragem e também sob o efeito da profundidade (Tabela 2). Haja vista que os solos coletados se referem a áreas de vegetação nativa e que, portanto, não estão sob impacto de atividade humana, é possível afirmar que são áreas de equilíbrio e que mantem a atividade dos microrganismos de forma diversificada.

O solo presente na área coletada continha a fitofisionomia Cerradão, cujos solos são caracterizados como de média e baixa fertilidade e ligeiramente ácidos (RIBEIRO; WALTER, 2008). A acidez está relacionada com o pH do solo, este está também relacionado com a fertilidade dos solos, que são menores em áreas de vegetação nativa, do que em áreas cultivadas, em virtude do processo de correção realizados nas áreas agrícolas.

Outra característica das áreas de amostragens deste estudo, é que os solos do bioma Cerrado apresentam teores de alumínio mais elevados que outros solos, o que acaba sendo uma característica que interfere na produtividade destes solos, sendo necessários manejos para a inserção de culturas não nativas da região.

Embora não apresentou diferenças significativas entre os parâmetros químicos, porém há oscilações entre os períodos de chuva e seca para alguns destes elementos como, o cálcio com variação de 1,6 a 5,8 na chuva e de 1,3 a 2,8 na seca. Os teores de carbono da biomassa microbiana variaram de 15,9 a 38,1 na chuva e de 10,5 a 31,0 na seca. A matéria orgânica com variação de 1,8 a 4,4 na chuva e de 1,4 a 3,0 na seca. Pode ser que a variação do fator profundidade pode ter sido maior que o fator sazonalidade, o que não permitiu verificar variações significativas entre os perfis do solo.

Embora fosse esperado que houvesse variação em alguns dos minerais analisados ao longo das profundidades, os resultados demonstram que a análise química não conseguiu mostrar variação nas diferentes camadas. É importante relatar que em alguns estudos a análise da atividade biológica se mostrou mais eficiente na detecção de alteração no solo que não foram percebidas pela análise das propriedades químicas (NDIAYE et al. 2000).

Tabela 2: Propriedades químicas e carbono da biomassa microbiana das amostras de solos coletados no Cerradão, no estado de Goiás.

Parâmetros químicos do solo	Sazonalidade							
	Chuva				Seca			
	0-10	10-20	20-50	50-100	0-10	10-20	20-50	50-100
pH	5,0±0,6	4,7±0,4	5,0±0,5	4,6±0,5	4,7±0,4	4,7±0,4	4,7±0,6	4,6±0,5
Ca⁺cmolc/dm⁻³	4,7±3,0	1,6±2,5	5,8±1,6	2,4±1,6	2,6±3,8	1,3±2,8	2,8±2,5	1,9±2,5
Mg⁺ cmolc/dm⁻³	1,6±0,9	0,6±0,9	2,2±0,6	0,8±0,9	0,8±1,0	0,6±1,0	1,0±0,7	0,5±0,5
Al	0,2±0,3	0,3±0,4	0,04±0,5	0,17±0,3	0,3±0,1	0,1±0,2	0,1±0,2	0,08±0,1
CTC	10,8±3,4	5,8±3,6	12,4±2,5	7,6±2,9	7,7±4,1	5,1±3,9	8,4±3,3	6,1±3,7
P (Melich I) cmolc/dm⁻³	6,5±8,3	2,5±11,2	3,9±1,3	1,7±1,0	6,0±2,5	2,5±1,3	2,5±1,1	1,6±0,7
K⁺ cmolc/dm⁻³	0,3±0,2	0,2±0,2	0,3±0,2	0,2±0,2	0,3±0,1	0,2±0,1	0,3±0,1	0,2±0,2
MO %	4,4±1,6	1,8±0,9	4,4±0,6	2,06±0,9	3,0±1,5	1,5±1,3	2,9±0,7	1,4±0,6
SA	6,2±10,3	15,9±17,1	2,5±22,1	12,5±15,0	15,4±6,3	9,0±10,2	8,0±13,3	9,1±10,5
SB	58,6±19,7	38,0±18,6	60,5±18,1	40,0±19,4	42,4±21,8	37,1±20,3	44,0±25,4	36,5±23,2
NT %	0,2±0,1	0,09±0,0	0,2±0,0	0,1±0,0	0,1±0,1	0,07±0,1	0,1±0,0	0,07±0,0
COT %	2,5±0,9	1,0±0,5	2,5±0,4	1,2±0,5	1,7±0,9	0,9±0,8	1,7±0,4	0,8±0,3
CBM (µg g⁻¹ de C)	24,5±28,5	15,9±13,6	38,1±9,2	29,9±8,7	19,4±32,4	10,5±24,9	29,9±38,9	31,0±23,5

Valores não apresentaram diferenças entre as variáveis analisadas ($p > 0,05$). CTC: capacidade de troca catiônica; MO: matéria orgânica; SA: saturação por alumínio; SB: saturação por base; NT: nitrogênio total; COT: carbono orgânico total; CBM: carbono da biomassa microbiana.

3.2. Influência da sazonalidade na atividade das enzimas

A atividade enzimática é uma medida importante para compreender o funcionamento do ecossistema, pois se baseia na atividade de microrganismos que estão presentes nestes solos, portanto apontam alterações de impacto que possam ocorrer nestes ambientes.

A análise bioquímica das amostras de solos coletados em áreas de vegetação nativa indicou haver diferenças entre os períodos de análise (chuva e seca) na atividade das enzimas glicina aminopeptidase, protease e urease (Figs. 1, 4 e 5), entretanto, as demais enzimas parecem não ser influenciadas pela variável ambiental.

Para a enzima glicina aminopeptidase observa-se que a atividade foi maior no período da seca, até a camada 50 cm (Fig. 1). Quando avaliada a influência da profundidade na atividade da enzima, tem-se que no período de seca há também uma variação até a camada de 50 cm (Fig. 1), sendo os valores até esta camada $89,2 \mu\text{mol de } p\text{-nitroanilina g}^{-1} \text{ h}^{-1}$ e a camada posterior $2,8 \mu\text{mol de } p\text{-nitroanilina g}^{-1} \text{ h}^{-1}$. A partir de 50 cm de profundidade não se observa mais o decaimento acentuado na atividade da enzima.

O aumento da profundidade acarreta diminuição da oxigenação do solo, influenciando a redução do nível de respiração do solo e na diversidade de microrganismos, e isto afeta a atividade enzimática (BABUJIA, 2010). A porosidade do solo é afetada pelo tipo de manejo, sendo as áreas de Cerrado menos afetada justamente pela não interferência antrópica (CARNEIRO et al. 2008), isto reflete na capacidade de dissolução de nutrientes ao longo do perfil do solo, como observado até a camada de 50 cm. Embora a matéria orgânica não tenha se diferenciado estatisticamente, porém há diminuição destes teores ao longo do perfil do solo, esta se relaciona também com a compactação do solo, sendo quanto mais compacto, maior dificuldade de diluição de nutrientes para as camadas mais profundas.

Já para o período da chuva não se observa variação na atividade enzimática ao longo do perfil do solo (Fig. 1). O período de coleta referente à chuva ocorreu nos meses de maior pluviosidade, com isto ocorre maior diluição dos nutrientes da matéria orgânica do solo que acabam sendo lixiviados (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006) ocasionando atividades mais baixas para o período.

A maior atividade relatada para o período de seca deve se ao fato de que as coletas foram efetuadas antes do período clímax de seca, o que acabou beneficiando a atividade microbiana. Cabe ressaltar que nas áreas coletadas há a fitofisionomia de Cerradão, que compõem boa parte de espécies caducifólias, com isso os solos recebem incrementos de

resíduos orgânicos, oriundos das folhas que ocorrem justamente nos períodos de seca (RIBEIRO; WALTER, 2008). Isto se justifica pela maior atividade encontrada nos períodos de seca para a enzima avaliada neste trabalho.

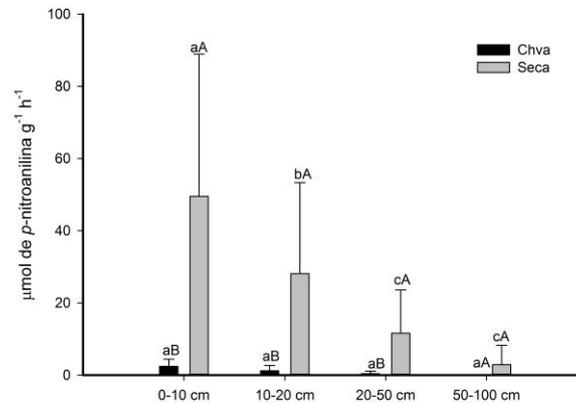


Figura 1 - Atividade da enzima glicina aminopeptidase em solo de vegetação nativa. Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre os períodos, na mesma profundidade. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades, no mesmo período ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).

Para a enzima β -glicosidase não se observa influência direta da sazonalidade, nem mesmo a influência da profundidade (Fig. 2), indicando que estas variáveis não interferem no funcionamento dos solos analisados. O fato de não apresentarem diferença estatística entre os períodos avaliados reflete a manutenção da serapilheira, ou seja, as folhas que caem sobre o solo ficam disponíveis as plantas ao longo do ano, fato característico da área amostrada.

O ambiente de Cerradão, constituído de espécies arbóreas que formam dossel contínuo, com formação de estrato arbustivo e herbáceo que contribuem na diversidade de vegetação sobre o solo (RIBEIRO; WALTER, 2008), criando condições propícias a atividade de microrganismos pela manutenção da matéria orgânica. As espécies desta fitofisionomia apresentam características semidecíduas perdendo suas folhas na estação seca estas, no entanto agregam a matéria orgânica, disponibilizando nutrientes as plantas.

No entanto, a β -glicosidase é uma enzima importante do ciclo do carbono, com atuação na decomposição da celulose, por isso é dependente da matéria orgânica que é fonte de energia para os microrganismos (BHATIA et al. 2002), sendo assim a não diferenciação estatística se justifica também pela análise química, pois não houve diferenças entre os teores de matéria orgânica (Tabela 01). Desta forma é importante relatar a necessidade de manutenção dos ecossistemas naturais.

A diversidade de espécies vegetais encontradas nos ecossistemas de vegetação nativa, contribuem com maior deposição de substratos orgânicos de composição variada na

serapilheira, o que favorece o desenvolvimento de variados grupos de microrganismos no solo (D'ANDRÉA et al. 2002). Cabe ressaltar que espécies nativas tendem a manter a estrutura química do solo e que espécies exóticas alteram as propriedades químicas, de forma a intervir no funcionamento do ecossistema (NOGUEIRA et al. 2006).

As camadas do solo não se diferenciaram na atividade enzimática, o que pode ser indicativo de equilíbrio entre a diversidade de microrganismos ao longo do perfil do solo, ou seja, como as áreas de vegetação nativa são ambientes diversos em cobertura vegetal e propícios a maior diversidade de comunidades de microrganismos, pelo fato do menor impacto antrópico nestes ambientes, propiciando maior diversidade também nas camadas mais profundas (BABUJIA, 2010), pela presença de matéria orgânica também maior nestas camadas, quando correlacionadas aos sistemas de cultivo.

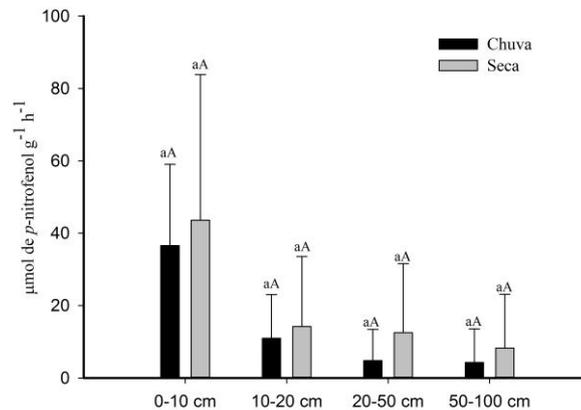


Figura 2 - Atividade da enzima β -glicosidase em solo de vegetação nativa do bioma Cerrado nativo. Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre os períodos, na mesma profundidade. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades, no mesmo período ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).

Para a enzima fosfatase ácida a atividade enzimática não se diferenciou entre os períodos de chuva e seca (Fig. 3), com valores de atividade de $56,6 \mu\text{mol } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$; $74,5 \mu\text{mol } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$). As profundidades também não se mostraram fator de influência na atividade da enzima, não variando a atividade ao longo do perfil do solo (Fig. 3).

Cabe ressaltar que espécies nativas tende a manter a estrutura química do solo, sendo que espécies exóticas alteram as propriedades químicas, de forma a intervir no funcionamento do ecossistema (NOGUEIRA et al. 2006). A diversidade de espécies vegetais encontradas nos ecossistemas de vegetação nativa, contribuem com maior deposição de substratos orgânicos de composição variada na serapilheira, o que favorece o desenvolvimento de variados grupos de microrganismos no solo (D'ANDRÉA et al. 2002).

O fato de não apresentarem diferença estatística entre os períodos avaliados reflete a manutenção da serapilheira, ou seja, as folhas que caem sobre o solo ficam disponíveis as plantas ao longo do ano. O ambiente de Cerradão, constituído de espécies arbóreas que formam dossel contínuo, com formação de estrato arbustivo e herbáceo que contribuem na diversidade de vegetação sobre o solo (RIBEIRO; WALTER, 2008), criando condições propícias a atividade de microrganismos pela manutenção da matéria orgânica. As espécies desta fitofisionomia apresentam características semidecíduas perdendo suas folhas na estação seca estas, no entanto agregam a matéria orgânica, disponibilizando nutrientes as plantas.

A atividade de fosfatase é influenciada pela disponibilidade de fósforo orgânico presente no solo, pois sua atividade está na mineralização do fósforo orgânico em fósforo inorgânico para disponibilizá-lo as plantas, por isso sua atividade no Cerrado nativo é geralmente maior do que em áreas agrícolas. Porém, como a análise se deu apenas em áreas de vegetação nativa, presume-se que a disponibilidade de fósforo inorgânico ao longo das profundidades do solo, mantem-se em equilíbrio, por se tratar de áreas que não recebem fertilizantes (ESPOSITO; AZEVEDO, 2004), fato foi também observado na análise química (Tabela 2) que os teores de fósforo não se diferenciaram em relação aos períodos de amostragem e profundidades avaliadas.

A disponibilidade de matéria orgânica presente nas áreas de vegetação nativa propicia a atividade da enzima, pois a baixa disponibilidade de fósforo inorgânico em seus solos favorece a mineralização do fósforo orgânico presente na matéria orgânica. Assim é importante a preservação das áreas de vegetação nativa, pois a matéria orgânica é a principal fonte de nutrientes para as plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

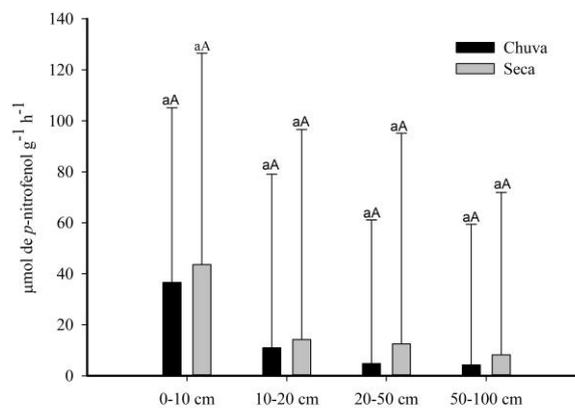


Figura 3 - Atividade da enzima fosfatase ácida em solo de vegetação nativa do bioma Cerrado nativo. Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre os períodos, na mesma profundidade. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades, no mesmo período ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).

