



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E SOLOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA: PRODUÇÃO VEGETAL

NILZA DA SILVA CARVALHO

**PROPRIEDADES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO AO LONGO DE UM
GRADIENTE VEGETACIONAL DE CERRADO NO PARQUE NACIONAL DE SETE
CIDADES**

TERESINA – PI

2016

NILZA DA SILVA CARVALHO

**PROPRIEDADES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO AO LONGO DE UM
GRADIENTE VEGETACIONAL DE CERRADO NO PARQUE NACIONAL DE SETE
CIDADES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia.
Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador

Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo

TERESINA – PI

2016

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Serviço de Processamento Técnico

C331p Carvalho, Nilza da Silva
Propriedades microbiológicas do solo ao longo de um gradiente vegetacional de cerrado no Parque Nacional de Sete Cidade / Nilza da Silva Carvalho – 2016.
48 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016.

Orientação: Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo

1 .Savana 2. Biomassa microbiana 3. Respiração basal do solo 4. Enzimas I. Título

CDD 574.52643

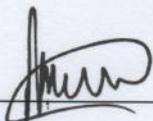
**PROPRIEDADES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO AO LONGO DE UM
GRADIENTE VEGETACIONAL DE CERRADO NO PARQUE NACIONAL
DE SETE CIDADES**

NILZA DA SILVA CARVALHO

Engenheira Agrônoma

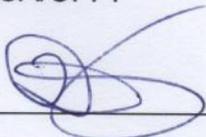
Aprovada em 29 / 04 / 2016

Comissão Julgadora:



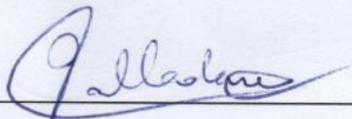
Prof. Dr. Ademir Sergio Ferreira de Araújo – Presidente

CCA/UFPI



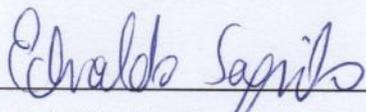
Profa. Dra. Vilma Maria dos Santos – Titular

CCA/UFPI



Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares – Titular

CCHL/UFPI



Prof. Dr. Edvaldo Sagrilo – Titular

Embrapa Meio-Norte

Minha amada mãe, Hosana Pereira.
Aos meus pais Damião e Franco Andrei.
A meu esposo Flávio Oliveira.
Aos meus irmãos.
Ao Dr. Hélio Santos (*in memoriam*) por sua alegria, amizade e pelos ensinamentos
em laboratório.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, digníssimo de toda honra e toda glória, que sempre esteve comigo, nos momentos mais difíceis encheu-me de força para seguir em frente e chegar onde estou, sei que esse é apenas mais um degrau da vida e ainda terei muitos para subir, não pararei, pois sei que tu estarás me guiando.

À Universidade Federal do Piauí, pela oportunidade cedida para a realização do mestrado.

Ao Programa de Apoio a Núcleos de Excelência (PRONEX) pelo financiamento do projeto.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (CAPES)

Aos meus pais, Francisco Damião e Hosana Pereira, pela educação, ensinamentos, por estarem presentes em todos os momentos e me apoiarem em tudo.

Ao meu esposo, Flávio Oliveira, maior incentivador dessa conquista, obrigado pelo amor, apoio e compreensão.

Ao meu pai de coração, Franco Andrei e sua esposa Maria Reijane, aos meus irmãozinhos Andressa, Ana Isabel (Bebel) minha princesa e Andrei, pelo carinho.

Aos meus irmãos, Wilsa Carla, José Wilson Filho, José Antônio e a minha amada sobrinha Ângela Cristine Carvalho, pelo apoio.

Aos amigos Bruno Fernandes, Arimatéia Leandro e Jardel por fazerem parte dessa história.

A Dailson Prado, por ter abraçado essa conquista, me apoiando nos momentos difíceis.

Ao meu maior mestre, Professor Elias, pela imensurável contribuição para a minha vida acadêmica.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ademir Sérgio Ferreira de Araújo, serei sempre grata pela oportunidade de fazer parte desse grupo de pesquisa, pelos ensinamentos e conhecimentos adquiridos ao longo desses dois anos.

A minha co-orientadora Dra. Vilma Maria dos Santos pela qual tenho muito carinho e admiração, obrigada pela paciência nos ensinamentos das análises em laboratório, estatísticas e pelo incentivo a pesquisa. Serei eternamente grata a você, sempre me

apoiando nos momentos em que mais precisei. Aonde quer que eu vá, levarei comigo seus ensinamentos e sua amizade. Meu muitíssimo obrigada.

A Sandra Mara Barbosa, minha companheira de pesquisa e amiga, obrigada pela imensa contribuição para realização desse trabalho, participando desde a coleta do solo a realização de todas as análises, abrindo mão de seus trabalhos e abdicando dos finais de semana e feriados. Palavras são insuficientes para descrever tamanha gratidão. Espero um dia retribuir tudo que tens feito e fazes por mim. Muitíssimo obrigada.

Ao Dr. Hélio Santos (*in memoriam*) pela alegria contagiante, por seus conselhos, nos incentivando sempre a correr atrás dos nossos sonhos. Infelizmente você não pôde estar aqui para participar desse momento, mais valeu cada ensinamento, cada palavra dita, cada brincadeira para nos alegrar. Saudades eternas.

Aos amigos do LASO, Dyego Leandro, Francisco Rafael, Maruzanete, Luís Alfredo e ao amigo Luciano Moura.

A Dona Nilvânia, pelo carinho, por sua alegria, pelo “bom dia dona Nilza”. Espero que Deus lhe abençoe cada dia mais e conceda muitos anos de vida. Obrigada por contribuir para essa conquista.

A Teddy Arrais pelos ensinamentos e colaboração nas análises físicas do solo.

Aos amigos Mírian Grazielle e Francisco Porto (Chico) pelo carinho.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia pelos ensinamentos e conhecimento adquirido nessa jornada.

Aos meus amigos de mestrado em especial Maristella Moura, Pedro Guimarães, Janaína Mendes, Enayra, José Monteiro, Samara Raquel, Carlos Aydano, João Pedro Aquino, Valdeci Calixto, Johnston, Arhtur Coutinho, Bruno Bitencourt, Samia e Vicente Neto. Nossa união nos fez superar os obstáculos ao longo desses 2 anos.

PROPRIEDADES MICROBIOLÓGICAS DO SOLO AO LONGO DE UM GRADIENTE VEGETACIONAL DE CERRADO NO PARQUE NACIONAL DE SETE CIDADES

Autor: Nilza da Silva Carvalho

Orientador: Ademir Sérgio Ferreira de Araújo

RESUMO

O Parque Nacional de Sete Cidades (PNSC) constitui uma das mais importantes Unidades de Conservação do Cerrado reunindo um patrimônio biológico, arqueológico e paisagístico de valor inestimável. Apesar da importância do PNSC, os trabalhos realizados até o momento abordam principalmente aspectos botânicos, com pouca informação disponível sobre o tamanho e atividade do componente microbiano do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades biológicas do solo ao longo de um gradiente vegetacional do cerrado no Parque Nacional de Sete Cidades e relacionar com as propriedades físico-químicas. Amostras de solo foram coletadas no gradiente composto por Campo Graminóide (CG), Cerrado *sensu stricto* (CSS) e Cerradão (CD) durante o período chuvoso (maio/2014) e seco (outubro/2014). A partir dessas amostras avaliaram-se as propriedades microbiológicas, carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal, quociente metabólico e microbiano e a atividade das enzimas, desidrogenase, hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA), β -glicosidase, fosfatase, urease, arilsulfatase. As propriedades físico-químicas avaliadas foram temperatura do solo, umidade, pH, H+Al, Ca+Mg, K, P, C, N e CTC_t. Houve diferença significativa para a maioria das propriedades químicas (Ca+Mg, K, CTC_t, P, C, N), com os menores valores observados em CG quando comparada as áreas CSS e CD. O CG apresentou menores valores de umidade durante o período chuvoso e maior temperatura do solo durante o período seco. O CBM diferiu significativamente entre as fisionomias vegetais, com maiores valores no solo sob CD nos dois períodos de amostragem. A respiração basal diferiu entre as fisionomias apenas no período chuvoso, enquanto mudanças nos valores de qCO₂ foram observadas durante o período de estiagem. Para o quociente microbiano, o CG apresentou menores valores no período seco em comparação às demais áreas. As enzimas desidrogenase, β -glicosidase e a atividade de hidrólise do FDA apresentaram menor atividade no CG, enquanto o CSS e CD não diferiram. Para a atividade da arilsulfatase, observou-se elevada atividade à medida que aumentou a complexidade das fisionomias. A fosfatase foi a única enzima a apresentar maior atividade no CG durante o período seco. Os resultados demonstram que as propriedades físico-químicas influenciam o comportamento das propriedades biológicas do solo. O teor de C, a umidade e a temperatura do solo são os principais fatores que controlam as propriedades biológicas do solo em gradiente vegetacional de cerrado.

Palavras chave: Savana, Biomassa microbiana, respiração basal do solo, Enzimas.

SOIL BIOLOGICAL INDICATORS IN A GRADIENT OF CERRADO FROM SETE CIDADES NATIONAL PARK

Author: Nilza da Silva Carvalho

Advisor: Ademir Sérgio Ferreira de Araújo

ABSTRACT

The Sete Cidades National Park is one of the most important conservation units under vegetation of Cerrado. Despite the importance of PNSC, the studies carried out in this area focused only in the botanical aspects, with little information about the soil biological properties. The aim of this study was to evaluate the soil biological properties across a vegetational gradient of Cerrado from PNSC and correlate with the physicochemical properties. Soil samples were collected in areas under Campo graminoide (CG), Cerrado *sensu stricto* (CSS) and 'Cerradão' (CD) during the rainy and dry season. We evaluated soil microbial biomass, basal respiration, metabolic and microbial quotient and soil enzymatic activity (dehydrogenase, hydrolysis of fluorescein diacetate, β -glucosidase, phosphatase urease, arylsulphatase). The physicochemical properties evaluated were soil temperature, moisture, pH, H+Al, Ca+ Mg, K, P, total organic C and N, and effective cation exchange capacity (CEC_t). There was a significant difference among areas for most of the chemical properties (Ca+ Mg, K, CEC_t, P, C, N), and CG presented lower values, while the CSS and the CD had similar values. The CG showed lower moisture values during the rainy season and increased soil temperature during the dry season. The MBC differed significantly among vegetation types, with higher values in the soil under CD in both sampling periods. The basal respiration differed among areas in the rainy season, while differences in qCO₂ values were observed during the dry season. For microbial quotient, the CG showed lower values in the dry season compared to the other areas. The dehydrogenase, β -glucosidase and FDA hydrolysis activity showed lower values in CG when compared to CSS and CD. For the activity of arylsulfatase, there was high activity as increased complexity of physiognomy. The phosphatase was the only enzyme to have higher activity in CG during the dry season. The results show that the physicochemical properties influence the behavior of soil biological properties. The content of TOC, soil moisture and temperature are the main factors controlling the soil biological properties in this gradient vegetational of Cerrado.

Keywords: Savanna, microbial biomass, soil basal respiration, enzymes.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades físicas e tipos de solos nas diferentes fisionomias do cerrado.....	22
Tabela 2. Espécies de plantas em gradiente vegetacional no cerrado piauiense, Campo Graminóide (CG), Cerrado <i>sensu stricto</i> (CSS) e Cerradão (CD).....	25
Tabela 3. Valores do teste <i>F</i> das fontes de variação das propriedades microbiológicas do solo.....	29
Tabela 4. Propriedades físico-químicas do solo em diferentes fisionomias vegetais no Parque Nacional de Sete Cidades, PI.....	30
Tabela 5. Carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO ₂) e microbiano (qMIC) em solos de diferentes fisionomias vegetais no Parque Nacional de Sete Cidades, PI.....	30
Tabela 6. Atividade enzimática em solos de diferentes fisionomias vegetais no Parque Nacional de Sete Cidades, PI	31
Tabela 7. Coeficiente de correlação de Pearson (<i>r</i>) entre as propriedades do solo e os eixos 1 e 2 da ordenação NMS.....	33
Tabela 8. Valores de <i>p</i> para comparações do MRPP com as diferentes áreas de cerrado em dois períodos.....	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Parque Nacional de Sete Cidades, PI.....	23
Figura 2. Áreas de estudo no Parque Nacional de Sete Cidades (PNSC). A1= Campo Graminóide, A2= Cerrado <i>sensu stricto</i> , A3= Cerradão.....	24
Figura 3. Mudanças nas propriedades microbiológicas em solos sob diferentes fisionomias vegetais de cerrado no Parque Nacional de Sete Cidades em respostas aos diferentes períodos de amostragem, de acordo com a ordenação NMS.....	32

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. Cerrado	14
2.2. Parque Nacional de Sete Cidades (PNSC)	15
2.3. Biomassa microbiana do solo	17
2.4. Enzimas do solo	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Local de estudo	22
3.2. Coleta das amostras	23
3.3. Análises físico-químicas do solo	26
3.4. Análise das propriedades microbiológicas do solo	26
3.5. Análise estatística	28
4. RESULTADOS	28
5. DISCUSSÃO	34
6. CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro apresenta alta diversidade florística e elevado endemismo, sendo considerado o ecossistema savânico mais rico do mundo (RIBEIRO et al., 2016). Entretanto, apenas 6% de toda área sob cerrado no Brasil encontra-se protegida por Unidades de Conservação (ARRUDA et al., 2008; RIBEIRO et al., 2016). No estado do Piauí, o Parque Nacional de Sete Cidades (PNSC) constitui uma das mais importantes Unidades de Conservação do cerrado nordestino e destaca-se por apresentar diversos tipos fitofisionômicos que variam desde formações campestres até florestais (MATOS & FELFILI, 2010; OLIVEIRA et al., 2007).