A atividade da enzima protease apresentou variações na atividade avaliadas para os diferentes períodos de amostragem, com maiores valores para o período de seca ($0,07 \text{ U g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e menor valor para o período chuva ($0,01 \text{ U g}^{-1} \text{ h}^{-1}$), isto para a primeira camada (Fig. 4). Nas demais camadas não se observa diferenças na atividade da protease. A variável profundidade também não se mostrou forte influência na atividade da enzima, percebe-se que apenas no período de seca há variação da atividade da camada 0-10 cm ($0,07 \text{ U g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) para as demais camadas ($0,01 \text{ U g}^{-1} \text{ h}^{-1}$; $0,02 \text{ U g}^{-1} \text{ h}^{-1}$; $0,05 \text{ U g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente) (Fig. 4), ou seja, a partir desta camada não se observa variação na atividade.

O período de coleta e a profundidade se mostraram variáveis de influência na atividade da enzima, fato este também relatado também por Silva e Melo (2004), que observaram variação na atividade da protease em relação aos períodos de amostragens e também variação ao longo das profundidades.

A matéria orgânica contribui na atividade da protease (KANDELER et al. 1999), por isso se justifica a diferenciação da atividade da enzima na primeira camada do solo, pois é onde geralmente ocorre maior acúmulo de matéria orgânica. No entanto, se observa que os valores de atividade foram relativamente baixos, o que pode ser resultado de influências de outros fatores não avaliados neste estudo. Por isto é importante relatar a necessidade de mais estudos com a enzima na tentativa de compreender os mecanismos que regulam a atividade da protease do solo e qual seu papel na disponibilização de nitrogênio no solo.

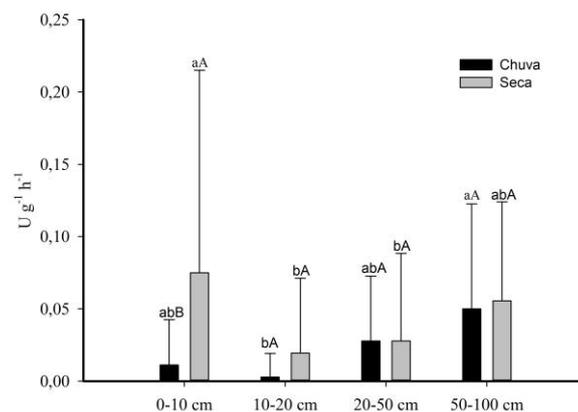


Figura 4 - Atividade da enzima protease coletados em solo de vegetação nativa do bioma Cerrado nativo. Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre os períodos, na mesma profundidade. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades, no mesmo período ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).

A atividade da enzima urease apresentou diferenças quanto a variável sazonalidade, com maiores valores de atividade observadas para o período de seca ($594,9 \mu\text{mol de N-NH}_4^+ \text{ mL}^{-1}$) e menores valores para o período de chuva ($99,0 \mu\text{mol de N-NH}_4^+ \text{ mL}^{-1}$), apenas até a

camada de 50 cm (Fig. 5). Quanto à variável profundidade, observou-se que com o aumento da profundidade ocorre também diminuição da atividade enzimática, mas esta diferenciação se torna evidente quando se comparam a camada 0-10 cm com a de 50-100 cm do período de seca (Fig. 5). No período de chuva não se observa variações nas diferentes profundidades do solo (Fig. 5). Fatores ambientais como a sazonalidade podem ser determinantes na atividade da urease (TABATABAI, 1977), sendo observados maiores atividades em mata nativa nos períodos de seca (LONGO; MELO, 2005). A enzima urease é responsável pela hidrólise da uréia em dióxido de carbono e amônia, está diretamente relacionada com o nitrogênio mineralizável no solo, portanto a velocidade que ocorre a hidrólise depende do tipo de vegetação e da qualidade da matéria orgânica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; LANNA et al. 2010).

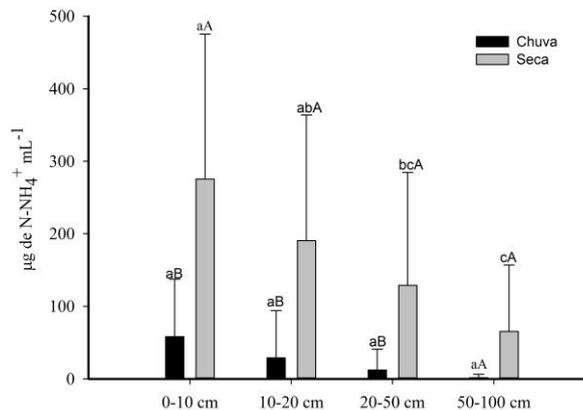


Figura 5 - Atividade da enzima urease coletados em solo de vegetação nativa do bioma Cerrado nativo. Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre os períodos, na mesma profundidade. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades, no mesmo período ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).

3.3. A relação da atividade biológica com os componentes minerais do solo

Observa-se, por meio da análise de componentes principais (PCA), que os componentes principais 1 e 2 juntos explicam 59,39% da correlação da atividade enzimática de glicina aminopeptidase, β -glicosidase, fosfatase ácida e urease com os teores de nitrogênio total, carbono orgânico total e carbono da biomassa microbiana (Fig. 6).

O componente principal 1 explicou 43,58% da variação, sendo caracterizado pela contribuição dos teores de cálcio, magnésio, nitrogênio total, carbono orgânico total, matéria orgânica e capacidade de troca catiônica. O componente principal 2 explicou 15,81% da variação, com contribuição da atividade de glicina aminopeptidase, fosfatase, os teores de

alumínio e a saturação por alumínio, os teores de nitrogênio total, carbono orgânico total e matéria orgânica.

Ao avaliar os componentes químicos isoladamente não se verifica relação destes com a atividade enzimática, porém quando a análise de componentes principais (PCA) é realizada, observa-se a relação como se dá no solo, ou seja, no solo estão atuando em conjunto, o que não é percebido quando isolado, sendo assim necessário a compreensão do que de fato ocorre nestes ecossistemas.

Ao analisar a PCA, tem-se que as áreas de vegetação nativa, com ausência de atividades antrópicas, propiciam a acumulação de resíduos orgânicos que são incorporados à matéria orgânica no solo, pois apresentam relação entre os fatores de acumulação de resíduos, que influenciam na disponibilidade de nutrientes que são disponibilizados aos microrganismos. Outro fator de contribuição se deve a presença de espécies vegetais que com seu sistema rizosférico geram maior disponibilidade de substratos (ZHU et al. 2014) que podem ser fornecidos às enzimas.

A disponibilidade de substratos diferenciados estimula a atividade microbiana (GRAYSTON et al. 1998) e isto influi na relação entre a atividade das enzimas relacionadas a matéria orgânica e carbono orgânico total do solo, gerando equilíbrio no ecossistema solo, o que favorece a ciclagem de nutrientes. Silva et al. (2012) ao analisar os atributos biológicos de solos de áreas agrícolas, florestais e de pastagens, demonstrou por meio da análise de componentes principais que as áreas de florestas em estágios de sucessão estão mais correlacionadas com os atributos biológicos do solo do que áreas de cultivo agrícola. Desta forma, ressalta-se a importância das áreas de vegetação nativas na sustentabilidade do solo.

Pode-se perceber na PCA que as enzimas citadas anteriormente se relacionam ainda com a capacidade de troca catiônica (Fig. 6), que reflete a capacidade de troca de bases com a solução do solo e isto interfere na fertilidade, sendo esta uma variável usada na distinção de fertilidade dos solos (REATTO et al. 2008). A capacidade de troca catiônica participa na liberação de nutrientes na solução do solo e isto se relaciona com a atividade enzimática, auxiliando na qualidade dos solos.

A análise dos componentes principais não mostrou relação da atividade enzimática avaliada, com o fator profundidade (Fig. 6), desta forma, confirma-se a hipótese de que com o aumento da profundidade há diminuição da atividade, isto ocorre principalmente pela baixa respiração do solo, compactação do solo ao longo das profundidades (CARNEIRO et al. 2008; BABUJIA, 2010).

A enzima protease, no entanto, demonstra correlação negativa com o PC 2, e baixa correlação com o PC 1 (0,1), o que pode ser resultado da baixa atividade da enzima, não sendo estes valores suficientes para demonstrar qualquer relação com os demais componentes (Fig. 6). Os baixos valores de atividade desta enzima sugerem que a protease não seja uma boa indicadora de qualidade do solo, ou que existam outros fatores (GEISSELER; HORWATH, 2008), como a microbiota relacionada ao tipo de solo analisado por exemplo que possam afetar sua atividade e que precisam ser mais estudados.

A concentração de alumínio e a saturação por alumínio também se mostrou correlacionada à atividade das enzimas, isto se deve ao fato da característica das áreas de cerrado, pois naturalmente possuem teores mais elevados de alumínio (REATTO et al. 2008).

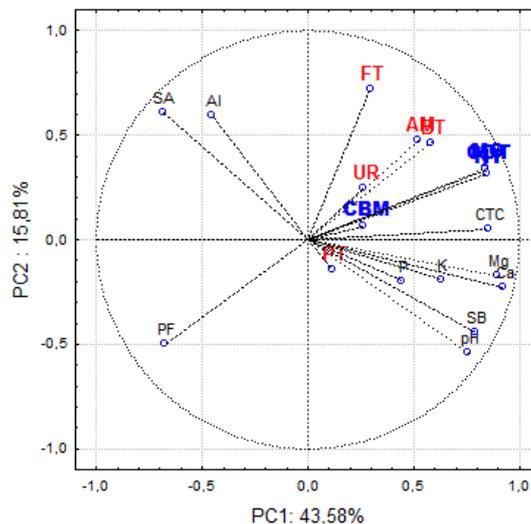


Figura 6 - Análise de componentes principais de variáveis químicas, de atividade enzimática e profundidade de solos coletados no Cerradão, Estado de Goiás. Variáveis químicas: pH; Ca; Mg; Al; P; K; CTC: Capacidade de troca catiônica; SA: Saturação por alumínio; SB: Saturação por base; MO: Matéria orgânica; COT: Carbono orgânico total; CBM: Carbono da biomassa microbiana. Variáveis de atividade enzimática: AM: Glicina aminopeptidase; BT: β -glicosidase; FT: Fosfatase; PT: Protease; UR: Urease. PF: Profundidades. Destaques em vermelho refere-se as enzimas. Destaques em azul para as variáveis microbiológicas.

Conclusão

No presente estudo, as enzimas relacionadas com o ciclo do C, N e P tiveram comportamento de forma diferenciada considerando-se os períodos de amostragem e também a profundidade, pois nem todas se mostraram influentes pelo fator profundidade. As variações descritas para a atividade enzimática refletem a eficiência desta ferramenta na análise de qualidade do solo, porque foram sensíveis a variações que não foram correspondidas pela análise química.

Outro fato importante que deve ser destacado é que a sazonalidade não foi fator de grande influência na atividade das enzimas, porém deve-se ressaltar que os solos foram coletados em ambientes de boa cobertura vegetal e que essas condições podem gerar um microclima que favoreça a atividade microbiana.

Mais ainda, a profundidade também não foi influente na atividade de todas as enzimas, porém quando se avaliou o conjunto da atividade enzimática, pode-se perceber o seu efeito, ou seja, quanto maior a profundidade, menor será a atividade das enzimas.

Por fim, observa-se a relação da maioria das enzimas avaliadas neste trabalho com a matéria orgânica, carbono orgânico, com a biomassa microbiana e também com o nitrogênio. Isto demonstra a importância das áreas de vegetação preservadas, que possuem maior diversidade vegetal e maior qualidade da matéria orgânica e conseqüentemente maior atividade dos microrganismos, refletindo na qualidade do solo.

Agradecimentos

À FAPEG - Fundação de Amparo a Pesquisa de Goiás pela bolsa de estudos. Capes/FAPEG (AuxPE 2036/2013). Ao Programa Institucional de Bolsas de Incentivo à Pesquisa (BIP/UEG). Ao Programa de Pós graduação *stricto sensu* em Recursos Naturais do Cerrado da Universidade Estadual de Goiás.

REFERÊNCIAS

ALLISON, S. D; VITOUSEK, P. M. Responses of extracellular enzymes to simple and complex nutrient inputs. **Soil Biology Biochemistry**. v. 37, p. 937-944. 2005.

ARAÚJO, A. S. F; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 66-75. 2007.

BABUJIA, L. C. **Bioindicadores de qualidade do solo avaliados em diferentes profundidades sob plantio direto e convencional**. Londrina, PR. 2010. Dissertação mestrado, Universidade Estadual de Londrina, 2010.

BADIANE, N. N. Y; CHOTTE, J. L; PATE, E; MASSE, D; ROULAND, C; Use of soil enzyme activities to monitor soil quality in natural and improved fallows in semi-arid tropical regions. **Applied Soil Ecology**, v. 18, p. 229–238, 2001.

BALDRIAN, P; VALÁSKOVÁ, V; MERHAUTOVÁ, V; GABRIEL, J. Degradation of lignocellulose by *Pleurotus ostreatus* in the presence of copper, manganese, lead and zinc. **Research in Microbiology**. v. 156, p. 670-676. 2005.

BHATIA, Y; MISHRA, S; BISARIA, V. S. Microbial β -glucosidase: cloning, properties and applications. **Critical Reviews Biotechnology**. v. 22, p. 375-407. 2002.

CARNEIRO, M. A. C; ASSIS, P. C. R; MELO, L. B; PEREIRA, H. S; PAULINO, H. B; NETO, A. N. S. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 38, p. 276-283. 2008.

CLIMA-DATE. **Dados climáticos para cidades mundiais**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org>. Acessado em 30 nov. 16.

CUNHA, N. R. S; LIMA, J. E; GOMES, M. F. M; BRAGA, M. J. A Intensidade da Exploração Agropecuária como Indicador da Degradação Ambiental na Região dos Cerrados, Brasil. **RER**, Piracicaba, SP, v. 46, n. 2, p. 291-323. 2008.

D'ANDRÉA, A. F; SILVA, M. L. N; CURI, N; SIQUEIRA, J. O; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores de qualidade de solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 913-923. 2002.

DE-POLLI, H; GUERRA, J. G. M. Biomassa microbiana: perspectiva para o uso e manejo do solo. In: ALVAREZ, V; FONTES, L. E. F; FONTES, M. P. (eds). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 95-564.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Análises de Solo. Segunda ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 1997.

ESPOSITO, E; AZEVEDO, J. L. Fungos: uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia. Caxias do Sul: EDUCS, p. 638.

FERREIRA, A. S; CAMARGO, F.A.O; VIDOR, C. Utilização de Microondas na Avaliação da Biomassa Microbiana do Solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 23, p. 991-996. 1999.

GEISSELER, D; HORWATH, W. R. Regulation of extracellular protease activity in soil in response to different sources and concentrations of nitrogen and carbon. **Soil Biology Biochemistry**, v. 40, p. 3040-3048, 2008.

GESSNER, M. O; SWAN, C. M; DANG, C. K; MCKIE, B. G; BERDGETT, R. D; WALL, D. H; HÄTTENSCHWILER, S. Diversity meets decomposition. **Trends in Ecology Evolution**, v. 25, p. 372-380, 2010.

GRAYSTON, S; WANG, S; CAMPBELL, C. D; EDWARDS, A. C. Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. **Soil Biology Biochemistry**, v. 30, p. 369-378, 1998.

KANDELER, E; PALLI, S; STEMMER, M. GERZABEK, M. H. Tillage changes, microbial biomass and enzyme activities in particle-size fractions of a Haplic Chernozem. **Soil Biology Biochemistry**, v. 31, p. 1253-1264. 1999.

LACERDA, K. A. P; CORDEIRO, M. A. S; VERGINASSI, A; SALGADO, F. H. M; PAULINO, H. B; CARNEIRO, M. A. C. Organic carbon, biomass and microbial activity in an Oxisol under different management systems. **Revista de Ciências Agrárias**. V. 56, p. 249-254, 2013.

LADEIRA, S. A; ANDRADE, M. V. V; DELATORRE, A. B; PEREZ, V. H; MARTINS, M. L. L. Protease production using agroindustrial residues by thermophilic *Bacillus* sp in submerged fermentation: optimization of the culture medium using an experimental design approach. **Química Nova**. v. 33, p. 324-328. 2010.

LANNA, A. C; SILVEIRA, P. M; SILVA, M. B; FERRARESI, T. M; KLIEMANN, H. J. Urease activity as influenced by planting system and plant cover in soil under common bean. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1933-1939. 2010.

LONGO, R. M; MELO, W. J. Urease activity in oxisols as influenced by vegetation cover and sampling time. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 645-650. 2005.

MMA – MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **O Bioma Cerrado**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>. Acessado em 20 de novembro de 2016.

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

NDIAYE, E. L; SANDENO, J. M; MCGRATH, D; DICK, R. P. Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 15, p. 26-36. 2000.

NOGUEIRA, M. A; ALBINO, U. B; BRANDÃO-JÚNIOR, O; BRAUN, G; CRUZ, MF; DIAS, B. A; DUARTE, R. T. D; GIOPPO, N. M. R; MENNA, P; ORLANDI, J. M; RAIMAM, M. P; RAMPAZZO, L. G. L; SANTOS, M. A; SILVA, M. E. Z; VIEIRA, F. P; TOREZAN, J. M. D; HUNGRIA, M; ANDRADE, G. Promising indicators for assessment of agroecosystems alteration among natural, reforested and agricultural land use in southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment** v. 115, p. 237–247, 2006.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J. F. (eds.) **Cerrado ecologia e flora**. Embrapa Cerrados, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, cap. 6, p. 155-199, 2008.

REATTO, A; CORREIA, J. R; SPERA, S. T; MARTINS, E. S. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J. F. (eds.) **Cerrado ecologia e flora**. Embrapa Cerrados, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, cap. 5, p. 107-149, 2008.

REIS-JÚNIOR, F. B; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana do solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. p. 9-33, 2007.

ROSCOE, R. BODDEY, R. M; SALTON, J. C. Sistemas de Manejo e Matéria Orgânica do Solo. In: ROSCOE, R; MERCANTE, F. M; SALTON, J. C. (eds.) **Dinâmica da matéria orgânica do solo: Modelagem matemática e métodos auxiliares**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, cap. 1, p. 19-42, 2006.

SANO, E. E; ROSA, R; BRITO, J. L. S; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**. v. 166, p. 113-124. 2010.

SIGMAPLOT – **Exact Graphs and Data Analysis** (Systat Software, San Jose, Califórnia).

SILVA, E. T; MELO, W. J. Atividade de proteases e disponibilidade de nitrogênio para laranja cultivada em Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 833-841. 2004.

SILVA, S. A. F. **The ASSISTAT software: statistical assistance**. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba. 2009.

SILVA, C. F; PEREIRA, M. G; MIGUEL, D. L; FEITORA, J. C. F; LOSS, A; MENEZES, C. E. G; SILVA, E. M. R. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1680-1689. 2012.

SPAGNOLLO, E. **Dinâmica da matéria orgânica em agroecossistemas submetidos a queima e manejos dos resíduos culturais**. Santa Maria, RS, 2004. Tese de doutorado, Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

SOUSA, H. M. **Atributos microbiológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária no ecótono cerrado-amazônia**. Cuiabá, MT, 2014. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso, 2014.

STATSOFT, INC. **Programa computacional Statistica 7.0**. E.A.U. 2005

TABATABAI, M. A. Effects of trace elements on urease activity in soils. **Soil Biology Biochemistry**, v. 9, p. 9-13. 1977.

ZHU, B; GUTKNECHT, J. L. M; HERMAN, D. J; KECK, D. C; FIRESTONE, M. K; CHENG, W. Rhizosphere priming effects on soil carbon and nitrogen mineralization. **Soil Biology Biochemistry**, v. 76, p. 183-192, 2014.

ARTIGO II – A ser submetido
Manejo de culturas agrícolas e seus efeitos sobre a atividade de enzimas de solo em Goiás

Sousa, V.R.; Jardim, J.L.; Agra, M.A.; Zago, L.M.S.; Caramori, S.S.

RESUMO

Mesmo com vantagens econômicas, as práticas agrícolas provocam alterações tanto nas propriedades químicas, físicas e biológicas, modificando a microbiota do solo, e consequentemente afetando a dinâmica de funcionamento da transformação da matéria orgânica, que é dependente da atividade dos microrganismos e enzimas extracelulares. As enzimas estão envolvidas na ciclagem de carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre e disponibilização de nutrientes para as plantas. A avaliação da atividade enzimática em conjunto com as propriedades físico-químicas e biológicas, podem refletir na qualidade de um solo. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da profundidade sobre a atividade enzimática em solos cultivados com culturas anuais e perenes em comparação com áreas de Cerrado nativo do estado de Goiás. Amostras de solo de Cerrado nativo e sob cultivo de algodão e cana-de-açúcar foram coletadas nas profundidades de 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm e 50-100 cm em doze municípios do estado de Goiás. Os solos coletados foram submetidos a análises químicas para a determinação do teor de matéria orgânica, carbono e nitrogênio orgânico total, assim como, nutrientes e capacidade de troca catiônica. Foram monitoradas as atividades de glicina aminopeptidase, α e β -glicosidase, fosfatase ácida, protease e urease. Os dados foram analisados por análise de variância (ANOVA *Three-way* e *Two-way*) e análise multivariada (MANOVA) e as médias comparadas em teste *a posteriori* (Teste de Tukey). O efeito das culturas e profundidades sobre a atividade enzimática foi considerado significativo para $p < 0,05$. As propriedades químicas não apresentaram diferenças significativas entre os solos e profundidades, apenas com maiores teores de fósforo até a camada 20 cm, para ambas culturas em relação ao Cerrado nativo. A saturação por alumínio se diferenciou entre os tipos de uso do solo em todas as profundidades e carbono da biomassa se mostrou diferente entre a cultura da cana-de-açúcar e Cerrado nativo, nas duas últimas camadas analisadas. A enzima α -glicosidase não apresentou atividade para nenhum dos solos amostrados. As demais enzimas analisadas apresentaram menor atividade nos solos de culturas agrícolas em relação àqueles coletados nas áreas de Cerrado nativo. Quando as atividades enzimáticas foram avaliadas individualmente, percebe-se que apenas glicina aminopeptidase e fosfatase ácida foram afetadas pela profundidade, com maiores valores até a camada de 20 cm. A análise multivariada, no entanto, mostrou que apenas as culturas agrícolas causam variações no conjunto das atividades enzimáticas, sendo os maiores valores encontrados nos solos de Cerrado nativo, seguido pelos solos coletados em culturas de algodão e cana-de-açúcar. Apesar da substituição de áreas de vegetação nativa para a implantação de áreas agrícolas ocasionar perda de diversidade vegetal, a implantação de culturas anuais parece impactar menos o solo, pois as práticas de manejo empregadas promovem manutenção da matéria orgânica no solo, estimulando a atividade microbiana. Deste modo, as enzimas se mostraram sensíveis às alterações presentes nos ecossistemas e podem ser úteis no monitoramento da qualidade do solo nas práticas de manejo agrícola.

Palavras-chave: Cerrado; qualidade do solo; plantio direto.

Management of agricultural crops and their effects on the activity of soil enzymes in Goiás

Abstract

Even with their economic advantages, the agricultural practices promote alterations in the chemical, physical and biological properties, modifying the soil microbiota, and consequently affecting the dynamics of the organic matter transformation, which is dependent on the activity of the microorganisms and extracellular enzymes. Enzymes are involved in the cycling of carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur and providing nutrients to plants. The evaluation of the enzymatic activity together with the physical-chemical and biological properties, may reflect the quality of a soil. Thus, the present study aimed to evaluate the effect of depth on the enzymatic activity in soils cultivated with annual and perennial crops in comparison to areas of native Cerrado of the state of Goiás. Samples of native Cerrado soil and under cultivation of cotton and sugarcane were collected at depths of 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm and 50-100 cm in 12 municipalities in the state of Goiás. The collected soils were submitted to chemical analysis for the determination of the content of organic matter, carbon and total organic nitrogen, as well as nutrients and cation exchange capacity. Activities of glycine aminopeptidase, α and β -glycosidase, acid phosphatase, protease and urease were monitored. Data were analyzed by analysis of variance (ANOVA Three-way and Two-way) and multivariate analysis (MANOVA) and the means compared *a posteriori* (Tukey test). The effect of cultures and depths on enzymatic activity was considered significant at $p < 0.05$. The chemical properties did not present significant differences between the soils and depths, only with higher phosphorus contents up to the 20 cm layer, for both crops in relation to the native Cerrado. The aluminum saturation was differentiated among the soil use types in all the depths, and the biomass carbon was different between the sugarcane and native Cerrado, in the last two layers analyzed. The α -glucosidase enzyme did not present activity for any of the soils sampled. The other enzymes analyzed showed lower activity in the soils of agricultural crops in relation to those collected in the native Cerrado areas. When the enzymatic activities were evaluated individually, it was observed that only glycine aminopeptidase and acid phosphatase were affected by the depth, with higher values up to the 20 cm layer. The multivariate analysis, however, showed that only agricultural crops cause variations in all enzymatic activities, with the highest values found in native Cerrado soils, followed by soils collected in cotton and sugarcane crops. Although the substitution of native vegetation areas for the implantation of agricultural areas causes loss of plant diversity, the implantation of annual crops seems to have less impact on the soil, since the management practices employed promote the maintenance of organic matter in the soil, stimulating the microbial activity. Thus, enzymes have been shown to be sensitive to changes in ecosystems and may be useful in monitoring soil quality in agricultural management practices.

Keywords: Cerrado; soil quality; no-tillage system.

1. Introdução

O solo é um componente importante para a atividade agrícola e seu uso e manejo de forma adequada são fundamentais para adoção de práticas alternativas e sustentáveis (SANT'ANNA, 2007; CUNHA et al. 2008). O solo constitui um recurso importante para a sobrevivência das espécies e como meio de crescimento para as plantas, fornecendo-lhes suporte e nutrição. Ele funciona ainda como um meio para a reciclagem de nutrientes, decompondo resíduos orgânicos e fornece habitat às diversas espécies de microrganismos (COELHO et al. 2013).

A áreas de vegetação original do bioma Cerrado perderam cerca de 38,9% de sua área para expansão das áreas agrícolas, e segundo projeções do agronegócio para o ano de 2025 esta área deve ser aumentada ainda mais (MAPA, 2016). Diante do crescente mercado agrícola é sabido que a expansão da agricultura e o uso de tecnologias modernas no Cerrado geram benefícios socioeconômicos, como a oferta de produtos agrícolas, principalmente para exportação (EMBRAPA, 2005).

Entre as culturas que mais se destacam estão a soja, o milho, o algodão e a cana-de-açúcar (SANO et al. 2010), que tem papel importante no abastecimento do mercado interno e externo, geração de energia e contribuição na geração de renda. O aumento da produtividade tem ocorrido através do uso intensivo do solo, como forma de suprir as necessidades das escalas de produção, levando ao investimento da mecanização intensiva (SANT'ANNA, 2007; CUNHA et al. 2008). O impulso na exploração e conversão do solo em áreas agrícolas tem ocorrido por diversos fatores, como o aumento da população mundial que acarreta maior demanda por alimento.

Por outro lado, se observa também uma busca por novas fontes de combustível, como etanol. Assim a cultura da cana-de-açúcar tem sido importante produtora de etanol, com área de plantio na safra de 2015/16 estimada em 9.110,9 mil hectares (CONAB, 2016). Outra cultura com produtividade expressiva é o algodão, que tem como principal destinação a indústria têxtil, com safra 2015/16 de cerca de 1,5 milhão de toneladas de pluma de algodão, a maior produção de algodão no país está concentrada nos estados da Bahia e Mato Grosso, no entanto as áreas de plantio estão localizadas no domínio do bioma Cerrado (MAPA, 2016).

Não se desconsidera as vantagens econômicas da produção agrícola em larga escala, porém é importante salientar os impactos ambientais gerados por tais atividades, como uso intensivo de defensivos agrícolas. O uso de fertilizantes e pesticidas tem ocasionado perda de matéria orgânica, contaminação do solo e da água, além de causarem alterações no solo, seja

na estrutura química, física ou biológica, interferindo na sua qualidade (D'ANDRÉA et al. 2002; ARAÚJO; MONTEIRO, 2007; CARNEIRO et al. 2009). Uma vez alterado o solo se torna incapaz de exercer suas funções, o que gera instabilidade da produção. A qualidade do solo envolve mecanismos de reserva de água, nutrientes, disponibilizando-os para as raízes (ARAÚJO; MONTEIRO, 2007).

Para o Cerrado em especial há pouca informação a respeito da biologia dos solos (CARNEIRO et al. 2008). Destacam-se os estudos que demonstram as propriedades de solos cultivados com culturas agrícolas em comparação a áreas de vegetação nativa, como forma de entender a dinâmica de funcionamento desses solos (MATSUOKA et al. 2003; MENDES et al. 2003; REIS-JÚNIOR; MENDES, 2007, ZAGO et al. 2016).

Os atributos físicos, químicos e biológicos do solo se inter-relacionam, sendo assim as alterações no solo podem influenciar sua estrutura e atividade biológica (CARNEIRO et al. 2009). Os indicadores de qualidade do solo podem demonstrar modificações ocorridas neste ambiente e que podem ser corrigidas de forma a melhorar a qualidade do solo e conseqüentemente a produtividade, haja vista que o seu uso inadequado causa perda de matéria orgânica, compactação e erosão (CUNHA et al. 2008). A seleção de indicadores que possibilite conhecer a sustentabilidade destes solos é importante na compreensão do mecanismo de funcionamento dos ecossistemas naturais e dos alterados pelo cultivo agrícola. Conhecer a dinâmica do solo permite a decisão de práticas sustentáveis de forma a melhorar a produção agrícola (SANT'ANNA, 2007).