Na formação campestre, o “campo graminóide” apresenta fisionomia predominante herbácea com presença de Gramineae, Leguminosae e Amaranthaceae. O cerrado *sensu stricto* apresenta dois estratos, o herbáceo-subarbustivo e o arbustivo-arbóreo, com alturas em torno de 5 m. Na formação florestal, o cerradão apresenta fisionomia arbórea e plantas com altura superior a 7 m (OLIVEIRA et al., 2007). Essas variações fitofisionômicas no PNSC tem influenciado significativamente as propriedades químicas e físicas (umidade, temperatura (MENDES et al., 2012b) do solo, fatores reguladores da biomassa e a atividade microbiana em áreas de Cerrado no Brasil (MENDES et al., 2012a).

A biomassa microbiana, maior componente vivo da matéria orgânica do solo, é responsável por importantes processos biológicos tais como decomposição de resíduos e mineralização de nutrientes (MARINARI et al., 2006). Estes processos são mediados por enzimas que atuam nos diversos ciclos biogeoquímicos e contribuem para o suprimento de nutrientes para as plantas e microrganismos (BURNS et al., 2013). Desta forma, a avaliação da biomassa microbiana do solo e seus processos bioquímicos são de grande relevância em áreas de gradientes vegetacionais que podem apresentar dinâmica diferenciada de acordo com a complexidade da cobertura vegetal. Estudos realizados no cerrado no Brasil mostraram que áreas sob fisionomias florestais apresentam maior atividade e conteúdo da biomassa microbiana (MENDES et al., 2012a; PESSOA FILHO et al., 2015).

Embora trabalhos recentes tenham sido realizados avaliando a biomassa microbiana e a atividade das enzimas em áreas de cerrado, há poucas informações

disponíveis acerca destas propriedades biológicas em áreas de cerrado preservado em Unidades de Conservação. Particularmente, o PNSC apresenta áreas de cerrado que possuem diferentes tipos de cobertura vegetal, propriedades químicas do solo e variações microclimáticas (OLIVEIRA et al., 2007). Neste sentido, as hipóteses do estudo são: (1) em gradiente vegetacional no PNSC o solo sob estrato arbóreo apresenta maior biomassa microbiana e atividade bioquímica do solo; (2) os períodos de coleta (variações temporais) influenciam fortemente as propriedades microbiológicas e físico-químicas, principalmente no estrato herbáceo. Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar as propriedades microbiológicas do solo ao longo de um gradiente de cerrado no Parque Nacional de Sete Cidades e relacionar com as propriedades físico-químicas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Cerrado

O bioma Cerrado, o segundo maior do Brasil, ocupa uma área 206 milhões de hectares, compreendendo 25 % do território nacional (KLINK & MACHADO, 2005) e sua área contínua incide sobre os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Bahia, Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal (MMA, 2010).

No Nordeste, os cerrados estão situados principalmente nos estados do Piauí, Maranhão e Bahia. No Piauí, o cerrado ocupa uma superfície de 12 milhões de hectares, o que corresponde a 46% do estado e 36,9% do cerrado nordestino (AGUIAR & MONTEIRO, 2005; CEPRO, 1992; FERNANDES, 1998; MATOS & FELFILI, 2010).

O Cerrado brasileiro está entre os principais biomas tropicais do planeta, sendo reconhecido como centro prioritário para a preservação da biodiversidade, uma vez que possui alta diversidade de espécies animais e vegetais, muitas consideradas endêmicas (AMARAL; PEREIRA; MENDONÇA, 2006; KLINK & MACHADO, 2005). O cerrado constitui um mosaico vegetacional composto por 11 tipos fisionômicos constituídos por formações, florestais, savânicas e campestres. Em grande parte, essa variada cobertura vegetal é determinada pelo clima, relevo e

embasamento geológico que em suas múltiplas inter-relações, resultam em ambientes ecológicos considerados distintos (MENDES et al., 2012a).

De modo geral, os solos do cerrado são caracterizados por apresentar elevada acidez, baixa saturação por bases e elevada saturação por alumínio (WATANABE et al., 2005). No caso específico do cerrado piauiense, além das características mencionadas, a maior parte dos solos apresenta baixos teores de argila e baixa capacidade de troca catiônica (CTC), principalmente em função de baixos teores de matéria orgânica que para estes solos pode representar até 80% da CTC (PACHECO & PETTER, 2011).

Apesar da significativa importância ambiental e socioeconômica, o Cerrado é um dos biomas menos protegidos. Estima-se que apenas 6,48% dos cerrados estejam protegidos por Unidades de Conservação (ARRUDA et al., 2008; RIBEIRO et al., 2016). Além da reduzida área sob proteção, o impacto da atividade humana sobre o bioma é intenso e considerável, os desmatamentos para implantação de culturas agrícolas e a expansão da agropecuária representam as principais ameaças para biodiversidade do Cerrado (CUNHA et al., 2008; SANO et al., 2010). Nessas circunstâncias, caso o ritmo de exploração das áreas nativas não mude, até meados deste século a vegetação do Cerrado se restringirá às áreas de Unidades de Conservação, terras indígenas e regiões impróprias à agropecuária (MACHADO et al. 2004).

2.2. Parque Nacional de Sete Cidades (PNSC)

O Parque Nacional de Sete Cidades (PNSC), localizado no estado do Piauí, foi criado em 1961 com o objetivo de proteger a diversidade dos recursos hídricos, vegetais e paisagísticos ocorrentes na área (IBDF, 1979). O PNSC é considerado uma das áreas prioritárias de conservação da biodiversidade do Cerrado (BRASIL, 1999) e da Caatinga (BRASIL, 2002), recentemente, enquadrado na expansão da Reserva da Biosfera da Caatinga. Além da importância biológica, o PNSC também é um polo de turismo relevante para a comunidade local.

Os primeiros estudos desenvolvidos no PNSC abordavam aspectos como origem e formação das feições geomorfológicas, descrição e catalogação de inscrições rupestres (Fortes, 1996, M. C. S. M. Lage, dados não publicados). Barroso & Guimarães (1980) realizaram o primeiro levantamento florístico da área,

listando 228 espécies nas várias formas de crescimento. Recentemente, outros estudos vêm sendo desenvolvidos, abrangendo aspectos geomorfológicos e levantamentos florísticos de vários grupos taxonômicos (LINDOSO; FELFILI; CASTRO, 2007; MATOS & FELFILI, 2010; MENDONÇA et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2007, OLIVEIRA, 2004). Entre os trabalhos realizados no PNSC, podemos destacar o levantamento realizado por Oliveira et al. (2007), onde foram reconhecidos seis tipos fitofisionômicos: campo limpo (campo graminóide), cerrado rupestre, cerrado típico (cerrado *sensu stricto*), cerradão, mata de galeria inundável e mata seca semidecídua. As características das principais fisionomias, as classes de solo associadas e as espécies vegetais mais abundantes são descritas a seguir.

Campo Graminóide (Campo Limpo) - ocupa uma área de 887,6 ha, apresenta vegetação predominante herbácea, com abundantes populações de Gramineae, Leguminosae, Asteraceae e Amaranthaceae. O campo graminóide ocorre associado aos Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Litólicos e Planossolos. No PNSC é possível encontrar dois tipos de campo limpo: a) Campo limpo seco em Neossolos Quartzarênicos, com grande abundância de *Andropogon fastigiatus* Sw., *Aristida longifolia* Trin., *Chamaecrista desvauxii* (collad.) Killip, *C. fagonoides* (Vogel) H.S. Irwin & *Elephantopus hirtiflorus* DC.

b) Campo limpo úmido em Neossolos Litólicos e Planossolos, as espécies mais abundantes são *Gomphrena agrestis* Mart., *Mimosa sensitiva* L. *M. somnians* Humb. & Bonpl. Ex Willd. E *Sacciolepis vilvoides* (Trin.) Chase. Em alguns locais, ocorreram indivíduos arbóreos isolados de *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (murici-da-praia), *Hymenaea coubaril* var. *longifolia* (Benth.) Y.T.Lee & Andrade-Lima (jatobá-de-porco) e de *Vatairea macrocarpa* (Benth). Ducke (amargoso).

Cerrado *sensu stricto* (cerrado típico) - fisionomia que ocupa a maior área do PNSC (2.341,7 ha), caracteriza-se pela presença de dois estratos, o herbáceo-subarbustivo e o arbustivo-arbóreo. *Byrsonima correifolia* A. Juss. (murici-de-chapada), *B. crassifolia* (L.) Kunth (murici-de-praia), *Curatella americana* L. (sambaíba), *Terminalia fagifolia* Mart. & Zucc. Ex. Eichler (cascudo), *Himatanthus drasticus* (Mart.) Plumel (janaguba), *Hymenaea coubaril* var. *longifolia* Y.T.Lee & Andrade-Lima (jatobá-de-porco), *Magonia pubescens* A. St.-Hil. (tingui-de-bola), *Qualea grandiflora* Mart. (pau-terra) e *Tocoyena formosa* (Cham. & Schltldl.) K.Schum. subsp. *formosa* (jenipapo) são as espécies mais abundantes.

Cerradão - tipo florestal de maior ocorrência na área do PNSC, quase sempre contíguo à mata seca semidecídua, ocupa uma área de 1.513,3 ha. Apresenta dois estratos vegetais, sendo o herbáceo-subarbusivo bastante escasso, no qual predomina a gramínea *Streptostachys asperifolia* Desv. Nessa fisionomia encontram-se árvores altas, retas, troncos de casca fina, lisa ou rugosa com presença de lenticelas. As espécies mais abundantes nessa fisionomia são *Aspidosperma discolor* A.DC. (piquiá-de-gomo), *Bowdichia virgilioides* Kunt (sucupira), *Caryocar coriaceum* Wittm. (piquí), *Copaifera coriácea* Mart. (podói), *Parkia platycephala* Benth. (faveira-de-bolota), *Plathyenia reticulata* Benth. (candeia), *Salvertia convallariodora* A.St – Hil. (pororoca), *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex DC.) Standl., *T. ochacea* (cham.) Standl. e *T. serratifolia* (Vahl) G. Nicholson (paus-d'arco).

2.3. Biomassa microbiana do solo

Os microrganismos do solo são os principais responsáveis pela atividade biológica e pelo fluxo e ciclagem de nutrientes (GAMA-RODRIGUES & GAMA-RODRIGUES, 2008). Além disso, constituem fonte potencial de C, N, P, S disponíveis às plantas, participam ativamente em processos benéficos como a estruturação do solo, a fixação biológica de nitrogênio, a redução de patógenos e pragas de plantas, a degradação de pesticidas e outros compostos persistentes aplicados ao solo, e em associações micorrízicas (DONAGEMA et al., 2010).

A biomassa microbiana do solo (BMS) representa a parte viva da matéria orgânica do solo, composta por fungos, leveduras, bactérias, actinobactérias e representantes da microfauna, como os protozoários (FIGUEIREDO et al., 2007; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). O componente microbiano representa 2 a 5% do C orgânico do solo e de 1 a 5% do N total do solo (ZHANG et al., 2011).