A atividade enzimática representa um importante indicador de alterações, pois as enzimas participam principalmente do processo de decomposição e disponibilidade de nutrientes e são sensíveis às pequenas alterações sofridas pelo ecossistema, demonstrando exercer um papel chave na ciclagem de nutrientes (CARNEIRO et al. 2008). Conhecer a atividade das enzimas tem sido um ponto importante de estudos de qualidade de solo, pela sua capacidade em descrever mudanças na qualidade e funcionamento deste ecossistema (SILVA et al. 2009).

Diante dos aspectos apresentados é importante salientar a necessidade de investigar os processos ambientais, ou seja, os mecanismos da interação entre a biodiversidade e ambiente, como fonte alternativa na potencialização dos processos de investigação da qualidade dos solos, que são um dos recursos naturais do bioma Cerrado e que muito tem passado por processos de degradação. Considerando que a investigação da atividade enzimática pode ser mais eficiente do que a análise das características físico-químicas, constata-se uma necessidade de estudos com enfoques nas atividades de enzimas de solo do Cerrado nativo, pois os estudos sobre a

biologia destes solos são ainda pouco conclusivos e que as informações destes estudos podem direcionar informações que possam contribuir com o funcionamento e mecanismos de qualidade dos solos do Bioma.

Sendo assim a proposta deste trabalho inclui avaliar a atividade enzimática de solos cultivados com culturas anuais e perenes, mais especificamente o algodão e a cana-de-açúcar, com o diferencial de se avaliar o efeito da profundidade desses solos sobre a atividade enzimática (e microbiana). Para atender esta proposta foram realizadas coletas de solos, nas culturas mencionadas e também no Cerrado nativo, como forma de comparar e analisar o impacto da implantação das culturas agrícolas em detrimento a retirada de vegetação nativa. Para tal proposta sugere-se a hipótese de que o sistema de rotação de culturas conciliado com o plantio direto contribui com a qualidade do solo, a qual foi testada pelo monitoramento dos parâmetros bioquímicos descritos neste trabalho.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de amostragem

O estudo foi realizado em Usinas de Açúcar e Álcool e propriedades agrícolas particulares da região centro, sul e leste do Estado de Goiás (Tabela 2). Os pontos selecionados para a amostragem do solo na cultura do algodão seguiram a descrição de regiões produtoras da cultura e portanto, nem todas as regiões com culturas de cana-de-açúcar apresentavam a cultura do algodão.

Tabela 1: Localização geográfica dos pontos de amostragem.

Pontos de Amostragem	Tipos de uso do solo	Coordenada geográfica	
		Latitude	Longitude
Palmeiras	Algodão	16°49'14,5"	49°52'33,4"
(P1)	Cerrado nativo	16°48'30,0"	49°52'31,1"
Turvelândia	Algodão	17°49'10,3"	50°19'04,0"
(P2)	Cerrado nativo	17°49'13,7"	50°18'56,9"
Santa Helena	Algodão	17°50'02,3"	50°35'01,4"
(P3)	Cerrado nativo	17°52'28,0"	50°33'07,7"
Itapirapuã	Algodão	15°33'58,0"	50°38'59,3"
(P4)	Cerrado nativo	15°33'48,7"	50°38'13,4"
Matrinchã	Algodão	15°28'44,9"	50°40'17,8"
(P5)	Cerrado nativo	15°28'42,3"	50°40'27,3"
Cristalina	Algodão	16°11'32,9"	47°37'47,6"
(P6)	Cerrado nativo	16°09'56,1"	47°36'59,8"
Inhumas	Cana-de-açúcar	16°21'23,4"	49°26'56,0"
(P7)	Cerrado nativo	16°19'35,6"	49°27'33,4"

Morrinhos (P8)	Cana-de-açúcar Cerrado nativo	17°53'43,3" 17°47'40,8"	49°14'13,6" 49°12'01,0"
Itumbiara (P9)	Cana-de-açúcar Cerrado nativo	18°32'13,4" 18°30'25,3"	49°21'56,4" 49°22'07,9"
Anicuns (P10)	Cana-de-açúcar Cerrado nativo	16°24'25,5" 16°24'34,9"	49°54'35,4" 49°54'31,1"
Goiatuba (P11)	Cana-de-açúcar Cerrado nativo	18°06'35,3" 18°05'06,3"	49°37'48,9" 49°39'30,4"
Edeia (P12)	Cana-de-açúcar Cerrado nativo	17°38'23,2" 17°37'43,8"	50°12'09,0" 50°11'59,8"

Para a avaliação da atividade biológica dos solos e suas características químicas foram selecionados 12 ecossistemas naturais e 12 agroecossistemas, utilizando-se como base o tipo de cobertura vegetal, sendo a descrição das áreas de amostragens: **Cerrado nativo** – este foi usado como referência, abrange áreas de vegetação típicas do Bioma Cerrado, classificado como a fitofisionomia de Cerradão. Cultivo de **Algodão** – esta cultura é considerada como anual, com plantio ocorrendo entre fevereiro e março e a colheita entre os meses de junho e julho do mesmo ano. Foram empregadas técnicas de plantio direto, consorciadas com plantio de soja ou milho nos períodos entressafra da cultura. Todos os pontos de coleta foram áreas de pivô central e receberam irrigação durante os períodos de seca. Cultivo de **cana-de-açúcar** – é considerada perene, cujo corte e rebrotamento ocorrem anualmente. O corte foi realizado por máquinas agrícolas na maioria dos pontos de amostragem, porém em dois pontos de amostragem ainda se realiza a queima da cana-de-açúcar antes da colheita, e após geralmente quatro cortes, ocorreu a renovação do plantio. O preparo do solo é realizado por meio de técnicas convencionais com revolvimento do solo.

2.2. Amostragem do solo

As amostras de solo foram coletadas nos períodos de janeiro/2016 a março/2016 (período de chuva) e reamostragem nos meses de junho/2016 e julho/2016 (período de seca). Em cada ponto de coleta foram obtidas três subamostras para cada tipo de uso do solo (algodão, cana-de-açúcar e Cerrado nativo), depois foram reunidas para compor uma amostra composta. Este procedimento foi realizado para cada profundidade de solo coletada 0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm e 50-100 cm. As áreas de Cerrado nativo para comparação foram coletadas nas proximidades das áreas de cultivo, priorizando a mesma composição química de solo.

Após o transporte ao laboratório, as amostras foram homogeneizadas e tamisadas (2 mm) para remoção de raízes e cascalhos e acondicionadas em sacos de polietileno a 4 °C.

Foram determinados os teores de umidade de cada amostra, mediante secagem de 5 g de solo, em estufa a 105 °C, por 24 h. A atividade das enzimas foi testada logo após as coletas, utilizando-se como referência a massa seca do solo.

2.3. Análise química do solo

As propriedades químicas do solo foram mensuradas imediatamente após a coleta, por laboratório especializado. Foram determinados o pH, os teores de nutrientes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , K^+ e P), saturação por alumínio (SA), saturação por base (SB), matéria orgânica (MO), carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) utilizando a metodologia da Embrapa (1997).

2.4. Análise bioquímica do solo

2.4.1. Ensaio enzimáticos

Foram testadas as atividades de seis enzimas extracelulares que participam do ciclo do nitrogênio (glicina aminopeptidase, protease e urease), carbono (α e β -glicosidase) e fósforo (fosfatase ácida), em solos cultivados com culturas anual e perene. As atividades das enzimas foram medidas em triplicatas, utilizando-se métodos colorimétricos com substratos específicos de cada enzima avaliada.

A atividade de glicina aminopeptidase (EC 3.4.11) foi determinada segundo metodologia descrita por Allisson e Vitousek (2005) com as modificações a seguir. Amostras de 0,1 g de solo (massa seca) e 0,9 mL de substrato (5 mmol L⁻¹) dissolvido em tampão acetato de sódio (5 mmol L⁻¹; pH 5,0) foram incubadas a 37 °C. A quantidade de glicina liberada durante a reação foi monitorada a 405 nm, conforme a metodologia de referência. O controle foi constituído pelo uso de tampão acetato de sódio (5 mmol L⁻¹; pH 5,0) em substituição ao substrato e sua absorbância a 405 nm foi subtraída das leituras dos ensaios para cálculo da atividade enzimática. Os ensaios foram realizados em triplicata, e a atividade da enzima glicina aminopeptidase foi expressa em μmol de *p*-nitroanilina g⁻¹ h⁻¹.

As atividades de α -glicosidase (EC 3.2.1.20), β -glicosidase (EC 3.2.1.21) e fosfatase ácida (EC 3.1.3.2) foram determinadas segundo a metodologia proposta por Baldrian et al. (2005), que consiste na quantificação de *p*-nitrofenol após a incubação dos solos com os substratos específicos (*p*-nitrofenil- α -D-glicopiranosídeo, *p*-nitrofenil- β -D-glicopiranosídeo e *p*-nitrofenilfosfato) a 40 °C por 1 h. A quantidade de *p*-nitrofenil liberada durante a reação foi

determinada a 400 nm após adição de carbonato de sódio ($0,5 \text{ mol L}^{-1}$). O controle com solo foi obtido pela adição de tampão acetato de sódio (100 mmol L^{-1} ; pH 5,0) em substituição ao substrato; o branco foi constituído da adição apenas do substrato específico e carbonato de sódio, sem solo. Os ensaios foram realizados em triplicatas e a atividade enzimática foi expressa em $\mu\text{mol } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

A determinação de protease (EC 3.4.2.21) seguiu a metodologia descrita por Ladeira et al. (2010), e consistiu na incubação de 0,05 g de solo (massa seca) com 1,0 mL de azocaseína (0,2 %) preparada em tampão Tris-HCl ($0,2 \text{ mol L}^{-1}$; pH 8,5) como substrato, por 10 min a $37 \text{ }^\circ\text{C}$. A reação foi paralisada pela adição de 0,5 mL de ácido tricloroacético (TCA) 15% (p/v) e centrifugada (Daiki-DT450) por 5 min. Ao sobrenadante foi adicionado 0,5 mL de solução de NaOH $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. A coloração foi determinada pela espectrofotometria no comprimento de onda de 420 nm. Para o controle com solo procedeu-se da mesma forma, exceto pela adição de 0,5 mL de TCA antes da adição do substrato. Os ensaios foram realizados em triplicata e a atividade foi expressa em $\text{U g}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

A atividade da enzima urease foi determinada pelo método colorimétrico descrito por Sousa (2014), com incubação das amostras de solo com ureia e posteriormente medida a 690 nm. O branco foi determinado simultaneamente pelo mesmo procedimento, apenas com a uréia. A atividade de urease foi expressa em $\mu\text{mol N hidrolisado g}^{-1} \text{ h}^{-1}$.

A atividade enzimática, exceto a protease, foi determinada com base no gráfico de calibração e expressa em micromol de produto formado por grama de massa seca de solo, por hora de reação ($\mu\text{mol de produto g}^{-1} \text{ h}^{-1}$). A atividade de protease foi expressa em unidade de enzima (U) por grama de solo por hora de reação ($\text{U g}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Segundo Ladeira et al. (2010), uma unidade de protease consiste na quantidade de enzima necessária para produzir um aumento igual a 0,1 na absorbância a 420 nm, após 60 min de ensaio.

2.4.2. Atividade enzimática total

A atividade enzimática total foi calculada para cada tipo de cultura analisada. Para esta análise foram utilizados os valores de atividades das enzimas (glicina aminopeptidase, β -glicosidase e fosfatase ácida). Os dados foram reunidos pela soma das atividades das enzimas citadas para cada tipo de uso do solo. Os dados da enzima protease foi excluída da análise pela dificuldade de conversão da unidade de medida da enzima.

2.4.3. Determinação do carbono da biomassa microbiana

A determinação de carbono da biomassa microbiana (CBM) baseou-se na quantificação de carbono segundo a metodologia de irradiação-incubação (FERREIRA et al. 1999). Cada amostra foi testada em triplicata, e para cada réplica foram colocadas 40 g de solo em placas de Petri e submetidas a irradiação em micro-ondas (Panasonic, potência 800 W, tensão de 220 V, frequência 2.450 MHz) por um período de 2 min e após a irradiação receberam 2 g de solo úmido. Os controles se diferiram pela não-irradiação do solo. As triplicatas foram incubadas em potes hermeticamente fechados sem a entrada de CO₂. Dentro dos frascos foram colocados recipientes contendo 10 mL de NaOH 1 mol L⁻¹, para captação do CO₂ proveniente da atividade microbiana. Após 10 dias, os frascos com NaOH receberam 5 mL de BaCl₂ 1 mol L⁻¹ e duas gotas de fenolftaleína. A quantificação da respiração microbiana foi obtida pela quantidade liberada de CO₂ liberado de cada amostra por meio da titulação com HCl (1 mol L⁻¹). Os resultados foram expressos em microgramas de carbono por grama de solo ($\mu\text{g C g}^{-1}$) e calculados mediante diferença entre as amostras irradiadas e não irradiadas utilizando fator de conversão (kc) de 0,45 (DE-POLLI; GUERRA, 1996).

2.5. Análises estatísticas

Uma ANOVA fator triplo (*Three-way ANOVA*) foi construída para comparar as propriedades químicas dos tipos de uso de solo e as diferentes profundidades. Os dados foram analisados mediante os tratamentos no esquema fatorial 3 x 4 x 13), sendo 3 tipos de uso do solo (algodão, cana-de-açúcar e Cerrado nativo), quatro profundidades (0-10 cm, 10-20 cm, 20-50 cm e 50-100 cm) e 13 propriedades químicas (pH, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, CTC, P, SA, SB, MO, COT, NT, CBM). O teste de comparação de médias (Tukey) foi aplicado para avaliar as diferenças entre os diferentes de solos e profundidades para cada propriedade química considerando p<0,05.

Os dados de atividade enzimática foram analisados por meio de análise de variância multivariada (MANOVA) e teste a posteriori (Teste de Tukey) considerando p<0,05, para verificar a influência do tipo de uso do solo nas diferentes profundidades para cada enzima avaliada. Estes testes observaram os diferentes pontos de coleta (Tabela 1), sendo analisados cada cultura e seu respectivo Cerrado nativo. Outra análise com os mesmos princípios foi realizada somente entre as duas culturas (algodão e cana-de-açúcar).

As análises foram realizadas utilizando os programas estatísticos Assistat versão 7.7 (Silva, 2009) e os gráficos foram plotados pelo programa Sigmaplot versão 12.0.

3. Resultados e discussão

3.1. Propriedades químicas do solo

A análise química das amostras coletadas nos solos (Tabela 3 e 4) indicou haver diferenças entre as áreas de cultivo agrícola e as amostras de solo do Cerrado nativo localizado na mesma região do plantio. Os teores de fósforo foram relativamente maiores em áreas agrícolas, em relação as áreas de Cerrado nativo (Tabelas 2 e 3), isto reflete a utilização de fertilizantes que possuem em sua formulação elementos a base de fósforo.

Esta diferença é observada até a camada de 20 cm, em ambas análises (algodão x cerrado; cana-de-açúcar x cerrado), se deve ao fato do manejo do solo realizado nas camadas superficiais do solo, a partir dos 20 cm o manejo não tem influência fortemente para demonstrar diferenças. Diferenças foram notadas também para a saturação do alumínio, com maiores valores nas áreas de Cerrado nativo, pode ser indicativo do manejo em solos agrícolas, pois ocorre correções do solo, para diminuir a toxicidade do alumínio.

Para a variável carbono da biomassa microbiana observou-se que apenas a cultura cana-de-açúcar se diferenciou das áreas de Cerrado nativo (Tabela 3). As demais propriedades químicas não se diferenciaram entre os diferentes tipos de uso do solo. Este fato observado reflete a complexidade da composição química dos tipos de solo, haja visto que o Cerrado apresenta uma diversidade de flora (RIBEIRO; WALTER, 2008), como consequência de sua diversidade mineralógica e pedológica.

As coletas foram realizadas em diversas regiões do estado de Goiás, que segundo Reatto et al. (2008) apresentam diferentes características em decorrência do material de origem e do ambiente em que foram formados. Sugere-se que a diversidade intrínseca dos solos possa ter influenciado nos resultados, quando analisados pelas diferentes culturas em comparação as áreas de Cerrado nativo, por se tratar de análises dos mesmos tipos mineralógicos de solo. Outros autores, como Ndiaye et al. (2000) e Silva et al. (2009) relataram em seus estudos que as propriedades biológicas foram melhor expressas do que as propriedades químicas, assim sendo, sugere-se que possam ser utilizadas técnicas baseadas em características biológicas, que possam ser mais sensíveis a estas alterações que ocorram no solo em virtude do tipo de manejo empregado.

Tabela 2: Características químicas e carbono da biomassa microbiana das amostras de solos coletados na cultura do algodão e Cerrado nativo nas diferentes profundidades, no estado de Goiás.

Parâmetros químicos do solo	Tipos de uso do solo							
	Algodão				Cerrado nativo			
	0-10	10-20	20-50	50-100	0-10	10-20	20-50	50-100
pH	5,3±0,3	4,9±0,3	4,9±0,3	5,0±0,3	5,0±0,5	4,7±0,4	4,7±0,6	4,7±0,6
Ca⁺ cmolc/dm⁻³	3,5±1,0	2,7±1,2	1,9±0,8	1,4±0,7	5,0±2,8	2,3±2,0	1,9±1,8	1,5±1,7
Mg⁺ cmolc/dm⁻³	1,2±0,3	0,6±0,3	0,5±0,2	0,5±0,1	2,0±1,1	2,3±2,0	0,7±0,7	0,7±0,9
Al	0,03±0,1	0,06±0,1	0,11±0,2	0,11±0,1	0,20±0,3	0,33±0,4	0,33±0,5	0,20±0,3
CTC	8,0±2,0	7,6±1,9	6,1±0,9	4,6±1,7	11,6±3,2	4,0±4,5	6,6±1,9	5,7±2,3
P (Melich I) cmolc/dm⁻³	28,5±20,2*	35,4±38,2*	7,2±4,9	4,0±7,2	3,4±1,4*	2,5±1,3*	2,5±1,2	2,3±0,9
K⁺ cmolc/dm⁻³	0,3±0,1	0,3±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,3±0,1	0,3±0,1	0,2±0,1	0,2±0,2
MO %	2,4±0,6	2,1±0,7	1,4±0,5	1,0±0,4	4,6±1,7	2,6±0,9	1,8±0,6	1,2±0,3
SA	0,6±2,2*	2,4±5,0*	6,2±12,4*	1,2±4,1*	37,3±29,0*	13,6±15,8*	16,3±18,7*	14,5±15,8*
SB	64,4±8,0	47,8±11,0	44,4±14,6	47,0±10,6*	60,4±19,1	42,8±19,7	39,5±24,5	37,0±25,0*
NT %	0,12±0,0	0,10±0,0	0,07±0,0	0,05±0,0	0,23±0,1	0,12±0,0	0,09±0,0	0,06±0,0
COT %	1,4±0,4	1,2±0,4	0,86±0,3	0,6±0,2	2,6±1,0	1,5±0,5	1,05±0,3	0,7±0,2
CBM (µg g⁻¹ de C)	15,2±14,3	26,0±25,5	17,4±14,3	10,7±15,6	19,5±12,4	22,8±12,0	14,8±9,7	12,9±11,8

*Valores de p ao nível de significância de 5%. Tais resultados indicam relação significativa entre os diferentes tipos de uso do solo ($p < 0,05$). CTC: capacidade de troca catiônica; MO: matéria orgânica; SA: saturação por alumínio; SB: saturação por base; NT: nitrogênio total; COT: carbono orgânico total; CBM: carbono da biomassa microbiana.

Tabela 3: Características químicas e carbono da biomassa microbiana das amostras de solos coletados na cultura de cana-de-açúcar e Cerrado nativo nas diferentes profundidades, no estado de Goiás.

Parâmetros químicos do solo	Tipos de uso do solo							
	Cana-de-açúcar				Cerrado nativo			
	0-10	10-20	20-50	50-100	0-10	10-20	20-50	50-100
pH	5,3±0,6	5,3±0,6	5,1±0,6	5,2±0,4	5,1±0,5	4,7±0,4	4,6±0,4	4,6±0,3
Ca⁺ cmolc/dm⁻³	4,1±3,2	3,2±2,4	2,1±1,6	1,6±1,0	5,4±4,0	3,1±3,1	2,1±2,4	1,7±2,4
Mg⁺ cmolc/dm⁻³	1,4±1,1	1,2±1,0	0,8±0,8	0,5±0,3	1,8±0,9	0,9±1,0	0,6±0,7	0,4±0,5
Al	0,08±0,2	0,03±0,1	0,03±0,1	0,0±0,0	0,05±0,1	0,18±0,2	0,14±0,2	0,03±0,1
CTC	8,7±3,2	7,4±2,5	5,8±1,8	4,3±1,4	11,6±4,4	8,5±4,7	6,9±3,9	5,5±4,2
P (Melich I) cmolc/dm⁻³	28,0±54,0*	29,7±48,9*	10,6±15,9	5,4±7,2	7,0±8,3*	5,9±11,3*	2,0±1,3	1,9±1,0
K⁺ cmolc/dm⁻³	0,3±0,1	0,3±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1	0,3±0,1	0,2±0,2	0,2±0,2	0,2±0,2
MO %	2,6±0,8	2,5±0,7	1,7±0,4	1,3±0,6	4,2±1,3	3,3±1,3	2,1±0,7	1,7±1,0
SA	4,2±10,0	1,5±3,4*	2,3±5,9*	0,0±0,0	1,2±1,4	11,0±12,5*	12,1±17,7*	3,6±5,3
SB	62,2±22,6	59,6±21,5	51,9±20,8*	52,9±13,4*	61,3±17,1	51,9±25,9	38,5±19,2*	36,6±16,9*
NT %	0,13±0,0	0,12±0,0	0,08±0,0	0,06±0,0	0,21±0,1	0,16±0,1	0,10±0,0	0,08±0,0
COT %	1,51±0,5	1,4±0,4	0,9±0,3	0,7±0,3	2,4±0,8	1,9±0,7	1,2±0,4	1,0±0,6
CBM (µg g⁻¹ de C)	26,1±18,4	31,6±30,5	30,3±25,4*	35,0±32,1*	19,5±12,4	22,8±12,0	14,8±9,7*	12,9±11,8*

*Valores de p ao nível de significância de 5%. Tais resultados indicam relação significativa entre os diferentes tipos de uso do solo (p < 0,05). CTC: capacidade de troca catiônica; MO: matéria orgânica; SA: saturação por alumínio; SB: saturação por base; NT: nitrogênio total; COT: carbono orgânico total; CBM: carbono da biomassa microbiana.

3.2. Propriedades bioquímicas do solo

A análise bioquímica das amostras de solos coletados em áreas de cultivo de algodão e cana-de-açúcar em comparação às áreas de Cerrado nativo indicou que esses parâmetros foram sensíveis às mudanças do tipo de uso do solo, quando avaliadas as atividades das enzimas glicina aminopeptidase, β -glicosidase e fosfatase ácida.

Para a enzima glicina aminopeptidase as áreas de Cerrado nativo apresentaram atividade enzimática significativamente diferente entre as profundidades (Fig. 1A), com maiores valores de atividades nas camadas 0-10 cm e 10-20 cm ($42,8 \mu\text{mol de } p\text{-nitroanilina g}^{-1} \text{ h}^{-1}$; $24,9 \mu\text{mol de } p\text{-nitroanilina g}^{-1} \text{ h}^{-1}$). As áreas de cultivo de algodão apresentaram apenas diferença da primeira camada para as duas últimas camadas (Fig. 1A), ou seja, a camada 0-10 cm diferiu-se apenas das camadas 20-50 cm e 50-100 cm.

Quando se observa os diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade (Cerrado nativo, algodão e cana-de-açúcar) a diferença entre as áreas de Cerrado nativo e de algodão se mantém apenas até a camada 20 cm (Fig. 1A). A partir desta camada não se encontram diferenças entre os tipos de uso do solo, observa-se também um declínio da atividade enzimática, pois o aumento da profundidade diminui o acesso ao oxigênio, o solo torna-se mais compacto, o que reduz o nível de respiração do solo e diversidade de microrganismos, afetando a atividade enzimática (BABUJIA, 2010).

A análise da atividade de aminopeptidase nas amostras de solos com cultivo de cana-de-açúcar mostrou que não houve diferença na atividade entre as profundidades (Fig. 1B). Já as amostras de solo de Cerrado nativo coletadas vizinhas às de cana apresentaram valores de atividade distintos entre as profundidades, com maiores atividades nas duas primeiras camadas analisadas (0-10 cm e 10-20 cm).

Quando avaliadas as interações entre os diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade (cana x Cerrado nativo) se observa a influência do tipo de manejo apenas na primeira camada, com maior atividade para o Cerrado nativo ($9,1 \mu\text{mol de } p\text{-nitroanilina g}^{-1} \text{ h}^{-1}$; $2,3 \mu\text{mol de } p\text{-nitroanilina g}^{-1} \text{ h}^{-1}$). Isto reflete os impactos da retirada da vegetação para implantação dos sistemas agrícolas, o que promove perda de biodiversidade microbiana para mineralização da matéria orgânica.

Segundo Cordeiro et al. (2012), os tipos de uso do solo interferem significativamente na atividade das peptidases. Allison e Vitousek (2005) relatam que a atividade da glicina aminopeptidase foi aumentada após a adição de compostos orgânicos e que as enzimas dependem do nitrogênio e dos nutrientes mineralizáveis. Esses resultados

demonstram que a substituição da vegetação nativa por cultivos agrícolas, sejam anuais ou perenes, ocasiona impacto no solo, promove perda de biodiversidade vegetal e animal (microrganismos), interferindo no teor de matéria orgânica, que fornece nutrientes aos microrganismos e plantas, pelo processo de decomposição (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

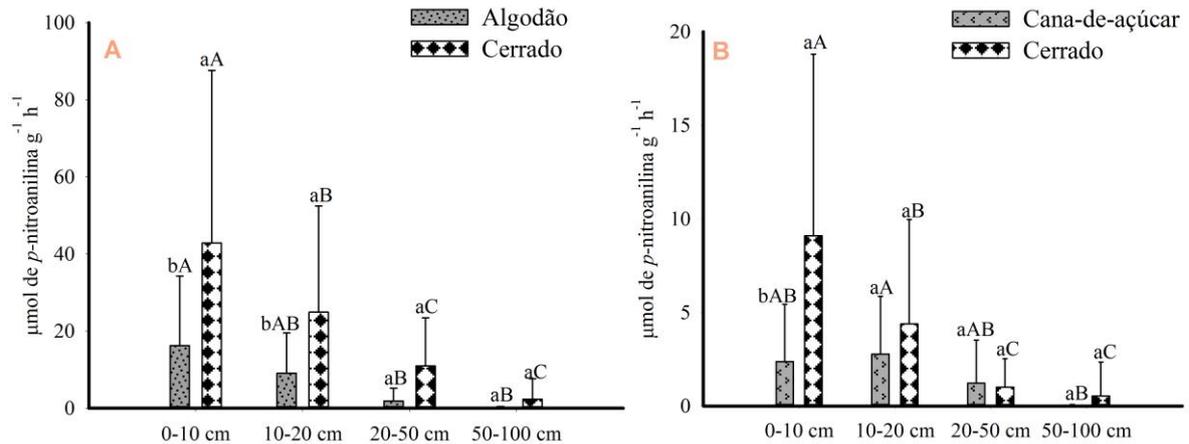


Figura 1 -Atividade da enzima glicina aminopeptidase em diferentes tipos de uso do solo. A: Algodão e Cerrado nativo; B: Cana-de-açúcar e Cerrado nativo; Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades na mesma cultura. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas nos diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).

A atividade de α -glicosidase não foi detectada em nenhum dos solos amostrados, em todos os níveis de profundidade testados.

Para a enzima β -glicosidase as áreas de Cerrado nativo e cultivo de algodão não apresentaram-se diferentes entre os tipos de uso do solo e entre as profundidades analisadas (Fig. 2A), porém, quando se somam os valores de atividade de cada profundidade, observa-se que os maiores valores foram encontrados no solo de Cerrado nativo ($103,3 \mu\text{mol } p\text{-nitrofenol } \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$) em relação às áreas cultivadas com algodão ($66,4 \mu\text{mol } p\text{-nitrofenol } \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$).

O fato de não apresentarem diferença estatística entre as áreas de Cerrado nativo e de cultivo de algodão pode ser explicado pelo tipo de manejo que é realizado nestes solos, pois as áreas de algodão são preparadas mediante plantio direto, onde se mantêm a camada de cobertura vegetal oriunda dos restos de cobertura vegetal que continuam no solo e contribuem para a manutenção da matéria orgânica o que auxilia na atividade enzimática (MATSUOKA et al. 2003; LANNA et al. 2010).

Atividades de manejo do solo de forma conservacionista, como plantio direto e rotação de culturas, contribuem com a manutenção de resíduos vegetais, oriundos da colheita e estes fatores auxiliam na maior atividade das enzimas (AON et al. 2001).

As áreas de Cerrado nativo e cana-de-açúcar se diferiram estatisticamente nas profundidades (Fig. 2B), porém se observa que na cultura da cana-de-açúcar a camada 0-10 cm se difere apenas da camada 50-100 cm. O Cerrado nativo apresenta maior atividade em relação à área de cultivo de cana-de-açúcar ($31,8 \mu\text{mol } p\text{-nitrofenol } \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$; $11,8 \mu\text{mol } p\text{-nitrofenol } \text{g}^{-1} \text{h}^{-1}$), com destaque para a primeira camada na área de Cerrado nativo, isto se deve ao fato da diversidade de cobertura vegetal e conseqüentemente de matéria orgânica.