As variações da biomassa microbiana podem estar associadas a diversos fatores intrínsecos e extrínsecos à matriz do solo, como: textura, temperatura, umidade, pH do solo, localização geográfica, qualidade e quantidade de resíduos aportados ao solo, além das técnicas de manejo adotadas (CARNEIRO et al., 2008; LISBOA et al., 2012). A comunidade vegetal é um importante fator controlador da biomassa microbiana no solo, atuando de forma direta, devido ao efeito seletivo da

rizosfera (ZHANG et al., 2011) ou indireta, por meio das fontes de C provenientes dos resíduos vegetais (CARNEIRO et al., 2008).

Vários estudos foram realizados em solos sob cerrado para avaliação do carbono da biomassa microbiana (CBM) principalmente comparando áreas preservadas e manejadas (ARAÚJO; GOEDERT; LACERDA, 2007; FERNANDES et al., 2012; LOPES et al., 2010; PESSOA-FILHO et al., 2015; PRAGANA et al., 2012). Em trabalho recente, Mendes et al. (2012a), avaliaram o funcionamento biológico dos solos no cerrado brasileiro sob diferentes tipos de vegetação no planalto central (campo sujo, cerrado ralo, cerrado, cerradão e mata de galeria) e observaram maior teor de CBM nas formações florestais (cerradão e mata de galeria). Segundo os autores, este resultado está associado à quantidade de resíduos vegetais aportados ao solo como também a complexidade vegetal dessas formações.

Diferentes taxas de respiração basal são provenientes de uma maior ou menor atividade da microbiota do solo, em função das variações ambientais e da disponibilidade de nutrientes. De modo geral, a quantidade do CO₂ emitido pela respiração está relacionada à capacidade de degradação da matéria orgânica pela microbiota heterotrófica, o que constitui uma fase fundamental no ciclo do carbono (DE-POLLI & PIMENTEL, 2005). A respiração basal, assim como outras atividades metabólicas, depende do estado fisiológico das células, sendo influenciada por diversos fatores ambientais como umidade do solo, temperatura, disponibilidade de nutrientes, quantidade de C orgânico, pluviosidade e qualidade da matéria orgânica (ALVES et al., 2011; ARAÚJO et al., 2013; LOPES et al., 2010; SILVA et al., 2010a).

Elevada taxa respiratória pode ser considerada uma característica desejável, uma vez que pode significar alta atividade biológica e estar associada à rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes disponíveis para as plantas. Por outro lado, alta taxa respiratória pode ser resultado tanto de um grande “pool” de substratos de C lábeis, onde a decomposição da matéria orgânica é intensa, como da rápida oxidação de um pequeno “pool” decorrente, por exemplo, da quebra de agregados do solo (TÓTOLA & CHAER, 2002). A quantidade de CO₂ liberada é indicativa de carbono lábil ou prontamente metabolizável no solo (CHAER & TÓTOLA, 2007).

O fluxo de CO₂ pode ser influenciado pela qualidade do substrato e pela da biomassa microbiana. Dessa forma, a avaliação de diversas propriedades relacionadas à atividade dos microrganismos permite melhor compreensão dos

processos que ocorrem no solo. No entanto, a interpretação dos dados de respiração deve ser cautelosa, uma vez que o incremento na atividade respiratória pode ser desencadeado tanto pela alta produtividade de um determinado ecossistema, quanto pelo estresse advindo de distúrbios ambientais (SILVA, 2007).

O quociente microbiano que corresponde à relação entre o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o carbono orgânico total (COT) reflete a qualidade da matéria orgânica, e a quantidade de carbono imobilizado na biomassa microbiana (CARDOSO et al., 2009). Baixos valores da relação CBM/COT podem ser ocasionados por circunstâncias em que a microbiota se encontra sob algum fator de estresse ou devido à baixa qualidade nutricional da matéria orgânica, fazendo com que a biomassa microbiana torne-se incapaz de utilizar totalmente o C orgânico (GAMA-RODRIGUES & GAMA-RODRIGUES, 2008). Em circunstâncias de desequilíbrio ambiental ou em situações em que a biomassa microbiana é submetida a algum fator de estresse (deficiência de nutrientes, acidez, déficit hídrico), a capacidade de utilização de C é reduzida, e o qMIC tende a diminuir (MERCANTE et al., 2008). Valores de qMIC inferiores a 1% podem indicar a existência de algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana (JAKELAITIS et al., 2008).

Por outro lado, em locais sob condições favoráveis, há tendência de aumento da biomassa microbiana e, em consequência, o qMIC tende a aumentar (KASCHUK; ALBERTON; HUNGRIA, 2010). A adição de matéria orgânica de qualidade, ou a mudança de um fator limitante para uma condição favorável, podem contribuir para o aumento dos valores do qMIC (CARDOSO et al., 2009).

2.4. Enzimas do solo

Enzimas são biomoléculas de natureza predominantemente protéica, catalisadoras de várias reações que resultam na decomposição de compostos orgânicos, ciclagem de nutrientes, formação da matéria orgânica e da estrutura do solo (MELO; MELO; MELO, 2008). As enzimas são originadas em sua maioria, dos microrganismos, sendo também produzidas por animais e plantas, possuindo grande dependência do pH, temperatura e presença de inibidores e ativadores no solo (ADAMCZYK et al., 2014; BHATTACHARYYA et al., 2008; SUGIER; KOŁODZIEJ; BIELIŃSKA, 2013).

A atividade enzimática do solo resulta da ação de enzimas extracelulares e intracelulares. As intracelulares estimulam as reações no interior da célula microbiana, enquanto que as extracelulares são liberadas para o exterior da célula para degradarem substratos maiores que posteriormente serão transportados para o interior da membrana celular (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). As enzimas microbianas são fundamentais para o funcionamento do ecossistema solo e têm sido estudadas para melhor entender o desempenho da comunidade microbiana nos ciclos biológicos (HINOJOSA et al., 2004). A escolha das enzimas a serem analisadas baseia-se na sua sensibilidade ao manejo do solo, na sua importância na ciclagem de nutrientes e na decomposição da matéria orgânica, bem como, na simplicidade da análise (TOTOLA & CHAER, 2002).

Entre as enzimas responsáveis pelos principais processos catalíticos no solo destacam-se as hidrolases e oxirredutases. As hidrolases do solo são enzimas relacionadas com a mineralização de nutrientes essenciais aos ecossistemas terrestres, como C, N, P e S (CHAER & TOTOLA, 2007). Nesta classe encontram-se as polissacaridases (β - glicosidase, celulase, xilanase), a protease, a invertase, a urease, a arilsulfatase e as fosfatases.

A β -glucosidase é uma das enzimas mais importantes do solo, atua hidrolisando os oligossacarídeos e a celobiose promovendo a produção da glicose (CHUNDAWAT et al., 2011; SINGHANIA et al., 2013). Essa enzima participa do ciclo do carbono, atuando na etapa inicial da degradação de compostos orgânicos e no último passo da degradação de celulose (ADAMCZYK et al., 2014). Segundo Tabatabai (1994), a atividade da β -glucosidase pode ser afetada por vários fatores, dentre os quais se destacam a qualidade e quantidade de material celulolítico e as variações físico-químicas do solo (BITTAR; FERREIRA; CORRÊA, 2013; PEIXOTO et al., 2010).

As fosfatases catalisam a hidrólise de fósforo orgânico a fósforo inorgânico ésteres de fosfatos, disponibilizando-o assim as plantas e microrganismos (SUGIER; KOŁODZIEJ; BIELIŃSKA, 2013). Essas enzimas podem ter origem a partir de microrganismos, como também de animais e raízes de plantas. De acordo com seu pH ótimo de ação, podem ser classificadas como ácidas (pH 6,5) ou alcalinas (pH 11) (ALEF & NANNIPIERI, 1995b; TABATABAI, 1994; ZENG et al., 2007).

A urease é uma enzima extracelular produzida por bactérias, actinomicetos e fungos do solo ou ainda originada de resíduos vegetais (REYNOLDS et al., 1987;

LANNA et al., 2010). A urease participa do ciclo do N, está envolvida na hidrólise de uréia em dióxido de carbono e amônia, que pode ser assimilado por microrganismos e plantas (KIZILKAYA & BAYRAKLI, 2005). A análise da atividade de urease no solo pode fornecer uma indicação do potencial do solo em converter N orgânico em mineral, dando início ao processo de mineralização do N (LANNA et al., 2010). Menor atividade desta enzima pode estar atribuída a baixos teores de nitrogênio no solo (CARNEIRO et al., 2008).

A arilsulfatase está envolvida no metabolismo do S sendo responsável pela hidrólise das ligações do tipo éster de sulfato e liberação de íons sulfato (TABATABAI, 1994; SCHINNER et al., 1996, YADA et al., 2015). A arilsulfatase foi detectada em inúmeros tipos de solos (LOPES et al., 2013; MENDES et al., 2012a), e vem sendo usada como indicadora indireta da presença de fungos no solo, uma vez que somente os fungos possuem ésteres de sulfatos (BANDICK & DICK, 1999).

Outra avaliação da atividade heterotrófica do solo é a determinação da atividade de hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA). Este substrato é hidrolisado por diversas enzimas do solo, como as proteases, lipases e esterases que são liberadas em grande quantidade pelos decompositores primários, como as bactérias e fungos, servindo como indicador da atividade da biomassa do solo (CHAVEZ et al., 2011; GREEN; STOTT; DIACK, 2007; MELO et al., 2010). Aproximadamente 90% do fluxo de energia no solo passa pelos decompositores microbianos e, portanto, uma análise que permita mensurar a atividade global desses microrganismos, pode fornecer uma boa estimativa da atividade microbiológica total do solo (BATISTA et al., 2008; GHINI; MENDES; BETTIOL, 1998; CHAVEZ et al., 2011).

Dentre as oxirredutases, a desidrogenase é a mais frequentemente estudada. A atividade da desidrogenase reflete a atividade oxidativa total da microbiota do solo, sendo considerada bom indicador da atividade microbiana (BUZINARO; BARBOSA; NAHAS, 2009; YADA et al., 2015).

Devido à sensibilidade, as alterações ocorridas no solo pelo uso e manejo ou outras influências antrópicas, a atividade das enzimas têm sido sugerida como um potencial indicador da qualidade do solo (CHAER & TÓTOLA, 2007). Além disso, a atividade enzimática do solo pode fornecer informações sobre o metabolismo microbiano e disponibilidade de recursos no ambiente (SINSABAUGH et al., 2012),

forneendo em curto espaço de tempo informações relevantes a respeito da funcionalidade da microbiota edáfica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de estudo

O Parque Nacional de Sete Cidades - (PNSC), (04° 02' - 08'S e 41° 40' - 45'W) está localizado no estado do Piauí, entre os municípios de Brasileira e Piracuruca, ocupa uma área de 6.221,48 ha (Figura 1). O clima da região é C₂w₂A'4a' (THORNTHWAITE & MATHER, 1955), tropical subúmido-úmido, quarto megatérmico e pequena amplitude térmica anual, temperatura máxima anual de 28,1 °C e mínima de 25,6 °C. A precipitação média anual é de 1.558 mm e as chuvas ocorrem no período de dezembro a maio e a estação seca se prolonga de junho a novembro (OLIVEIRA, 2004). O PNSC apresenta diferentes tipos de solos, tais como Neossolos, Latossolos e Plintossolos (EMBRAPA, 1999b). As características físicas e os tipos de solos das áreas estudadas são apresentados na Tabela 1. A topografia do local é suavemente ondulada e as altitudes variam de 150 m ao Noroeste a 290 m ao norte do PNSC. A vegetação é composta por diversos tipos fitofisionômicos que variam desde formações campestres até florestais. Informações sobre as famílias e espécies de plantas encontradas nas áreas selecionadas para este estudo são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1. Propriedades físicas e tipos de solos nas diferentes fisionomias do cerrado

Áreas	Areia	Silte	Argila	Tipos de Solo
CG	87,32	6,48	6,10	Neossolo Quartzarênico
CS	78,51	13,60	7,89	Latossolo
CD	74,11	16,72	9,17	Latossolo

Áreas: Campo Graminóide (CG), Cerrado *sensu stricto* (CSS), Cerradão (CD).