Em relação ao tipo de uso do solo, observou-se diferenças significativas apenas na camada superficial (0-10 cm) com maiores valores para as áreas de Cerrado nativo (Fig. 2B). As demais camadas não se diferem, fato que pode ser justificado pela diversidade de microrganismos do solo, pois há também variação nas comunidades bacterianas e fúngicas nas diferentes profundidades, pois quanto mais profundo menor a diversidade de organismos e mais compactado é o solo (BABUJIA, 2010; AON et al. 2001; MAKOI; NDAKIDEMI, 2008).

A porosidade do solo é fator importante na capacidade de dissolução dos nutrientes no solo e é afetada pelo tipo de manejo do solo, sendo esta porosidade maior nos solos de Cerrado nativo (CARNEIRO et al. 2009). Isto pode influenciar também na diversidade e atividade destes microrganismos.

A β -glicosidase é uma enzima importante do ciclo do carbono, participando da decomposição da celulose e é ainda dependente da matéria orgânica (BHATIA et al. 2002), o que justifica sua maior atividade nas áreas de Cerrado nativo. Os menores valores de atividade encontrados nas áreas de cultivo agrícola reforçam a influência do tipo de cultivo sobre a atividade das enzimas.

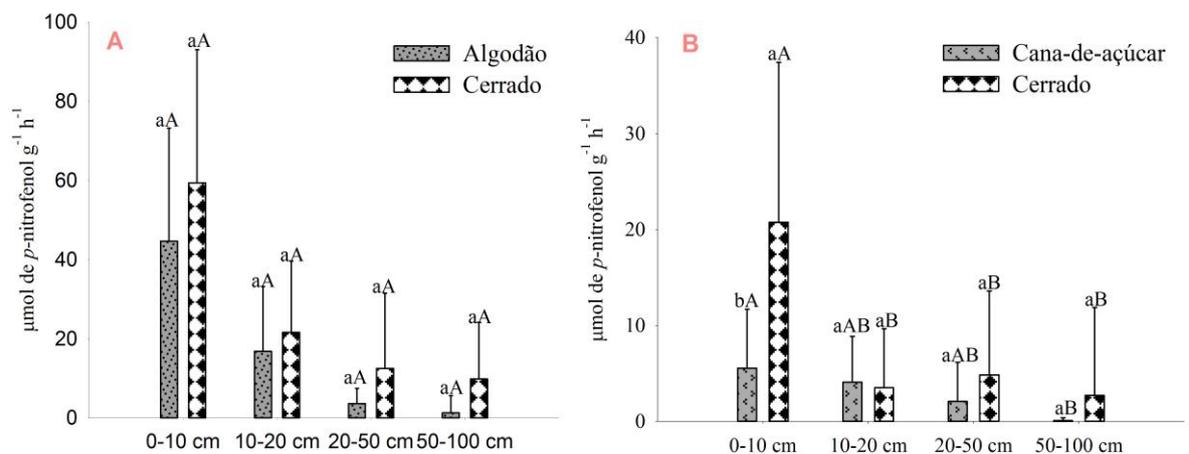


Figura 2 - Atividade da enzima β -glicosidase em diferentes tipos de uso do solo. A: Algodão e Cerrado nativo; B: Cana-de-açúcar e Cerrado nativo; Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades na mesma cultura. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas nos diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).

Para a enzima fosfatase ácida a atividade foi maior nas áreas de Cerrado nativo em relação às culturas agrícolas. Em relação à profundidade, as áreas de algodão e cana-de-açúcar não se diferem em nenhuma das profundidades analisadas (Fig. 3). As áreas de Cerrado nativo se diferem entre as profundidades, principalmente da primeira para a última camada avaliada (Fig. 3).

Quanto ao tipo de manejo do solo na mesma profundidade, o Cerrado nativo se difere das áreas de algodão em todas as profundidades analisadas, com maior atividade para as áreas de Cerrado nativo (Fig. 3A) ($640,9 \mu\text{mol } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$; $303,3 \mu\text{mol } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente). As áreas de Cerrado nativo e Cana-de-açúcar também se diferem quanto ao tipo de uso solo, com maiores valores para as amostras de solo de Cerrado nativo nas camadas 0-10, 10-20 e 20-50 cm ($134,4 \mu\text{mol } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$; $109,6 \mu\text{mol } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$; $77,9 \mu\text{mol } p\text{-nitrofenol g}^{-1} \text{ h}^{-1}$, respectivamente). Este fato se deve a maior presença de matéria orgânica nestas camadas devido a manutenção da serapilheira o que contribui com a diversidade de microrganismos.

Segundo Carneiro et al. (2004), a atividade da fosfatase é influenciada pelo tipo de uso do solo. Deve-se destacar também a relação entre a atividade de fosfatase e a disponibilidade de fósforo, pois na análise química este elemento se difere entre as áreas de cultivo (algodão e cana-de-açúcar) e o Cerrado nativo (Tabela 1), principalmente nas duas primeiras camadas do solo (0-10 e 10-20 cm). Atribui-se este resultado à disponibilidade de fosfato inorgânico no solo, que geralmente é maior nas áreas cultiváveis devido a utilização de fertilizantes contendo fosfato em sua formulação (ESPOSITO; AZEVEDO, 2004).

O Cerrado nativo apresenta maior atividade quando comparado às culturas agrícolas pelo fato da baixa disponibilidade de fósforo inorgânico em seus solos, assim a mineralização do fósforo orgânico oriundo da matéria orgânica é facilitada, fato importante para as áreas de vegetação nativa, pois a matéria orgânica é a principal fonte de nutrientes para as plantas (MATSUOKA et al. 2003).

Os solos do Cerrado nativo se mostraram mais propícios a atividade da enzima fosfatase, o que permite observar o impacto da transformação de áreas nativas para inserção da agricultura, mas também demonstra a importância da fosfatase ácida nas áreas de vegetação nativa na mineralização do fósforo orgânico, disponibilizando-o as plantas (MATSUOKA et al. 2003).

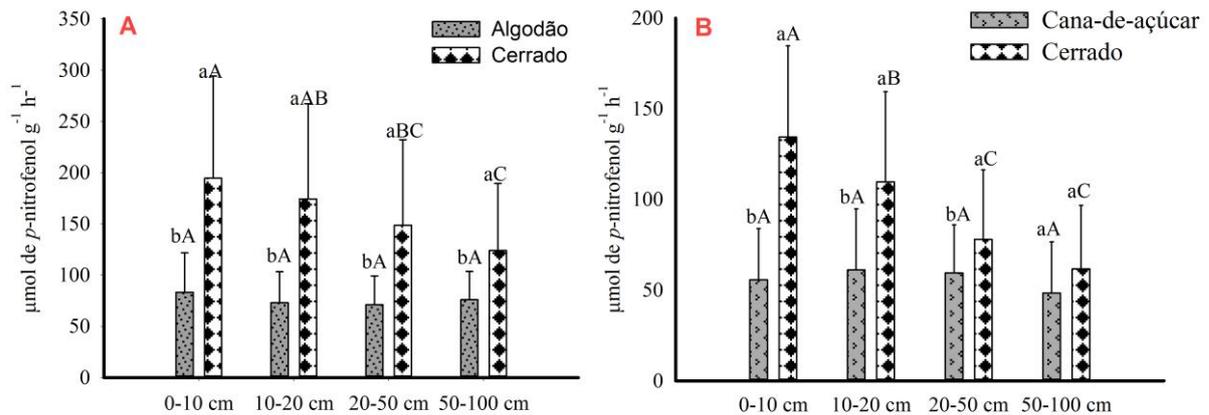


Figura 3 -Atividade da enzima fosfatase ácida em diferentes tipos de uso do solo. A: Algodão e Cerrado nativo; B: Cana-de-açúcar e Cerrado nativo; Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades na mesma cultura. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas nos diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).

A atividade da enzima protease apresentou similaridade nos valores de atividades entre as culturas agrícolas e o Cerrado nativo (Fig. 4), não diferindo as atividades entre os tipos de uso do solo e profundidades. As áreas analisadas de Cerrado nativo ($0,07 \text{ U g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e algodão ($0,07 \text{ U g}^{-1} \text{ h}^{-1}$), Cerrado nativo ($0,20 \text{ U g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) e cana-de-açúcar ($0,25 \text{ U g}^{-1} \text{ h}^{-1}$) apresentaram baixos valores de atividade. A análise da enzima protease não se mostrou um indicador eficiente, que possa ser usado para detectar alterações no solo devido as mudanças de seu uso, isso pode ser influência da alta variância não explicada dos dados, devido a variação entre as profundidades e culturas e também pela variação dos pontos de amostragem (Tabela 1).

Outros estudos também demonstraram que a determinação da atividade de protease precisa considerar melhores métodos de avaliação, pois os dados apresentam muita variação, o que dificulta sua utilização como potencial avaliador da disponibilidade de nitrogênio no solo (SILVA; MELO, 2004). A atividade da protease parece ser influenciada por diversos fatores bióticos e abióticos difíceis de serem analisados para estudar quais propriedades podem influenciar na atividade da protease no solo (MAKOI; NDAKIDEMI, 2008).

A matéria orgânica contribui na atividade da protease (KANDELER et al. 1999), porém se observa outros fatores que podem interferir na atividade da protease como, concentração e qualidade do substrato, pH, temperatura do solo (GEISSELER; HORWATH, 2008). Considerando estas afirmações, tem que os dados da análise química para os teores de nitrogênio não diferiram entre os diferentes tipos de uso solo e profundidades (Tabela 1), o que reflete também a não significância da atividade da protease para estes tipos de usos do solo. Sendo assim, considera-se necessários mais estudos na tentativa de compreender os

mecanismos que regulam a atividade da protease do solo e qual seu papel na disponibilização de nitrogênio no solo.

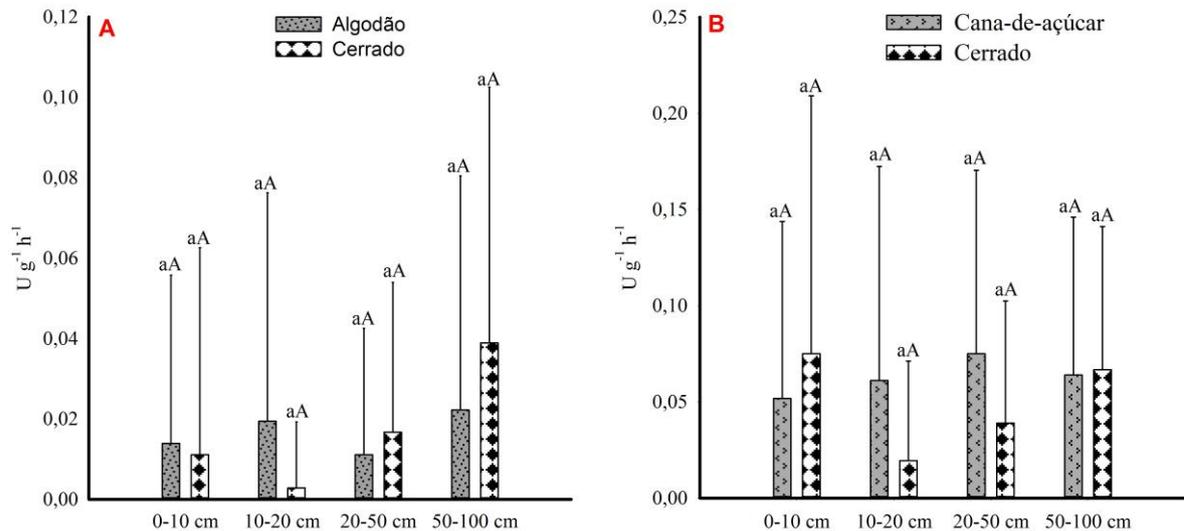


Figura 4 - Atividade da enzima protease coletados em tipos de uso do solo. A: Algodão e Cerrado nativo; B: Cana-de-açúcar e Cerrado nativo; Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades na mesma cultura. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas nos diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).

Assim como a atividade da enzima protease, a urease não apresentou diferença significativa entre os diferentes tipos de uso do solo (Fig. 5), em comparação entre as áreas de Cerrado nativo e algodão e entre as áreas de Cerrado nativo e cana-de-açúcar. A análise também não demonstrou diferença entre as profundidades, porém é perceptível a diminuição da atividade enzimática quando se aumenta a profundidade, fato observado também por Tabatabai (1977) ao analisar perfis de diferentes solos de pastagem e cultivo de milho, o autor correlacionou tal fato ao teor de carbono orgânico e matéria orgânica.

Os valores de atividade para o Cerrado nativo ($306,0 \mu\text{mol de N-NH}_4^+ \text{ mL}^{-1}$) em comparação as áreas de algodão ($88,3 \mu\text{mol de N-NH}_4^+ \text{ mL}^{-1}$) e entre o Cerrado nativo ($454,8 \mu\text{mol de N-NH}_4^+ \text{ mL}^{-1}$) e cana-de-açúcar ($309,9 \mu\text{mol de N-NH}_4^+ \text{ mL}^{-1}$) são maiores para as áreas de Cerrado nativo, porém não se diferenciam estatisticamente. Longo e Melo (2005) relatam que ainda se conhece pouco sobre a atividade da urease no solo e até mesmo os fatores que possam afetar sua atividade. A atividade da urease pode ser influenciado por diversos fatores como, o tipo de uso do solo e até mesmo por fatores ambientais (TABATABAI, 1977).

Lanna e colaboradores (2010) relatam em seu trabalho que as variáveis separadamente foram significativas, porém a interação das variáveis não se mostrou significativa, fato ocorrido neste estudo, pois a interação dos fatores tipos de uso do solo e

profundidades não foram diferentes entre si, ou seja, o tipo de uso do solo independente da profundidade apresenta variação significativa, porém a interação desta variável com o fator profundidade não demonstrou variação significativa.

A urease é responsável pela hidrólise da uréia em dióxido de carbono e amônia e sua atividade se relaciona com o nitrogênio mineralizável no solo, porém a velocidade da hidrólise depende do tipo de vegetação (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; LANNA et al. 2010). A relação entre a atividade da urease e o nitrogênio disponível no solo, pode ser um indicativo da não significância entre os tipos de uso do solo, pois os teores de nitrogênio da análise química também não diferiram entre as culturas e as profundidades analisadas (Tabela 1).

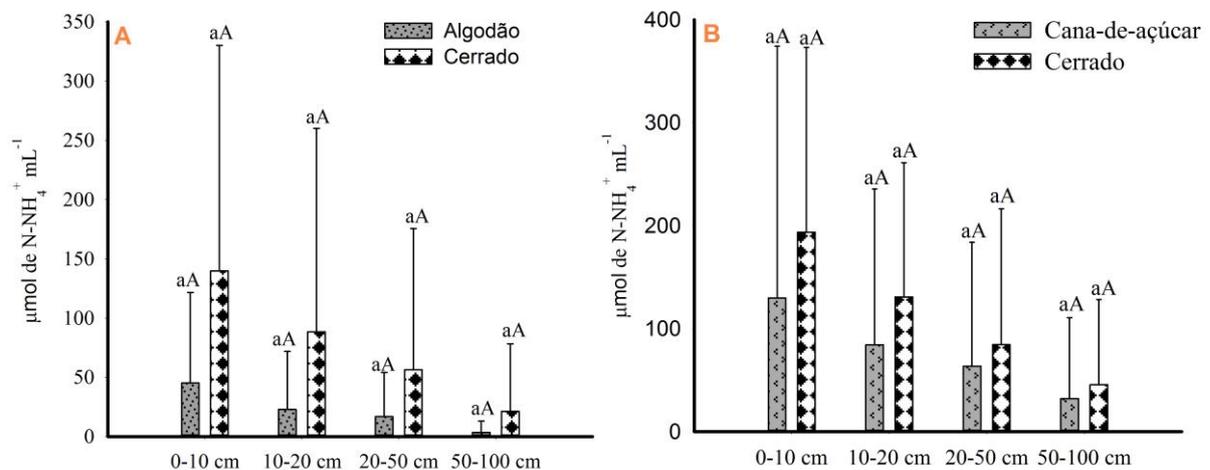


Figura 5 - Atividade da enzima urease coletados em tipos de uso do solo. A: Algodão e Cerrado nativo; B: Cana-de-açúcar e Cerrado nativo; Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades na mesma cultura. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas nos diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).

3.3. Influência do tipo de uso do solo sobre a atividade enzimática

Quando há substituição de vegetação para a implantação de áreas agrícolas consequentemente ocorrem alterações na diversidade de flora, isto interfere na microbiota do solo e também no funcionamento do ecossistema. Analisando a atividade enzimática nos diferentes tipos de manejo do solo, observou-se que algumas das enzimas avaliadas neste estudo sofrem interferência do tipo de cultura e manejo do solo (Fig. 6).

As enzimas glicina aminopeptidase e β -glicosidase diferem-se estatisticamente entre as culturas (Fig. 6A e 6B), sendo as maiores atividades apresentadas para as áreas cultivadas com algodão, corroborando a hipótese de que o sistema de rotação de culturas conciliado com o plantio direto contribui com maior atividade enzimática (LANNA et al. 2010).

Esta diferença se mantém até a camada 20 cm, sendo que a partir desta profundidade do solo as amostras não se diferem. Isto reflete a influência do tipo de manejo realizado nas camadas superficiais do solo (GREEN et al. 2007), com consequências para o aumento da atividade das enzimas citadas. Deve-se considerar também o grau de compactação do solo, que dificulta a entrada de nutrientes nas camadas mais profundas, o que interfere também na diversidade de microrganismos.

De forma geral, quando se observa a variação da atividade da enzima nas diferentes profundidades do solo, percebe-se que somente a cultura do algodão se difere entre as profundidades, mas com efeitos até a camada de 20 cm. No caso das áreas de solo com plantio de cana-de-açúcar, as camadas de profundidade do solo não se diferem quanto a atividade enzimática. Este resultado sugere que o sistema de plantio direto influencia na distribuição da atividade enzimática no solo (GREEN et al. 2007), contribuindo para o aumento da atividade microbiana nesses ambientes. Onde o tipo de manejo não emprega esta técnica, como o caso da cultura da cana-de-açúcar, o solo não é revolvido, o teor de matéria orgânica é diminuído e a atividade enzimática pode ser baixa desde a camada mais superficial, dificultando uma análise com base na profundidade.

As áreas destinadas ao cultivo de algodão passam por processo de plantio direto, com o objetivo de manutenção dos resíduos vegetais que contribuem na manutenção da matéria orgânica no solo, o que permite a disponibilidade de nutrientes para os microrganismos (MATSUOKA et al. 2003; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). As áreas também passam por processo de rotação de culturas, sendo os períodos de entressafra cultivados com soja e milho. Esse processo de rotação de culturas também propicia uma melhor manutenção da qualidade do solo, sendo um importante mecanismo de utilização sustentável do solo, permitindo a melhor produtividade e conservação do recurso natural que é o solo (LANNA et al, 2010).

A cultura da cana-de-açúcar, no entanto, é uma monocultura perene, que passa por processos de renovação de plantio após cerca de dois ou três cortes seguidos, no entanto o processo de manejo do solo é menor do que o observado na cultura do algodão, sendo que o processo de adubação é realizado no momento de plantio e somente após os cortes, sendo estes realizados uma vez ao ano. Esta característica influencia no maior impacto sobre o solo, como observado na atividade das enzimas analisadas, refletindo assim o impacto da retirada da vegetação nativa para a inserção de culturas agrícolas, o que acarreta perda de biodiversidade vegetal e animal (microrganismos), conseqüentemente diminui também o teor de matéria orgânica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A atividade das enzimas fosfatase ácida, protease e urease não se apresentou diferente significativamente entre os tipos de uso do solo e entre as profundidades analisadas (Figs. 6C, 6D e 6E). A atividade de fosfatase ácida não variou entre as culturas, o que mascarou a interação das culturas e profundidades. A baixa atividade apresentada pela enzima protease pode ser indicativa de que a variação dentro dos grupos (culturas e profundidades) tenham sido maiores que a variação entre esses mesmos grupos, não sendo possível visualizar variação da atividade entre as culturas analisadas.

Este estudo reflete a importância de utilização da atividade enzimática como indicadores de qualidade do solo, pois as enzimas são influenciadas por diversos fatores, principalmente pelo tipo de uso do solo, pois algumas das enzimas testadas demonstraram mais sensíveis às alterações no solo do que outras.

Desta forma, deve-se pensar em estudos que visem descrever o comportamento da atividade de enzimas nos diferentes tipos de culturas, propiciando informações que possam ser úteis na busca da sustentabilidade dos solos, haja vista a necessidade de produção, sendo assim a adoção de práticas sustentáveis torna o processo mais produtivo e menos agressivo ambientalmente.

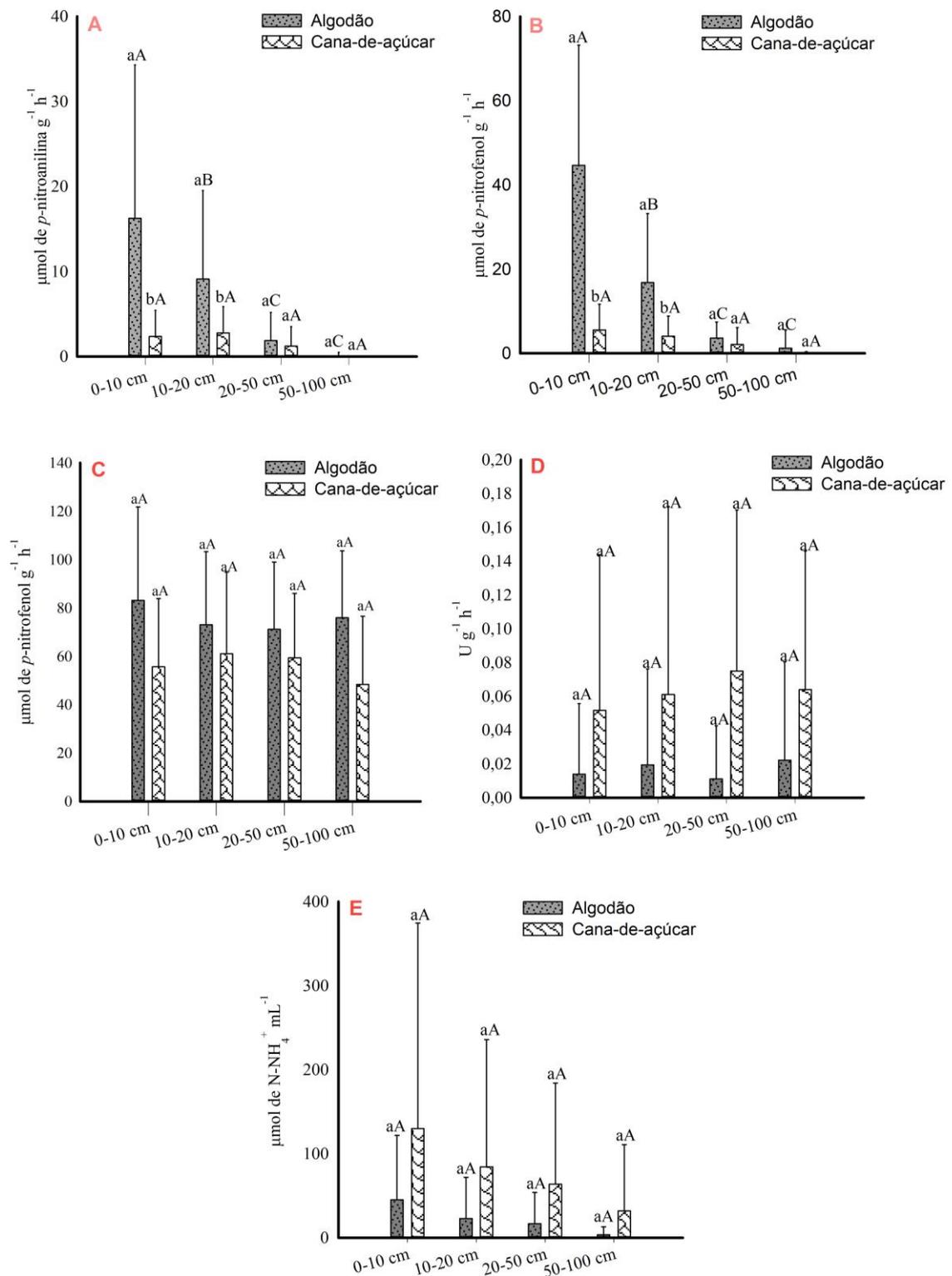


Figura 6 - Atividade enzimática de solos coletados em Cerrado nativo e sob cultivo de Algodão e cana-de-açúcar. A: Glicina aminopeptidase; B: β -glicosidase; C: Fosfatase ácida; D: Protease; E: Urease. Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades na mesma cultura. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas nos diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).

A avaliação da atividade enzimática total, relacionada ao ciclo do nitrogênio (glicina aminopeptidase e urease), ciclo do carbono (β -glicosidase) e ciclo do fósforo (fosfatase ácida) demonstrou que as áreas de vegetação nativa apresentam maiores valores de atividade em todas as camadas do solo (Tabela 4). Isto reflete o impacto da substituição da vegetação nativa por áreas agrícolas, o que corrobora a hipótese de que áreas de vegetação apresentem maiores atividade.

Este fato pode ser justificado pela diversidade vegetal, pois áreas nativas tem maior diversidade florística e isto influencia na diversidade e atividade microbiana. Outro fato também que pode ser destacada é a serapilheira, pois áreas de mata acumulam maior quantidade de resíduos orgânicos, embora neste estudo não tenha se diferenciado a qualidade da matéria orgânica das áreas de mata é bem maior e mais diversa (D'ANDRÉA et al. 2002; RIBEIRO; WALTER, 2008).

Para o fator profundidade apenas o Cerrado nativo tem diferenças entre a atividade da camada 0-10 cm para a camada 50-100 cm, com decaimento acentuado na atividade enzimática. As culturas agrícolas não se mostraram influenciadas pela profundidade, quando se avaliou a atividade enzimática total.

Tabela 4 - Atividade enzimática total em diferentes tipos de uso do solo, nas diferentes profundidades de solos coletados no estado de Goiás.

Classes de uso do solo	Profundidade			
	0-10 cm	10-20 cm	20-50 cm	50-100 cm
Algodão	47,2 ^{bA}	31,5 ^{bA}	23,2 ^{aA}	20,8 ^{aA}
Cana-de-açúcar	25,5 ^{bA}	38,1 ^{bA}	31,5 ^{aA}	20,1 ^{aA}
Cerrado nativo	99,2 ^{aA}	69,7 ^{aAB}	45,2 ^{aBC}	33,4 ^{aC}

Diferentes letras maiúsculas representam variações significativas entre as diferentes profundidades na mesma cultura. Diferentes letras minúsculas representam variações significativas nos diferentes tipos de uso do solo na mesma profundidade ($p < 0,05$, ANOVA e teste de Tukey).

Conclusão

Ao longo dos resultados pode-se observar que a atividade das hidrolases relacionadas ao ciclo do C, N e P demonstrou variação distinta em relação ao tipo de uso do solo, mais do que em relação à sua profundidade. Isto permite afirmar que técnicas de manejo sustentáveis, que priorizem a qualidade do solo, podem auxiliar na atividade biológica,

decomposição da matéria orgânica e conseqüentemente na ciclagem de nutrientes. Diante disso, foi possível constatar que a atividade enzimática foi maior nas áreas com vegetação nativa.

Cabe ressaltar que a atividade enzimática se mostrou mais sensível que os parâmetros químicos, sendo estas capazes de indicar alterações na cobertura do solo. Este fato foi observado nos diferentes tipos de uso do solo até a camada de 20 cm, o que demonstra que o sistema de manejo aplicado nas camadas superficiais interferiu na atividade das enzimas. É também importante relatar que o sistema de manejo utilizado pelo plantio direto com a rotação de culturas mostrou contribuir para conservação do solo.

Diante dos fatos aqui relatados, presume-se que a atividade enzimática, mais precisamente a das hidrolases, é uma forma potencial de monitoramento da qualidade desses ecossistemas avaliados, podendo ser usada como indicador de qualidade do solo, pois essas enzimas indicaram alterações mais precisas que a análise química.

Agradecimentos

À FAPEG - Fundação de Amparo a Pesquisa de Goiás pela bolsa de estudos. Capes/FAPEG (AuxPE 2036/2013). Ao Programa Institucional de Bolsas de Incentivo à Pesquisa (BIP/UEG). Ao Programa de Pós graduação *stricto sensu* em Recursos Naturais do Cerrado da Universidade Estadual de Goiás.

REFERÊNCIAS

ALLISON, S. D; VITOUSEK, P. M. Responses of extracellular enzymes to simple and complex nutrient inputs. **Soil Biology Biochemistry**. v. 37, p. 937-944. 2005.

AON, M. A; CABELLO, M. N; SARENA, A. C; COLANERI, M. G. FRANCO, M. G; BURGOS, J. L; CORTASSA, S. Spatio-temporal patterns of soil microbial and enzymatic activities in an agricultural soil. **Applied Soil Ecology**. v. 18. p. 239–254. 2001.

ARAÚJO, A. S. F; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 66-75. 2007.

BABUJIA, L. C. **Bioindicadores de qualidade do solo avaliados em diferentes profundidades sob plantio direto e convencional**. Londrina, PR. 2010. Dissertação mestrado, Universidade Estadual de Londrina, 2010.

BALDRIAN, P; VALÁSKOVÁ, V; MERHAUTOVÁ, V; GABRIEL, J. Degradation of lignocellulose by *Pleurotus ostreatus* in the presence of copper, manganese, lead and zinc. **Research in Microbiology**. v. 156, p. 670-676. 2005.

BHATIA, Y; MISHRA, S; BISARIA, V. S. Microbial β -glucosidase: cloning, properties and applications. **Critical Reviews Biotechnology**. v. 22, p. 375-407. 2002.

CARNEIRO, R. G; MENDES, I. C; LOVATO, P. E; CARVALHO, A. M; VIVALDI, L. J. Indicadores biológicos associados ao ciclo do fósforo em solos de Cerrado sob plantio direto e plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.661-669, jul. 2004.