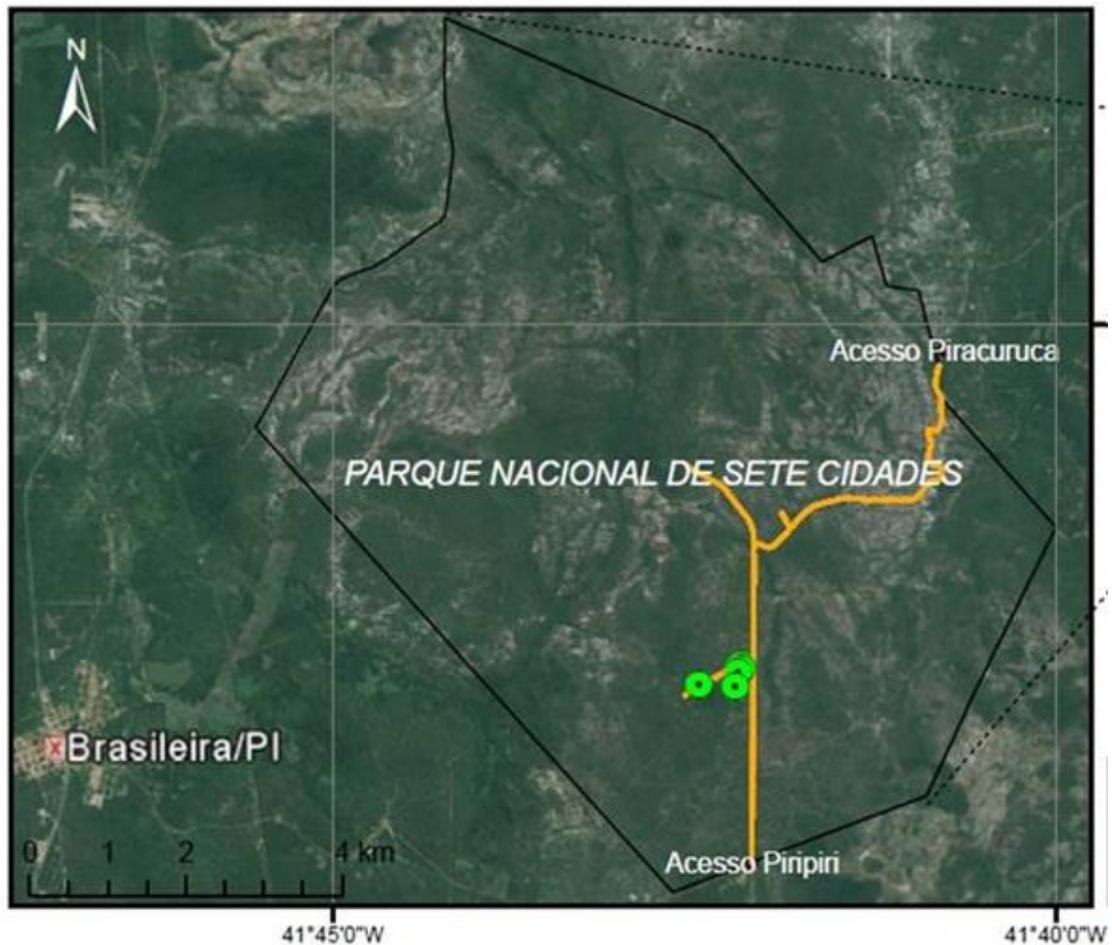


Figura 1. Parque Nacional de Sete Cidades, PI. Fonte: Google Maps.

3.2. Coleta das amostras

O estudo foi conduzido ao longo de um gradiente vegetacional formado pelas fitofisionomias: Campo Graminóide (CG), Cerrado *sensu stricto* (CSS) e Cerradão (CD) (Figura 2). As áreas sob gradiente vegetacional fazem parte das parcelas permanentes do Projeto Ecológico de Longa Duração (PELD). Para coleta das amostras, parcelas de 100 m² foram divididas em três transectos e em cada transecto foram coletadas três amostras de solo na profundidade de 0-20 cm, totalizando nove amostras por área. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, transportadas ao laboratório e mantidas sob refrigeração (4 °C) até o processamento. As coletas foram realizadas em maio (período chuvoso) e outubro (período seco) de 2014.

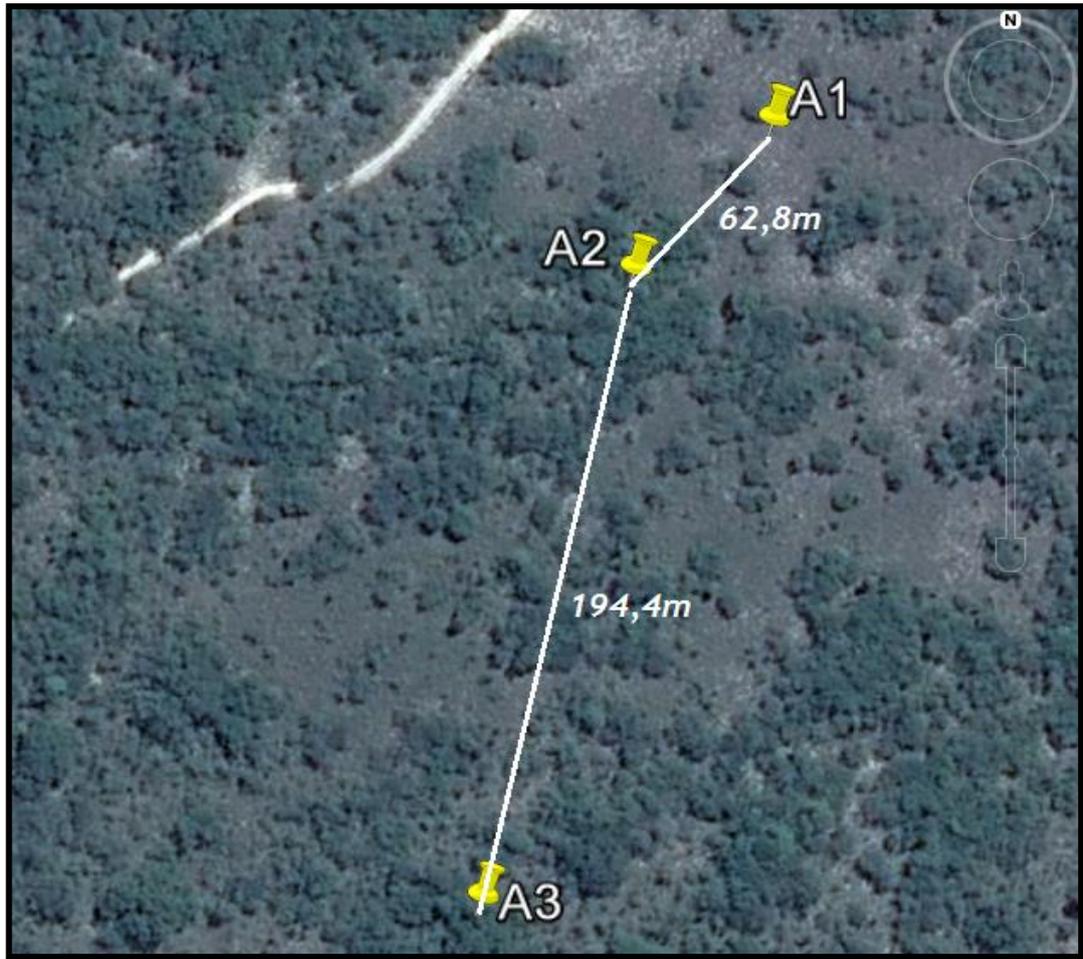


Figura 2. Áreas de estudo no Parque Nacional de Sete Cidades (PNSC). A1= Campo Graminóide, A2 = Cerrado *sensu stricto*, A3= Cerradão. Fonte: Google Maps.

Tabela 2. Espécies de plantas em gradiente vegetacional no cerrado piauiense, Campo Graminóide (CG), Cerrado *sensu stricto* (CSS) e Cerradão (CD)

Espécies de plantas	CG	CSS	CD
Anacardiaceae - <i>Anacardium occidentale</i> Lineus			X
Anacardiaceae - <i>Astronium fraxinifolium</i> Schott			X
Annonaceae - <i>Annona coriacea</i> Mart.		X	
Apocynaceae - <i>Himatanthus drasticus</i> (Mart.) Plumel			X
Bignoniaceae - <i>Handroanthus serratifolius</i> (A.H.Gentry)		X	X
Caryocaraceae - <i>Caryocar coriaceum</i> Wittm.			X
Combretaceae - <i>Combretum duarteanum</i> Cambess.		X	X
Combretaceae - <i>Combretum leprosum</i> Mart.			X
Combretaceae - <i>Terminalia fagifolia</i> Mart. & Zucc. ex Eichler		X	
Ebenaceae - <i>Diospyros sericea</i> A.DC.			X
Euphorbiaceae - <i>Croton sonderianus</i> Müll.Arg.	X		
Fabaceae - <i>Copaifera coriacea</i> Mart.			X
Fabaceae - <i>Dimorphandra gardneriana</i> Tul.			X
Fabaceae - <i>Hymenaea courbaril</i> L.		X	X
Fabaceae - <i>Luetzelburgia auriculata</i> (Allemão) Ducke		X	
Fabaceae - <i>Machaerium acutifolium</i> Vogel		X	
Fabaceae - <i>Parkia platycephala</i> Benth.		X	X
Fabaceae - <i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	X	X	
Fabaceae - <i>Stryphnodendron coriaceum</i> Benth.			X
Fabaceae - <i>Tapirira guianensis</i> Aubl.		X	X
Fabaceae - <i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke		X	X
Malpighiaceae - <i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth		X	X
Myrtaceae - <i>Campomanesia aromatica</i> (Aubl.) Griseb.			X
Myrtaceae - <i>Eugenia puniceifolia</i> (Kunth) DC.		X	X
Myrtaceae - <i>Psidium myrsinites</i> DC.			X
Olaceae - <i>Ximenia americana</i> L.			X
Poaceae - <i>Aristida longifolia</i> Trin	X	X	X
Rubiaceae - <i>Guettarda viburnoides</i> Cham. & Schltldl.		X	X
Verbenaceae - <i>Lippia organoides</i> Kunth	X		
Vochysiaceae - <i>Qualea grandiflora</i> Mart.		X	
TOTAL	4	16	22

Áreas: Campo Graminóide (CG), Cerrado *sensu stricto* (CSS), Cerradão (CD).

3.3. Análises físico-químicas do solo

Para as análises químicas, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneiras com abertura de malha de 2 mm. O pH do solo foi determinado em solução de solo: água (1:2,5 v/v) (EMBRAPA, 1999a). A acidez potencial (H+Al) foi mensurada após extração com acetato de cálcio (EMBRAPA, 1999a). P e K⁺ foram extraídos com solução Mehlich I, sendo o P quantificado por espectrofotometria e K⁺ por fotometria de chama (SILVA, 2009). Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ foram extraídos com cloreto de potássio (KCl 1N) e quantificados por titulometria (SILVA, 2009). O carbono orgânico total foi determinado por oxidação com dicromato de potássio (WALKLEY-BLACK), conforme Tedesco; Volkweiss; Bonhen. (1995). O nitrogênio total do solo foi determinado pelo método da destilação com arraste a vapor (BREMNER, 1996). A umidade do solo foi determinada gravimetricamente após secagem do solo em estufa (105° C/24 h) (EMBRAPA, 1997). A temperatura do solo foi determinada por meio da inserção de termômetro específico na profundidade de 0-20 cm.

3.4. Análise das propriedades microbiológicas do solo

O carbono da biomassa microbiana (CBM) foi estimado pelo método da irradiação e extração (FERREIRA; CAMARGO; VIDOR, 1999). O carbono foi extraído das amostras irradiadas e não irradiadas com K₂SO₄ (0,5M) na proporção 1:4 (solo: solução). As amostras foram agitadas por 30 minutos, procedendo-se a filtração e oxidação com dicromato de potássio (0,66 mM). A quantificação do carbono foi realizada pela titulação com sulfato ferroso amoniacal (0,033 N), usando o ferroin como indicador. O carbono extraído foi convertido em carbono microbiano usando fator de correção K_c = 0,213 (ISLAM & WEIL, 1998). A partir dos valores obtidos do CBM e do carbono orgânico total foi calculado o quociente microbiano (ANDERSON & DOMSH, 1993).

A respiração basal foi estimada pela quantificação do CO₂ liberado durante sete dias de incubação do solo em sistema fechado. O CO₂ produzido foi capturado em solução de NaOH e posteriormente titulado com HCL (0,05 mol L⁻¹) usando fenolftaleína 1 % como indicador (ALEF, 1995a). O quociente metabólico (qCO₂) foi

determinado pela razão entre o C-CO₂ liberado pela respiração e o CBM (ANDERSON & DOMSCH, 1985).