CARNEIRO, M. A. C; ASSIS, P. C. R; MELO, L. B; PEREIRA, H. S; PAULINO, H. B; NETO, A. N. S. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 38, p. 276-283. 2008.

CARNEIRO, M. A. C; SOUZA, E. D; REIS, E. F; PEREIRA, H. S; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 33, p. 147-157. 2009.

COELHO, M. R; FIDALGO, E. C; SANTOS, H. G; BREFIN, M. L. M. S; PÉREZ, D. V. Solos: tipos, suas funções no ambiente, como se formam a sua relação com o crescimento das plantas. In MOREIRA, F. M. S; CARES, J. E; ZANERRI, R. **O Ecossistema solo: componentes, relações ecológicas e efeitos na produção vegetal**. Lavras: UFLA. 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento safra brasileira cana-de-açúcar**, v. 3 - Safra 2016/17, n. 3 - Terceiro levantamento, Brasília, dezembro 2016.

CORDEIRO, M. A. S; CORÁ, J. E; NAHAS, E. Atributos bioquímicos e químicos do solo rizosférico e não rizosférico de culturas em rotação no sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1794-1803. 2012.

CUNHA, N. R. S; LIMA, J. E; GOMES, M. F. M; BRAGA, M. J. A Intensidade da Exploração Agropecuária como Indicador da Degradação Ambiental na Região dos Cerrados, Brasil. **RER**, Piracicaba, SP, v. 46, n. 2, p. 291-323. 2008.

D'ANDRÉA, A. F; SILVA, M. L. N; CURI, N; SIQUEIRA, J. O; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores de qualidade de solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 913-923. 2002.

DE-POLLI, H; GUERRA, J. G. M. Biomassa microbiana: perspectiva para o uso e manejo do solo. In: ALVAREZ, V; FONTES, L. E. F; FONTES, M. P. (eds). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 95-564.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de Análises de Solo. Segunda ed. Rio de Janeiro, Embrapa, 1997.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Embrapa Cerrados: Conhecimento, Tecnologia e Compromisso Ambiental**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2 ed. 43 p. 2005.

ESPOSITO, E; AZEVEDO, J. L. Fungos: uma introdução à biologia, bioquímica e biotecnologia. Caxias do Sul: EDUCS, p. 638.

FERREIRA, A. S; CAMARGO, F.A.O; VIDOR, C. Utilização de Microondas na Avaliação da Biomassa Microbiana do Solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 23, p. 991-996. 1999.

GEISSELER, D; HORWATH, W. R. Regulation of extracellular protease activity in soil in response to different sources and concentrations of nitrogen and carbon. **Soil Biology Biochemistry**, v. 40, p. 3040-3048, 2008.

GREEN, V. S; STOTT, D. E; CRUZ, J. C; CURI, N. Tillage impact on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research**, v. 92, p. 114-121, 2007.

KANDELER, E; PALLI, S; STEMMER, M. GERZABEK, M. H. Tillage changes, microbial biomass and enzyme activities in particle-size fractions of a Haplic Chernozem. **Soil Biology Biochemistry**, v. 31, p. 1253-1264. 1999.

LADEIRA, S. A; ANDRADE, M. V. V; DELATORRE, A. B; PEREZ, V. H; MARTINS, M. L. L. Protease production using agroindustrial residues by thermophilic *Bacillus* sp in submerged fermentation: optimization of the culture medium using an experimental design approach. **Química Nova**. v. 33, p. 324-328. 2010.

LANNA, A. C; SILVEIRA, P. M; SILVA, M. B; FERRARESI, T. M; KLIEMANN, H. J. Urease activity as influenced by planting system and plant cover in soil under common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1933-1939. 2010.

LONGO, R. M; MELO, W. J. Urease activity in oxisols as influenced by vegetation cover and sampling time. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 645-650. 2005.

MAKOI, J. H. J. R; NDAKIDEMI, P. A. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 3, p. 181-191. 2008.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do agronegócio: Brasil 2015/16 a 2025/26**. Brasília, MAPA, 2016.

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). **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 27, p. 425-433. 2003.

MENDES, I. C; SOUZA, L. V; RESCK, D. V. S; GOMES, A. C. Propriedades biológicas em agregados de um Latossolo Vermelho-escuro sob plantio convencional e direto no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 435-443. 2003.

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

NDIAYE, E. L; SANDENO, J. M; MCGRATH, D; DICK, R. P. Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 15, p. 26-36. 2000.

REATTO, A; CORREIA, J. R; SPERA, S. T; MARTINS, E. S. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J. F. (eds.) **Cerrado ecologia e flora**. Embrapa Cerrados, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, cap. 5, 2008, p. 107-149.

REIS-JÚNIOR, F. B; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana do solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2007.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J. F. (eds.) **Cerrado ecologia e flora**. Embrapa Cerrados, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, cap. 6, p. 155-199, 2008.

SANO, E. E; ROSA, R; BRITO, J. L. S; FERREIRA, L. G, Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**. v. 166, p. 113-124. 2010.

SANT'ANNA, S. A. C. **Indicadores de qualidade do solo em áreas de cana-de-açúcar dos tabuleiros costeiros de Alagoas**. São Cristovão, SE. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Sergipe, 2007.

SIGMAPLOT – **Exact Graphs and Data Analysis** (Systat Software, San Jose, Califórnia).

SILVA, E. T; MELO, W. J. Atividade de proteases e disponibilidade de nitrogênio para laranja cultivada em Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 833-841. 2004.

SILVA, L. G; MENDES, I. C; JUNIOR, F. B. R; FERNANDES, M. F; MELO, J. T. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.44, n.6, p.613-620, jun. 2009.

SILVA, S. A. F. **The ASSISTAT software: statistical assistance**. Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba. 2009.

SOUSA, H. M. **Atributos microbiológicos do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária no ecótono cerrado-amazônia**. Cuiabá, MT, 2014. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso, 2014.

TABATABAI, M. A. Effects of trace elements on urease activity in soils. **Soil Biology Biochemistry**. v. 9, p. 9-13. 1977.

ZAGO, L. M. S; OLIVEIRA, R. N; BOMBONATTO, A. K. G; MOREIRA, L. M. O; MELO, E. N. P; CARAMORI, S. S. Enzimas Extracelulares de Solos de Cerrado como bioindicadores de Qualidade em Áreas Agricultáveis em Goiás, Brasil. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**. v.5, n.1, p. 104-127, 2016.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo mostrou que os parâmetros biológicos foram mais eficientes na detecção de alterações no solo em virtude da conversão de áreas de vegetação nativa em áreas de cultivo agrícola, e isso demonstra a importância destes parâmetros na análise da qualidade dos solos em sistemas agrícolas. Desta forma, a utilização de parâmetros biológicos pode ser também alternativa na busca da sustentabilidade do solo, pois demonstram mais rapidamente os efeitos de alterações no solo, o que permite a utilização mais cuidadosa das áreas agrícolas.

A profundidade do solo, nas amostras coletadas em Cerrado nativo, mostrou ser um fator de influência na atividade enzimática quando avaliadas as variáveis em conjunto, ou seja, permitiu entender que as variáveis isoladas não parecem ser afetadas tão significativamente pela profundidade. No entanto, no conjunto de relações se observa que com o aumento da profundidade ocorre também decréscimo na atividade das enzimas. Quando se consideram também solos com culturas agrícolas, a mudança na cobertura vegetal parece diminuir a visualização deste efeito.

A maior atividade biológica foi observada em solos de vegetação nativa. Neste contexto, o estudo revelou que as atividades das enzimas relacionadas ao ciclo do carbono, nitrogênio e fósforo se mostraram influenciadas pelo tipo de cobertura vegetal. Sendo assim, a retirada da vegetação nativa para inserção de culturas agrícolas ocasiona impactos no ecossistema solo, pela perda de diversidade de microrganismos que são fundamentais nos processos na ciclagem de nutrientes no solo.

Os sistemas de manejo realizados nas culturas anuais, aliados ao plantio direto e rotação de culturas, mostraram-se mais eficientes na conservação da qualidade do solo, quando comparados aos sistemas de cultivos perenes. Isso remete a necessidade de se abordar técnicas de plantio que priorizem a manutenção da matéria orgânica, contribuindo para a qualidade do solo. Em contrapartida, sistemas de monoculturas afetam negativamente os atributos químicos e biológicos do solo, podendo ocasionar processos de degradação.

Portanto, vale ressaltar que as enzimas demonstraram variações em resposta às atividades antrópicas nos solos analisados. Este fato é importante, pois fornece informações precisas e precoces a respeito do estado de atividade biológica do solo. Sendo assim, pode-se dizer que a atividade enzimática pode ser utilizada no monitoramento da qualidade dos solos, pois não há como diminuir áreas de produção, pois o mercado agrícola tem sido cada vez mais valorizado, no entanto pode minimizar os impactos desta produção, abordando técnicas mais sustentáveis de produção.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA-MARTÍNEZ, V; MOORE-KUCERA, J; COTTON, J; GARDNER, T; WESTER, D. Soil enzyme activities during the 2011 Texas record drought/heatwave and implications to biogeochemical cycling and organicmatter dynamics. **Applied Soil Ecology**, v. 75, p. 43-51. 2014.
- ALLISON, S. D; VITOUSEK, P. M. Responses of extracellular enzymes to simple and complex nutrient inputs. **Soil Biology Biochemistry**. v. 37, p. 937-944. 2005.
- ARAÚJO, A. S. F; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, p. 66-75. 2007.
- BARRET, A. J; RAWLINGS, N. D; O'BRIEN, E. A. The MEROPS database as a peptidase information system. **Journal of Structural Biology**, v. 134, p. 95-102. 2001.
- BHATIA, Y; MISHRA, S; BISARIA, V. S. Microbial β -glucosidase: cloning, properties and applications. **Critical Reviewes Biotechnology**. v. 22, p. 375-407. 2002.
- CARNEIRO, M. A. C; ASSIS, P. C. R; MELO, L. B; PEREIRA, H. S; PAULINO, H. B; NETO, A. N. S. Atributos bioquímicos em dois solos de cerrado sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 38, p. 276-283. 2008.
- CARNEIRO, M. A. C; SOUZA, E. D; REIS, E. F; PEREIRA, H. S; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 33, p. 147-157. 2009.
- CUNHA, N. R. S; LIMA, J. E; GOMES, M. F. M; BRAGA, M. J. A Intensidade da Exploração Agropecuária como Indicador da Degradação Ambiental na Região dos Cerrados, Brasil. **RER**, Piracicaba, SP, v. 46, n. 2, p. 291-323. 2008.
- D'ANDRÉA, A. F; SILVA, M. L. N; CURTI, N; SIQUEIRA, J. O; CARNEIRO, M. A. C. Atributos biológicos indicadores de qualidade de solo em sistemas de manejo na região do Cerrado no sul do estado de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 913-923. 2002.
- EIVAZI, F; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidase in soils. **Soil Biology Biochemistry**. v. 20, p. 601-606. 1988.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Embrapa Cerrados: Conhecimento, Tecnologia e Compromisso Ambiental**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2 ed. 43 p. 2005.

GUPTA, R; GIGRAS, P; MOHAPATRA, H; GOSWAMI, V. K; CHAUHAN, B. Microbial α -amylases: a biotechnological perspective. **Process Biochemistry**, v. 38, p. 1599-1616. 2003.

GRANT, C. A; FLATEN, D. N; TOMASIEWICZ, D. J; SHEPPARD, S. C. A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Potafos: Informações agrônomicas**, v. 95, p. 1-5. 2001.

LANNA, A. C; SILVEIRA, P. M; SILVA, M. B; FERRARESI, T. M; KLIEMANN, H. J. Urease activity as influenced by planting system and plant cover in soil under common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 6, p. 1933-1939. 2010.

LONGO, R. M; MELO, W. J. Urease activity in oxisols as influenced by vegetation cover and sampling time. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 4, p. 645-650. 2005.

MAKOI, J. H. J. R; NDAKIDEMI, P. A. Selected soil enzymes: Examples of their potential roles in the ecosystem. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, n. 3, p. 181-191. 2008.

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

MYERS, N; MITTERMEIER, R. A; MITTERMEIER, C. G; FONSECA, G. A. B; Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. v. 403, p. 853-858. 2000.

NANNIPIERI, P; GIAGNONI, L; LANDI, L; RENELLA, G. Role of Phosphatase Enzymes in Soil. In: BÜNEMANN, E. K; OBERSON, A; FROSSARD, E. (Eds.). **Phosphorus in action soil biology: Biological processes in soil phosphorus cycling**. Editora: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, cap. 9, p. 215-243, 2011.

NDIAYE, E. L; SANDENO, J. M; MCGRATH, D; DICK, R. P. Integrative biological indicators for detecting change in soil quality. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 15, p. 26-36. 2000.

RAO, M. B; TANKSALE, A. M; GHATGE, M. S; DESHPANDE, V. Molecular and Biotechnological aspects of microbial proteases. **Microbial and Molecular Biology Reviews**, v. 62, p. 597-635. 1998.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In SANO S. M; ALMEIDA, S. P. 1998. **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA – CPAC, 1998, p. 89-102. 1998.

REATTO, A; CORREIA, J. R; SPERA, S. T; MARTINS, E. S. Solos do Bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J. F. (eds.) **Cerrado ecologia e flora**. Embrapa Cerrados, Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, cap. 5, p. 107-149, 2008.

REATTO, A; MARTINS, E. S. Classes de solo em relação aos controles de paisagem do bioma Cerrado. In SCARIOT, A; SOUZA-SILVA, J. C; FELFILI, J. M. **Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação**. 1ª ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p.47-59. 2005.

REIS-JÚNIOR, F. B; MENDES, I. C. **Biomassa microbiana do solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. 2007.

SANO, E. E; ROSA, R; BRITO, J. L. S; FERREIRA, L. G, Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**. v. 166, p. 113-124. 2010.

SANT'ANNA, S. A. C. **Indicadores de qualidade do solo em áreas de cana-de-açúcar dos tabuleiros costeiros de Alagoas**. São Cristóvão, SE. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Sergipe, 2007.

SILVA, L. G; MENDES, I. C; JUNIOR, F. B. R; FERNANDES, M. F; MELO, J. T. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.44, n.6, p.613-620, jun. 2009.

TABATABAI, M. A. Effects of trace elements on urease activity in soils. **Soil Biology Biochemistry**. v. 9, p. 9-13. 1977.

VIHINEN, M; MÄNTSÄLÄ, P. Microbial amyloitic enzymes. **Critical Reviews Biochemical and Molecular Biology**, v. 24, n. 4, p. 329-418. 1989

VILLALBA, H. A. G; LEITE, J. M; OTTO, R; TRIVELIN, P. C. O. Fertilizantes nitrogenados: novas tecnologias. **International Plant Nutrition Institute: Informações Agrônomicas**, v. 148, p. 12-20. 2014.

ZAGO, L. M. S; OLIVEIRA, R. N; BOMBONATTO, A. K. G; MOREIRA, L. M. O; MELO, E. N. P; CARAMORI, S. S. Enzimas Extracelulares de Solos de Cerrado como bioindicadores de Qualidade em Áreas Agricultáveis em Goiás, Brasil. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**. v.5, n.1, p. 104-127, 2016.