A hidrólise do diacetato de fluoresceína (FDA) foi determinada pelo método proposto por Swisher & Carroll, 1980. Subamostras de solo (5g) foram incubadas com 20 ml de tampão fosfato de potássio (66 mM; pH 7,6) e 200 µL de solução de diacetato de fluoresceína (0,02 g 10 mL⁻¹ acetona) por 30 min. Após este período, a reação foi interrompida pela adição de 20 ml de acetona e as leituras realizadas em espectrofotômetro (490 nm). Os valores de atividade foram expressos em µg FDA g⁻¹ solo⁻¹.

A atividade da desidrogenase foi mensurada como a taxa de redução do cloreto de trifeniltetrazólio (TTC) para trifenilformazan (TFF) (CASIDA; KLEIN; SANTORO, 1964). Foram incubados 2g de solo com 2 mL de solução de TTC 3% por 24 horas a 37 °C. O TFF formado pela ação da desidrogenase pela redução do TTC foi extraído com 5 mL de metanol e medido em espectrofotômetro a 485 nm. Os valores de atividade dessa enzima foram expressos em µg TFF g⁻¹ solo h⁻¹.

Para a atividade da β-glicosidase, utilizou-se o método proposto por EIVAZI & TABATABAI, 1988. Pesou-se 0,5 g de solo e em seguida foram adicionados 2 mL tampão MUB (pH 6,5) e 0,5 mL de solução de *p*-nitrofenol-β-D-glicopiranosídeo (25 mM). As amostras foram incubadas por 1 h a 37 °C. Após esse período, adicionaram-se 0,5 mL de CaCl₂ (0,5 M) e 2 mL do tampão tris ph 12. As amostras foram filtradas e as leituras realizadas em espectrofotômetro a 410 nm. Os valores de atividade foram expressos em µg *p*-nitrofenol glicosídeo g⁻¹ solo h⁻¹.

A atividade da fosfatase ácida foi realizada de acordo com Tabatabai & Bremner, 1969. Amostras de 0,5 g de solo foram incubadas com 2 mL tampão MUB (pH 6,5) e 0,5 mL de solução de *p*-nitrofenil fosfato (0,115 M) por 1h a 37°C. Em seguida foram adicionados 0,5 mL de CaCl₂ (0,5 M) e 2 mL de NaOH (0,5 M). A intensidade da coloração foi mensurada em espectrofotômetro a 410 nm. Os valores de atividade foram expressos em µg *p*-nitrofenol fosfato g⁻¹ solo h⁻¹.

A atividade da arilsulfatase foi avaliada seguindo a metodologia proposta por TABATABAI & BREMNER, 1970. Amostras de 0,5 g de solo foram incubadas com 2 mL de tampão acetato (0,5 mol L⁻¹) pH 5,8 e 0,5 mL de *p*-nitrofenil sulfato (PNS) durante 1 h a 37°C. Após esta reação, adicionaram-se 0,5 mL de CaCl₂ (0,5 M) e 2 mL de NaOH (0,5 M). As amostras foram filtradas e as leituras realizadas em

espectrofotômetro a 400 nm. Os valores de atividade foram expressos em $\mu\text{g } p\text{-nitrofenol sulfato g}^{-1}\text{ solo h}^{-1}$.

A atividade da urease foi mensurada por determinação da amônia liberada após a incubação do solo (2,5g) com solução de uréia por 2 h a 37°C (KANDELER & GERBER, 1988). A intensidade da coloração (formação de um complexo de coloração verde) foi mensurada em espectrofotômetro a 690 nm. Os valores de atividade foram expressos em $\text{N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo}^{-1}$.

Todas as amostras foram analisadas em duplicatas a partir de subamostras mantidas sob refrigeração (aproximadamente 4°C).

3.5. Análise estatística

Os dados das propriedades microbiológicas e físico-químicas do solo foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as diferenças estatísticas entre as médias foram acessadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa ASSISTAT versão 7.7 (2014). Os dados das propriedades microbiológicas foram ordenados por meio de escalonamento multidimensional não métrico (NMS) baseado na distância de Sorensen. Uma matriz secundária foi utilizada para sobrepor as propriedades físico-químicas e microbiológicas, permitindo a avaliação direta da relação de cada variável com as mudanças no funcionamento microbiano do solo.

Diferenças estatísticas entre as áreas foram analisadas usando o procedimento de permutação multi-resposta (MRPP), baseado na distância de Sorensen. O MRPP é um método não paramétrico para testar diferença entre grupos no espaço multidimensional. O MRPP e o NMS foram realizados utilizando o pacote estatístico PC-ORD 6.0 (MjM Software, Gleneden Beach, OR, EUA).

4. RESULTADOS

As áreas, os períodos de coleta e suas interações influenciaram significativamente as propriedades microbiológicas do solo (Tabela 3), exceto o qCO_2 e a atividade da urease que não apresentaram diferenças significativas entre os períodos e as áreas, respectivamente. A interação (área x período) não influenciou significativamente as atividades da arilsulfatase e urease (Tabela 3).

Tabela 3. Valores do teste *F* das fontes de variação das propriedades microbiológicas do solo

Valores de <i>F</i>	Área (A)	Período (P)	AxP
CBM	76,93 **	37,43 **	5,87 **
RB	6,70 **	51,71 **	5,58 *
qCO₂	41,28 **	1,77 ^{ns}	38,45 **
qMic	7,39 **	39,64 **	9,42 **
FDA	32,20 **	712,74 **	6,91 **
DES	42,94 **	61,14 **	8,38 **
GLU	66,57 **	84,79 **	27,80 **
FOS	232,26 **	2288,85 **	107,27 **
URE	1,42 ^{ns}	3520,27 **	1,85 ^{ns}
ARIL	186,59 **	37,88 **	2,62 ^{ns}

** =1% , * = 5%, ^{ns} = não significativo. Carbono da biomassa microbiano (CBM); Respiração Basal (RB); Quociente metabólico (qCO₂); Quociente microbiano (qMic); Hidrólise do Diacetato de Fluoresceína (FDA); Desidrogenase (DES); β-glicosidase (GLU); Fosfatase ácida (FOS); Urease (URE) e Arilsulfatase (ARIL).

As propriedades físico-químicas apresentaram variações ao longo do gradiente vegetacional de cerrado (Tabela 4). A temperatura do solo foi maior no Campo Graminóide durante o período seco e não variou no período chuvoso. A área sob Campo Graminóide apresentou pH mais elevado e menores teores de Ca+Mg, K, P, N e COT em comparação as áreas de Cerrado SS e Cerradão nos dois períodos de amostragem.

Da mesma forma, as propriedades microbiológicas apresentaram mudanças ao longo do gradiente (Tabela 5). Os valores de CBM foram maiores no Cerradão durante os períodos chuvoso e seco, enquanto o Campo Graminóide apresentou os menores valores de CBM. A respiração basal foi maior no Cerrado SS e no Cerradão em relação ao Campo Graminóide durante o período chuvoso, não apresentando diferença entre as áreas no período seco (Tabela 5). Os quocientes metabólico e microbiano não apresentaram diferenças entre as áreas no período chuvoso. Por outro lado, no período seco a área sob campo graminóide apresentou maior qCO₂ e menor qMIC.

Tabela 4. Propriedades físico-químicas do solo em diferentes fisionomias vegetais no Parque Nacional de Sete Cidades, PI

Área	Tem °C	Umi %	pH (H ₂ O)	H+Al(cmolc/dm ³).....	Ca+Mg	K	CTC _t	P (mg/dm ³)	COT (g/kg)	N (dag/kg)
Período Chuvoso										
CG	27,2 a	8,04 c	4,95 a	1,52 c	0,14 b	1,33 b	1,68 b	3,57 b	4,46 b	0,02 b
CSS	26,5 a	9,90 b	4,85 b	3,33 b	0,45 a	1,86 a	2,66 a	4,87 a	8,12 a	0,03 a
CD	26,3 a	12,06 a	4,79 b	4,86 a	0,42 a	1,80 a	2,58 a	4,81 a	8,84 a	0,03 a
Período Seco										
CG	39,7 a	0,19 a	4,81 a	1,35 c	0,26 b	1,13 b	1,70 b	1,89 b	4,52 b	0,02 b
CSS	33,8 b	0,18 a	3,89 b	2,60 b	0,53 a	1,59 a	2,46 a	3,01 a	7,50 a	0,03 a
CD	32,8 b	0,23 a	4,26 b	3,56 a	0,47 a	1,76 a	2,75 a	3,04 a	8,57 a	0,03 a

Áreas: Campo Graminóide (CG), Cerrado *sensu stricto* (CSS), Cerradão (CD). Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Tem = Temperatura, Umi = Umidade, H+Al = Acidez potencial, CTC_t = Capacidade de troca de cátions efetiva, COT = Carbono orgânico total.

Tabela 5. Carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal (RB), quociente metabólico (qCO₂) e microbiano (qMIC) em solos de diferentes fisionomias vegetais no Parque Nacional de Sete Cidades, PI

Áreas	CBM (mg C g ⁻¹ solo)	RB (mg C- CO ₂ g ⁻¹ solo)	qCO ₂	qMIC (%)
Período Chuvoso				
CG	101,29 c	22,00 b	0,22 a	2,28 a
CSS	136,81 b	32,19 a	0,24 a	1,66 a
CD	180,22 a	36,29 a	0,21 a	2,16 a
Período Seco				
CG	40,61 c	17,87 a	0,45 a	0,90 b
CSS	122,71 b	18,96 a	0,16 b	1,66 a
CD	151,06 a	19,76 a	0,13 b	1,78 a

Áreas: Campo Graminóide (CG), Cerrado *sensu stricto* (CSS), Cerradão (CD). Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As atividades da desidrogenase, da β -glicosidase, da arilsulfatase e a hidrólise do FDA apresentaram valores significativamente menores no Campo Graminóide e maiores no Cerrado SS e Cerradão, nos períodos chuvoso e seco (Tabela 6). Variações significativas na atividade da fosfatase foram observadas durante a estação seca, observando-se redução da atividade ao longo do gradiente. No período chuvoso não foram observadas mudanças na atividade da fosfatase (Tabela 6).

Tabela 6. Atividade enzimática em solos de diferentes fisionomias vegetais no Parque Nacional de Sete Cidades, PI

Áreas	DES	FDA	GLU	FOS	URE	ARIL
	($\mu\text{g TTF g}^{-1} \text{ solo h}^{-1}$)	($\mu\text{g FDA g}^{-1} \text{ solo}^{-1}$)	($\mu\text{g PNG g}^{-1} \text{ solo}^{-1}$)	($\mu\text{g PNP g}^{-1} \text{ solo}^{-1}$)	($\text{N-NH}_4 \text{ g}^{-1} \text{ solo}^{-1}$)	($\mu\text{g PNS g}^{-1} \text{ solo}^{-1}$)
Período Chuvoso						
CG	4,77 b	181,72 b	10,45 b	134,83 a	59,56 a	5,28 c
CSS	7,44 a	218,77 a	38,17 a	138,55 a	62,73 a	15,48 b
CD	8,58 a	204,22 a	35,09 a	132,17 a	60,27 a	19,82 a
Período Seco						
CG	2,61 c	48,10 b	11,55 b	106,09 a	14,20 a	3,42 c
CSS	4,29 b	95,75 a	15,73 a	96,97 b	14,03 b	11,27 b
CD	7,95 a	109,29 a	20,01 a	70,75 c	14,61 a	14,63 a

Áreas: Campo Graminóide (CG), Cerrado *sensu stricto* (CSS), Cerradão (CD), Médias seguidas por letras iguais, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, DES, Desidrogenase; FDA, hidrólise do diacetato de fluoresceína; Glu, β -glicosidase; Fos, Fosfatase ácida; Ure, Urease; Aril, Arilsulfatase.

A análise de NMS explicou 93% da variação total dos dados, o eixo 1 explicou 70% e o 2, 23% (Figura 3). A distribuição das amostras ao longo do eixo 1 apresentou correlação positiva com as variáveis microbiológicas, com exceção do qCO_2 que correlacionou-se negativamente e a atividade da fosfatase que não apresentou correlação significativa (Tabela 7). Em relação às variáveis físico-químicas, apenas o pH não apresentou correlação com o eixo 1. O eixo 2 correlacionou-se positivamente com a maioria das variáveis biológicas, com os teores H+Al, K, P e com o percentual de umidade. A temperatura do solo foi negativamente correlacionada com os dois eixos da ordenação (Tabela 7).

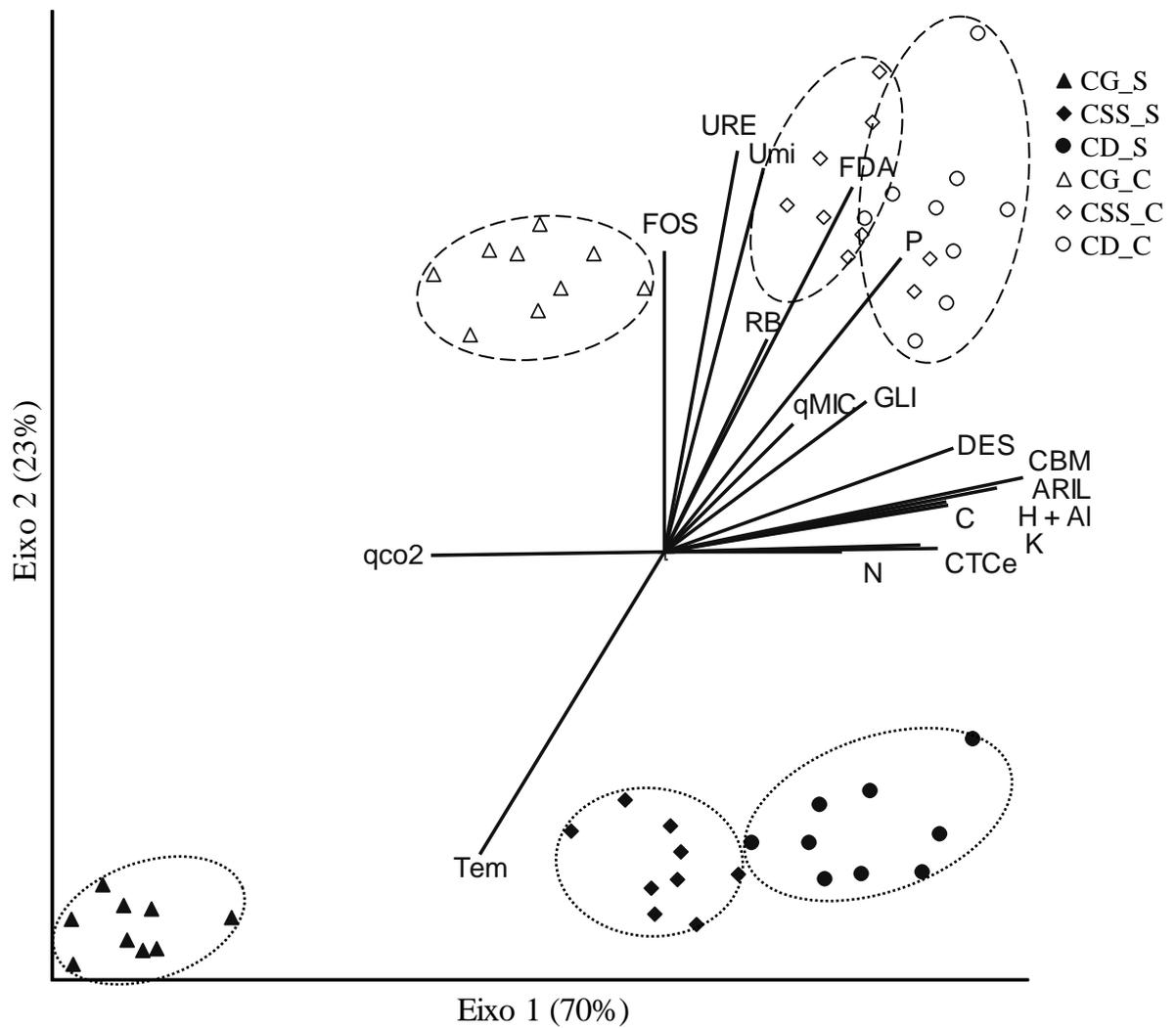


Figura 3. Mudanças nas propriedades microbiológicas em solos sob diferentes fisionomias vegetais de cerrado no Parque Nacional de Sete Cidades em resposta aos diferentes períodos de amostragem, de acordo com a ordenação NMS.

Tabela 7. Coeficiente de correlação de Pearson (r) entre as propriedades do solo e os eixos 1 e 2 da ordenação NMS

	NMS Eixo 1	NMS Eixo 2
CBM	0,923***	0,423**
qMIC	0,555***	0,555***
RBS	0,494**	0,715***
qCO₂	-0,745***	-0,113 ^{ns}
DES	0,830***	0,498**
FDA	0,669***	0,934***
GLI	0,692***	0,599***
FOS	0,065 ^{ns}	0,850***
ARIL	0,889***	0,396*
URE	0,416*	0,979***
H+Al	0,823***	0,340*
Ca+Mg	0,571***	-0,179 ^{ns}
pH	0,093 ^{ns}	0,244 ^{ns}
K	0,819***	0,351*
P	0,753***	0,839***
C	0,781***	0,137 ^{ns}
N	0,650***	0,019 ^{ns}
CTC_t	0,807***	0,102 ^{ns}
Umi	0,486**	0,959***
Tem	-0,663***	-0,852***

^{ns} não significativo; * P< 0,05; ** P<0,01; *** P< 0,001.

A análise das propriedades microbiológicas usando o MRPP demonstrou que as áreas estudadas foram claramente separadas em diferentes grupos. A separação das fisionomias em grupos evidencia que cada área apresenta biomassa e atividade microbiana distintas nos dois períodos de amostragem (Figura 3 e Tabela 8). Os grupos estão dispostos na ordenação da esquerda para direita da seguinte maneira: CG<CSS<CD. De acordo com os resultados das correlações de Pearson (Tabela 7), ao longo deste gradiente observou-se incremento na biomassa, atividade enzimática, e disponibilidade de nutrientes, além de redução de temperatura do solo.

Tabela 8. Valores de p para comparações do MRPP com as diferentes áreas de cerrado em dois períodos

Áreas	Valores de P
CG_S vs. CSS_S	0,000021***
CG_S vs. CD_S	0,000019***
CG_S vs. CG_C	0,000020***
CG_S vs. CSS_C	0,000019***
CG_S vs. CD_C	0,000019***
CSS_S vs. CD_S	0,000028***
CSS_S vs. CG_C	0,000019***
CSS_S vs. CSS_C	0,000019***
CSS_S vs. CD_C	0,000019***
CD_S vs. CG_C	0,000019***
CD_S vs. CSS_C	0,000018***
CD_S vs. CD_C	0,000018***
CG_C vs. CSS_C	0,000020***
CG_C vs. CD_C	0,000019***
CSS_C vs. CD_C	0,002691*

* $P < 0,05$; *** $P < 0,001$.

5. DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que as áreas e os períodos de coleta influenciaram as propriedades microbiológicas avaliadas promovendo efeitos significativos na biomassa microbiana, respiração basal e atividade das enzimas. A variação encontrada nas propriedades microbiológicas ao longo do gradiente pode estar relacionada à complexidade da vegetação, desde o Campo Graminóide até o Cerradão, que afeta a qualidade e a quantidade da serapilheira depositada no solo, consequentemente influenciando a biomassa microbiana e os processos bioquímicos. Por outro lado, os períodos de amostragem, estações chuvosa e seca, contribuíram para a variação na temperatura e na umidade do solo, fatores de grande influência sobre a comunidade microbiana. Particularmente, a umidade é um importante fator para a biomassa microbiana em solos de cerrado (MENDES et al., 2012a). Desta forma, os resultados mostraram que o período chuvoso contribuiu para maior umidade e consequente aumento da biomassa e atividade das enzimas do solo. Efeito semelhante foi observado por Nardoto & Bustamante (2003), que

avaliando o CBM em solos de cerrado do Planalto Central também encontraram maior biomassa microbiana e atividade das enzimas no período chuvoso.

O Cerrado SS e o Cerradão apresentaram maior conteúdo de CBM nos dois períodos avaliados. Estes resultados sugerem que a riqueza de plantas nesses ambientes pode ter promovido o aumento do CBM. O aporte contínuo e variado de substratos orgânicos provenientes da serrapilheira do Cerrado SS e Cerradão associada aos diferentes graus de suscetibilidade torna esses ambientes mais favoráveis para a biomassa microbiana do solo (SILVA et al., 2010b). A produção anual de serrapilheira no Cerradão é de 7,8 ton/ha, no Cerrado *sensu stricto* é 6,2 ton/ha, enquanto no Campo Graminóide é apenas 1,8 ton/ha (MEIRELLES & HENRIQUES, 1992; PERES et al., 1983, RIBEIRO et al., 2011). Em solo de cerrado no planalto central, Mendes et al. (2012a) observaram maiores valores de CBM no Cerradão, confirmando a influência da complexidade da cobertura vegetal na biomassa microbiana do solo.

A respiração do solo apresentou comportamento diferenciado entre os períodos seco e chuvoso. No período chuvoso, a baixa respiração basal no Campo Graminóide pode estar associada à limitação de C no sistema. Por outro lado, no período seco, a ausência de diferença significativa entre as áreas reflete o efeito adverso das variações temporais e demonstra que em solos de Cerrado no nordeste brasileiro a umidade é um dos fatores que direcionam a atividade da biomassa e consequentemente a respiração basal. Segundo Bastida et al. (2008) a respiração basal fornece informação sobre a disponibilidade de substrato, além de refletir os efeitos das mudanças temporais sobre a microbiota do solo.

Os resultados do qCO_2 encontrados no Campo Graminóide especialmente no período seco, mostram que maior respiração basal foi acompanhada de redução na biomassa microbiana, indicando perdas de C microbiano na forma de CO_2 . Baixos teores de matéria orgânica e nutrientes, bem como as condições temporais adversas podem ser responsáveis pelo aumento do qCO_2 . Por outro lado, os menores valores de qCO_2 observado nos solos do Cerrado SS e Cerradão sugerem condições favoráveis para a comunidade microbiana (PRAGANA et al., 2012). Valores elevados de qCO_2 , geralmente, estão associados a ecossistemas jovens, ou seja, submetidos a alguma condição de estresse, enquanto que menores valores refletem sistemas maduros e estáveis (ANDERSON & DOMSCH, 1993).

Baixos valores de qMIC encontrados no Campo Graminóide confirmam a existência de fatores limitantes à biomassa microbiana (JAKELAITIS et al., 2008), tais como menores quantidades de resíduos orgânicos (GAMA-RODRIGUES & GAMA-RODRIGUES, 2008) e umidade no solo (MENDES et al., 2012a). Enquanto, maiores valores de qMIC encontrados no Cerrado SS e Cerradão refletem a eficiência na imobilização do C pelos microrganismos do solo (LEITE et al., 2003; FERNANDES et al., 2012).

A maior disponibilidade de C orgânico e nutrientes nas áreas de Cerrado SS e Cerradão influenciaram positivamente a atividade das enzimas do solo. Estudos anteriores em áreas de Cerrado, tanto comparando áreas preservadas (MENDES et al., 2012b) quanto agricultáveis (LONGO; RIBEIRO; MELO, 2011) tem mostrado que estes fatores influenciam a atividade das enzimas do solo. Particularmente, o carbono orgânico tem efeito significativo sobre a atividade enzimática como fonte de C, N, P e S para a microbiota (EMERLING et al., 2000). Estudos recentes mostraram o efeito positivo do conteúdo de carbono orgânico do solo sobre a atividade de hidrólise do FDA (CARNEIRO et al., 2013), desidrogenase (LINO et al., 2016), β -glicosidase (MGANGA; RAZAVI; KUZUYAKOV, 2015) e arilsulfatase (MENDES et al., 2012a). A umidade do solo também é um fator que favorece a atividade enzimática do solo influenciando a disponibilidade de substrato (CARVALHO et al., 2010).

No presente estudo, a técnica de ordenação multivariada revelou características importantes dos solos que podem ajudar a entender melhor a influência do gradiente vegetacional e das variações temporais nas propriedades microbiológicas do solo. O NMS demonstrou que a complexidade da cobertura vegetal ao longo do gradiente influenciou fortemente a biomassa e a atividade microbiana. De acordo com Sugihara et al. (2015) a cobertura vegetal tem implicações direta na quantidade e qualidade da serapilheira que é um importante fator para o funcionamento metabólico do solo (MYERS et al., 2001). Variações no funcionamento microbiano do solo geralmente refletem mudanças na disponibilidade de substrato (quantidade e qualidade) (HOU et al., 2016).

Em relação aos períodos de amostragem, observou-se forte separação das fisionomias, sendo as mudanças nas propriedades microbiológicas mais acentuadas durante o período seco. Solos excessivamente secos tendem a apresentar redução da biomassa e atividade enzimática devido a limitação de fornecimento de substratos derivados das plantas (ALLISON & TRESEDER, 2008). Nesse sentido, a

área sob Campo Graminóide foi mais influenciada pelas variações temporais na época seca, certamente porque a pouca cobertura vegetal nessa fisionomia favoreceu o incremento da temperatura do solo e conseqüentemente a redução da umidade. Segundo DeAngelis et al. (2015) temperaturas elevadas podem promover mudanças no comportamento da comunidade microbiana e a longo prazo podem reduzir a população de microrganismos ativos no solo. Durante o período chuvoso, as áreas de Cerrado SS e Cerradão apresentaram-se mais similares, evidenciando que a manutenção das condições de umidade e a maior disponibilidade de nutrientes podem contribuir para incrementar a atividade microbiológica em solos de cerrado. Mudanças na atividade microbiana em função das variações temporais, em geral, estão relacionadas ao conteúdo de umidade do solo, principal regulador na dinâmica temporal da atividade biológica do solo (CRIQUET et al., 2004).

6. CONCLUSÕES

A variação entre as áreas no gradiente vegetacional de cerrado preservado no PNSC influencia o tamanho da biomassa microbiana e a atividade microbiana do solo resultando em aumento da biomassa e atividade microbiana na área sob Cerradão.

As propriedades químicas e variações temporais influenciam o comportamento das propriedades microbiana do solo ao longo do gradiente de cerrado. Neste caso, a área sob Campo Graminóide é mais vulnerável as mudanças temporais em função da sua formação fisionômica.

O teor de C, a umidade e a temperatura do solo são os principais reguladores das propriedades biológicas em solos sob cerrado preservado.

REFERÊNCIAS

- ADAMCZYK, B.; KILPELÄINEN, P.; KITUNEN, V.; SMOLANDER, A. Potential activities of enzymes involved in N, C, P and S cycling in boreal forest soil under different tree species. **Pedobiologia: Journal of Soil Ecology**, v. 57, p. 97-102, 2014.
- AGUIAR, T. J. A.; MONTEIRO, M. S. L. Modelo agrícola e desenvolvimento sustentável: A ocupação do cerrado piauiense. **Ambiente e Sociedade**, v. 8, p. 1-18, 2005.
- ALEF, K. Estimation of soil respiration. In: ALEF, K.; NANNIPIERI, P. (eds.). **Methods in soil microbiology and biochemistry**. New York: Academic Press, 1995a. p. 464-470.
- ALEF, K.; NANNIPIERI, P. **Methods in applied soil microbiology and biochemistry**. Londres: Academic Press, 1995b.
- ALLISON, S. D.; TRESEDER, K. K. Warming and drying suppress microbial activity and carbon cycling in boreal forest soils. **Global Change Biology**, v. 14, p. 2898-2909, 2008.
- ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSUOKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, p. 341-347, 2011.
- AMARAL, A. G.; PEREIRA, F. F. O; MUNHOZ, C. B. R. Fitossociologia de uma área de cerrado rupestre na fazenda sucupira, Brasília - DF. **Cerne**, v. 12, p. 350-359, 2006.
- ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 25, p. 393-395, 1993.
- ANDERSON, T - H.; DOMSCH, K. H. Maintenance carbon requirements of actively metabolizing microbial populations under in situ conditions. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 17, p. 197- 203, 1985.
- ARAÚJO, A. S. F.; CESARZ, S.; LEITE, L. F. C.; DANIEL, C. B.; TSAI, S. M.; EISENHAUER, N. Soil microbial properties and temporal stability in degraded and restored lands of Northeast Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 66, p. 175 - 181, 2013.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1099-1108, 2007.
- ARRUDA, M. B.; PROENÇA, C. E. B.; RODRIGUES, S. C.; CAMPOS, R. N.; MARTINS, R.C. Ecorregiões, unidades de conservação e representatividade ecológica do bioma Cerrado. pp. 229–270. In: Sano, S. M., Almeida, S. P., Ribeiro, J. F (Eds.), **Cerrado: Ecologia e Flora**. Brasília: Embrapa Cerrados, v. 1, 406p, 2008.

- BANDICK, A. K.; DICK, R. P. Field management effects on soil enzyme activities. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 31, p. 1471–1479, 1999.
- BARROSO, G. M.; GUIMARÃES, E. F. Excursão botânica ao Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí. **Rodriguésia**, v. 32, p. 241-267, 1980.
- BASTIDA, F.; BARBERÁ, G. G.; GARCÍA, C.; HERNÁNDEZ, T. Influence of orientation, vegetation and season on soil microbial and biochemical characteristics under semiarid conditions. **Applied soil Ecology**, v. 38, p. 62-70, 2008.
- BATISTA, Q. R.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A.; SILVA, C. F. Bioqualidade de área degradada pela extração de argila, revegetada com *Eucalyptus* spp. e Sabiá. **Revista Caatinga**, v. 21, p. 166-178, 2008.
- BHATTACHARYYA, P.; TRIPATHY, S.; CHAKRABARTI, K.; CHAKRABORTY, A.; BANIK, P. Fractionation and bioavailability of metals and their impacts on microbial properties in sewage irrigated soil. **Chemosphere**, v. 72, p. 543-550. 2008.
- BITTAR, I. M. B.; FERREIRA, A. S.; CORRÊA, G. F. Influence of soil texture on microbial activity, carbon decomposition and mineralization of litter in soils of the brazilian cerrado under incubation. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1952-1960, 2013.
- BRASIL. **Ações prioritárias para a conservação da biodiversidade do cerrado e pantanal**. 1999. Disponível em: <<http://www.conservation.org.br>> Acesso em 24 set. 2015.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. **Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza – SNUC**: 3. ed. aum. Brasília: MMA/SBF, 2003. 52p.
- BREMNER, J. M. Nitrogen Total. In: SPARKS, D. L. (Ed). **Methods of soil analysis**: Part 3. Madison: America Society of Agronomy, 1996. p. 1085-1121.
- BURNS, R. G.; DE FOREST, J. L.; MARXSEN, J.; SINSABAUGH, R. L.; STROMBERGER, M. E.; WALLENSTEIN, M. D.; WEINTRAUB, M. N.; ZOPPINI, A. Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 58, p. 216-234, 2013.
- BUZINARO, T. N.; BARBOSA, J. C.; NAHAS, E. Atividade microbiana do solo em pomar de laranja em resposta ao cultivo de adubos verdes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, p. 408-415, 2009.
- CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; MOREIRA, F. M. S.; CURI, N. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em pastagem cultivada e nativa no Pantanal. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v. 44, p. 631-637, 2009.
- CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B.; SILVEIRA NETO, A. N. 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.; PAULINO, H. B.; SALES, L. E. O.; VILELA, L. A. V. Attributes quality indicators in cerrado soils surrounding the parque nacional das emas, state of Goiás, Brazil. **Bioscience Journal**, v. 29, p. 1857-1868, 2013.

CARVALHO, P. C. de F.; ANGHINONI, I.; MORAES, A. de.; SOUZA, E. D. de.; SULC, R. M.; LANG, C. R.; FLORES, J. P. C.; LOPES, M. L. T.; SILVA, J. L. S.; CONTE, O.; WESP, C. de L.; LEVIEN, R.; FONTANELI, R. S.; BAYER, C. Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 88, p. 259-273, 2010.

CASIDA, L. E.; KLEIN, D. A.; SANTORO, T. Soil dehydrogenase activity. **Soil science**, v. 98, p. 371-376, 1964.

CHAER, G. M.; TÓTOLA, M. R. Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1381-1396, 2007.

CHÁVEZ, L. F.; ESCOBAR, L. F.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P. C. DE F.; E MEURER, E. J. Diversidade metabólica e atividade microbiana no solo em sistema de integração lavoura pecuária sob intensidades de pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1254-1261, 2011.

CHUNDAWAT, S.; BECKHAM, G.; HIMMEL, M.; DALE, B.; PRAUSNITZ, J. Deconstruction of lignocellulosic biomass to fuels and chemicals. **Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering**, v. 2, p. 121-145, 2011.

CRIQUET, S.; BRAUD, A. Efeitos de alterações orgânicas e minerais em atividades de P e fosfatase disponíveis em um solo degradado Mediterrâneo sob experimento de incubação de curto prazo. **Soil & Tillage Research**, v. 98, p. 164-174, 2008.

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. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 46, p. 291-323, 2008.

DEANGELIS, K. M.; POLD, G.; TOPÇUOĞLU, B. D.; DIEPEN, L. T. A. V.; VARNEY, R. M.; BLANCHARD, J. L.; MELILLO, J.; FREY, S. D. Long-term forest soil warming alters microbial communities in temperate forest soils. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, p. 104, 2015.

DE-POLLI, H.; PIMENTEL, M. S. Indicadores de qualidade do solo. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L. (eds.) **Processos biológicos no sistema solo-planta: ferramentas para uma agricultura sustentável**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Seropédica. 2005. p. 17-28.

DONAGEMMA, G. K.; CHAER, G. M.; BALIEIRO, F. de C.; PRADO, R. B.; ANDRADE, A. G.; FERNANDES, M. F.; COUTINHO, H. L. C.; CORREIA, E. Indicadores de qualidade do solo: descrição, uso e integração para fins de estudo em agrossistemas. In: FERREIRA, J. M. L. et al. (Eds.). **Indicadores de sustentabilidade em sistemas de produção agrícola**. Belo Horizonte, EPAMIG, 2010. p. 143-201.

EIVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Glucosidases and galactosidases in soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 20, p. 601- 606, 1988.

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999a. p. 370a.

EMBRAPA. **Manual de Métodos e análises de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. p. 212.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999b. p. 412.

EMERLING, M.; LIEBNER, C.; HAUBOULD-ROSAR, M.; KATZUR, J.; SCHRÖDER, D. Impact of application of organic waste materials on microbial and enzyme activities of mine soils in the Lusatian coal mining region. **Plant and Soil**, v. 220, p. 129-138, 2000.

FERNANDES, A. **Fitogeografia Brasileira**. Fortaleza: Multigraf, 1998.

FERNANDES, M. M.; CARVALHO, M. G. C.; ARAUJO, J. M. R.; MELO, F. R.; SILVA, C.A.; SAMPAIO, F. M. T.; LOBATO, M. G. R. Matéria Orgânica e Biomassa Microbiana em Plantios de Eucalipto no Cerrado Piauiense. **Floresta e Ambiente**, v. 19, p. 453-459, 2012.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; VIDOR, C. Utilização de micro-ondas na avaliação da biomassa microbiana do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 23, p. 991-996, 1999.

FIGUEIREDO, C. C.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; FERREIRA, E. A. B.; RAMOS, M. L. G. Carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em resposta a diferentes sistemas de manejo em um latossolo vermelho no cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 551-562, 2007.

FORTES, F. P. **Geologia de Sete Cidades**. Teresina: Fundação Cultural Monsenhor Chaves, 1996.

FUNDAÇÃO CEPRO. **Cerrados Piauienses**. Teresina, 1992.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. p. 159-170.

GHINI, R.; MENDES, M. D. L.; BETTIOL, W. Método de hidrólise de diacetato de fluoresceína (FDA) como indicador de atividade microbiana no solo e supressividade a *Rhizoctonia solani*. **Summa Phytopathologica**, v. 24, p. 239-242, 1998.

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

HINOJOSA, M. B.; CARREIRA, J. A.; GARCÍA-RUÍZ, R.; DICK, R. P. Soil moisture pre-treatment effects on enzyme activities as indicators of heavy metal contaminated

and reclaimed soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 36, p. 1559-1568, 2004.

HOU, H.; OUYANG, Z.; MAXIM, D.; WILSON, G.; KUZYAKOV, Y. Lasting effect of soil warming on organic matter decomposition depends on tillage practices. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 95, p. 243-249, 2016.

IBDF. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. **Plano de Manejo**: Parque Nacional de Sete Cidades. M.A/Fundação Brasileira para a Conservação da Natureza (FBCN). Brasília: 1979.

ISLAM, K. R.; WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, p. 408-416, 1998.

JAKELAITIS, A.; SILVA, A. A.; SANTOS, J. B.; VIVIAN, R. Qualidade da camada superficial de solo sob mata, pastagens e áreas cultivadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 118-127, 2008.

KANDELER, E.; GERBER, H. Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. **Biology and Fertility of Soils**, v. 6, p. 68-72, 1988.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Three decades of soil microbial biomass studies in Brazilian ecosystems: Lessons learned about soil quality and indications for improving sustainability. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 42, p. 1-13, 2010.

KIZILKAYA, R.; BAYRAKLI, B. Effects of N-enriched sewage sludge on soil enzyme activities. **Applied Soil Ecology**, v. 30, p. 192-202, 2005.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do cerrado brasileiro. **Mega diversidade**, v. 1, p. 147-155, 2005.

LANNA, A. C.; SILVEIRA, P. M.; SILVA, M. B.; FERRARESI, T. M.; KLIEMANN, H. J. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela cobertura vegetal e sistemas de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1933-1939, 2010.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA E. S.; MACHADO P. L. O. A.; MATOS E. S. Total C and N storage and organic C pools of a RedYellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, Southeastern Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, v. 41, p. 717-730, 2003.

LINDOSO, G. S.; FELFILI, J. M.; CASTRO, A. A. J. F. Variações ambientais e florísticas no cerrado sensu stricto sobre neossolo quartzarênico do parque nacional de sete cidades (PN7C), Piauí. Congresso de Ecologia do Brasil, 8, 2007, Caxambu. **Anais**. Caxambu: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2007. p. 1-2.

LINO, I. A. N.; SANTOS, V. M.; ESCOBAR, I. E. C.; SILVA, D. C. A.; ARAÚJO, A. S. F.; MAIA, L. C. Soil enzymatic activity in eucalyptus grandis plantations of different ages. **Land Degradation & Development**, v. 27, p. 77-82, 2016.

LISBOA, B. B.; VARGAS, L. K.; SILVEIRA, A. O.; MARTINS, A. F.; SELBACH, P. A. Indicadores microbianos de qualidade do solo em diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 45-55, 2012.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. Í.; MELO, W. J. M. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. **Bragantia**, v. 70, p. 132-138, 2011.

LOPES, A. A. C.; SOUSA, D. G. M.; MONTANDON, C. G.; REIS JUNIOR, F. B.; GOEDERT, W. J.; MENDES, I. C. Interpretation of Microbial Soil Indicators as a Function of Crop Yield and Organic Carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, p. 461-472, 2013.

LOPES, M. M., SALVIANO, A. A. C., ARAUJO, A. S. F., NUNES, L. A. P. L.; OLIVEIRA, M. E. Changes in soil microbial biomass and activity in different Brazilian pastures. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 8, p. 1253-1259, 2010.

MACHADO, R. B.; RAMOS, NETO. M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado.** Conservação Internacional. Brasília: [s.n.], 2004.

MARINARI, S.; MANCINELLI, R.; CAMPIGLIA, E.; GREGO, S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. **Ecological Indicators**, v. 6, p. 701-711, 2006.

MATOS, M. Q.; FELFILI, J. M. Florística, fitossociologia e diversidade da vegetação arbórea nas matas de galeria do Parque Nacional de Sete Cidades (PNSC), Piauí, Brasil. **Acta botânica brasílica**, v. 24, p. 483-496, 2010.

MEIRELLES, M. L.; HENRIQUES, R. P. Produção primária líquida em área queimada e não queimada de campo sujo de cerrado (Planaltina-DF). **Acta Botanica Brasilica**, v. 6, p. 3-14, 1992.

MELO, W. J.; MELO, G. M. P.; ARAÚJO, A. S. F.; MELO, V. P. Avaliação da atividade enzimática em amostras de solo. In: FIGUEIREDO, M. V. B.; BURITY, H. A.; OLIVEIRA, J. P.; SANTOS, C. E. R. S.; STAMFORD, N. P. Ed(s). **Biotecnologia aplicada à agricultura: textos de apoio e protocolos experimentais.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2010.

MELO, W. J.; MELO, G. M. P.; MELO, V.P. **Enzimas no solo.** Disponível em:<<http://www.fcav.unesp.br/wjmelo/TEXTOS/FERTBIO2008.pdf>> Acesso em: 15 dez. 2015.

MENDES, I. C.; FERNANDES, M. F.; CHAER, G. M.; JUNIOR, F. B. R. Biological functioning of Brazilian Cerrado soils under different vegetation types. **Plant Soil**, v. 359. p. 183-195, 2012a.

MENDES, M. R. A.; MUNHOZ, C. B. R.; SILVA, M. C. J.; CASTRO, A. A. J. F. Relação entre a vegetação e as propriedades do solo em áreas de campo limpo úmido no Parque Nacional de Sete Cidades, Piauí, Brasil. **Rodriguésia**, v. 63, p. 971-984, 2012b.

MENDONÇA, R. C.; FELFI LI, J. M.; WALTER, B. M. T.; SILVA JÚNIOR, M. C.; REZENDE, A. V.; FILGUEIRAS, T. S. & NOGUEIRA, P. E. **Flora Vascular do Cerrado**. [s.l. s.n.] 2008. p. 289-556.

MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; FRANCELINO, C. S. F.; CAVALHEIRO, J. C. T.; OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, p. 479-485, 2008.

MGANGA, K. Z.; RAZAVI, B. S.; KUZYAKOV, Y. Microbial and enzymes response to nutrient additions in soils of Mt. Kilimanjaro region depending on land use. **European Journal of Soil Biology**, v. 69, p. 33-40, 2015.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **O Bioma Cerrado**. 2010. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>> Acesso em: 12 out. 2015.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Universidade Federal de Viçosa- UFLA, 2006.

MYERS, R. J. K.; PALM, C. A.; CUEVAS, E.; GUANATILLEKE, I. U. N.; BROSSARD, M. 1994. The synchronisation of nutrient mineralization and plant nutrient emand. In: Wooster, P. L.; Swift, M. J. (ed.). **The Biological Management of Tropical Soil Fertility**. New York, USA. p. 18-116.

NARDOTO G. B.; BUSTAMANTE M. M. C. Effects of fire on soil nitrogen dynamics and microbial biomass in savannas of Central Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 38, n. 8, p. 955-962, 2003.

OLIVEIRA, M. E. A. 2004. **Mapeamento, florística e estrutura da transição campo-floresta na vegetação (cerrado) do Parque Nacional de Sete Cidades, nordeste do Brasil**. 151fls.Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

OLIVEIRA, M. E. A.; MARTINS, F. R.; CASTRO, A. A. J. F.; SANTOS, J. R. Classes de cobertura vegetal do Parque Nacional de Sete Cidades (transição campo-floresta) utilizando imagens TM/Landsat, NE do Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. Florianópolis. **Anais (Proceedings) do XIII SBSR**. v. 13. p. 1775-1783, 2007.

PACHECO, L. P.; PETTER, F. A. Benefits of Cover Crops in Soybean Plantation. In: NG, T. B. (Ed.). Soybean: **Applications and Technology**. **Brazilian Cerrados**. [s.l./s.n.] 2011. p. 67-94.

PEIXOTO, R. S.; CHAER, G. M.; FRANCO, N.; REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C.; ROSADO, A. S. A decade of land use contributes to changes in the chemistry, biochemistry and bacterial community structures of soils in the Cerrado. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 98, p. 403-413, 2010.

PERES, J. R. R.; SUHET, A. R.; VARGAS, M. A. T.; DROZDOWICZ, A. Litter production in areas of Brazilian "Cerrados". **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 18, p. 1037-1043, 1983.

PESSOA-FILHO M.; BARRETO, C. C.; DOS REIS JÚNIOR, F. B.; FRAGOSO, R. R.; COSTA, F. S.; MENDES, I. C.; ANDRADE, L. R. M. Microbiological functioning, diversity, and structure of bacterial communities in ultramafic soils from a tropical savanna. **Antonie van Leeuwenhoek**, v. 107, p. 935-949, 2015.

PRAGANA, R. B.; RIBEIRO, M. R.; NÓBREGA, J. C. A.; RIBEIRO FILHO, M.R.; COSTA, J. A. Qualidade física de Latossolos Amarelos sob plantio direto na região do Cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3 6, p. 1591-1600, 2012.

REYNOLDS, C. M.; WOLF, D. C.; ARMBRUSTER, J. A. Factors related to urea hydrolysis in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 49, p. 104-108, 1987.

RIBEIRO, J.; COLLI, G. R.; CALDWELL, J. P.; SOARES, A. M. V. M. An integrated trait-based framework to predict extinction risk and guide conservation planning in biodiversity hotspots. **Biological Conservation**, v. 195, p. 214-223, 2016.

RIBEIRO, S, C.; FEHRMANN, L.; SOARES, C, P. B.; JACOVINE, L. A. G.; KLEINN, L.; GASPAR, R. O. Above- and belowground biomass in a Brazilian Cerrado. **Forest Ecology and Management**, v. 262, p. 491-499, 2011.

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

SCHINNER, F.; ÖHLINGER, R.; KANDELER, E.; MARGESIN, R.; **Enzymes involved in intracellular metabolism. Methods in soil biology**. Berlim: Springer. Verlag, 1996. p. 235-43.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂)**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2007.

SILVA, F. A. S. ASSISTAT, versão 7,7- **Sistema de análise estatística**. Campina Grande: Universidade Federal de campina Grande. (Software). Disponível em: <<http://www.assistat.com>>. Acesso em: 01 jun.2014.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**: Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

SILVA, L. C. R.; HARIDASAN, M.; STERNBERG, L. S. L.; FRANCO, A. C. HOFFMANN W. A. Not all forests are expanding over central Brazilian savannas. **Plant Soil**, v. 333, p. 431-442, 2010b.

SILVA, R. R. D.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. D. S.; CURI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, 2010a.

SINGHANIA, R. R.; PATEL, A. K.; SUKUMARAN, R. K.; LARROCHE, C.; PANDEY, A. Role and significance of beta-glucosidases in the hydrolysis of cellulose for bioethanol production. **Bioresource Technology**, v. 127, p. 500-507, 2013.

SINSABAUGH, R. L.; SHAH, J. J. F.; HILL, B. H.; ELONEN, C. M. Ecoenzymatic stoichiometry of stream sediments with comparison to terrestrial soils. **Biogeochemistry**, v. 111, p. 455-467, 2012.

SUGIER, D.; KOŁODZIEJ, B.; BIELIŃSKA, E. The effect of leonardite application on *Arnica montana* L. yielding and chosen chemical properties and enzymatic activity of the soil. **Journal of Geochemical Exploration**, v. 129, p. 76-81, 2013.

SUGIHARA, S.; SHIBATA, M.; C, ZE, A. D. M.; ARAKI E, S.; FUNAKAWA, S. Effects of vegetation on soil microbial C, N, and P dynamics in a tropical forest and savanna of Central Africa. **Applied Soil Ecology**, v. 87. p. 91-98, 2015.

SWISHER, R.; CARROLL, G. C. Fluorescein diacetate hydrolysis as an estimator of microbial biomass on coniferous needle surfaces. **Microbial Ecology**, v. 6, p. 217-226, 1980.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: Mickelson, S.H., Bigham, J.M. (Eds.), **Methods of Soil Analysis**. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties. Soil Science Society of America. Madison: [s.n.] 1994 p. 775-826.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Arylsulphatase activity in soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 34, p. 225-229, 1970.

TABATABAI, M. A.; BREMNER, J. M. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 1, p. 301-307, 1969.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BONHEN, H. **Análise de solos, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. In: 32 Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S. S.; ALVAREZ V. V. H., (eds). **Tópicos em ciência do solo. Viçosa**: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. [s.l. s.n.] 2002. p. 195-276.

WATANABE, R. T.; FIORETTO, R. A.; FONSECA, I. B.; SEIFERT, A. L.; SANTIAGO, D. C.; CRESTE, J. E.; HARADA, A.; CUCOLOTTO, M. Produtividade da cultura da soja em função da densidade populacional e da porcentagem de cátions (Ca, Mg e K) no complexo sortivo do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, p. 477-484, 2005.

YADA, M. M.; MINGOTTE, F. L. C.; MELO, W. J. MELO, G. P.; MELO, V. P.; LONGO, R. M.; RIBEIRO. A. I. Chemical and biochemical properties of soils degraded by tin mining and in a rehabilitation phase in the Amazon Basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 714-724, 2015.

ZENG, L. S.; LIAO, M.; CHEN, C. L.; HUANG, C. Y. Effects of lead contamination on soil enzymatic activities, microbial biomass, and rice physiological indices in soil-lead-rice (*Oryza sativa* L.) system. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 67, p. 67-74, 2007.

ZHANG, C.; LIU, G.; XUE, S.; SONG, Z. Rhizosphere soil microbial activity under different vegetation types on the Loess Plateau, China. **Geoderma**, v. 161, p. 115-125, 2011.