

LUIZ ANTÔNIO RODRIGUES DOS SANTOS

**ATIVIDADE ENZIMÁTICA, INDICADORES MICROBIOLÓGICOS E ÁCIDOS
ORGÂNICOS DE BAIXO PESO MOLECULAR EM SOLOS DE FLORESTAS
TROPICAIS SECAS, EM ESTÁGIOS SUCESSIONAIS DE REGENERAÇÃO
NATURAL**

GARANHUNS, PERNAMBUCO - BRASIL

JULHO - 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

ATIVIDADE ENZIMÁTICA, INDICADORES MICROBIOLÓGICOS E ÁCIDOS
ORGÂNICOS DE BAIXO PESO MOLECULAR EM SOLOS DE FLORESTAS
TROPICAIS SECAS, EM ESTÁGIOS SUCESSIONAIS DE REGENERAÇÃO
NATURAL

LUIZ ANTÔNIO RODRIGUES DOS SANTOS

SOB ORIENTAÇÃO DA PROFESSORA
ÉRIKA VALENTE DE MEDEIROS

Dissertação apresentada à Universidade
Federal Rural de Pernambuco, como parte
das exigências do Programa de Pós
Graduação em Produção agrícola, para
obtenção do título de *Mestre*.

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
JULHO- 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO AGRÍCOLA

ATIVIDADE ENZIMÁTICA, INDICADORES MICROBIOLÓGICOS E ÁCIDOS
ORGÂNICOS DE BAIXO PESO MOLECULAR EM SOLOS DE FLORESTAS
TROPICAIS SECAS, EM ESTÁGIOS SUCESSIONAIS DE REGENERAÇÃO
NATURAL

LUIZ ANTÔNIO RODRIGUES DOS SANTOS

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
JULHO - 2013

Ficha Catalográfica
Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Setorial UFRPE/UAG

S237a Santos, Luiz Antônio Rodrigues dos
Atividade enzimática, indicadores microbiológicos
e ácidos orgânicos de baixo peso molecular em solos
de florestas tropicais secas, em estágios sucessionais
de regeneração natural/Luiz Antonio Rodrigues dos
Santos . _Garanhuns, 2013.

52 f.

Orientador: Érika Valente de Medeiros
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco - Unidade Acadêmica
de Garanhuns, 2013.

Inclui bibliografias

CDD: 581.90954

1. Caatinga
 2. Solo-Tratamento
 3. Manejo ecológico
- I. Medeiros, Érika Valente
 - II. Título

**ATIVIDADE ENZIMÁTICA, INDICADORES MICROBIOLÓGICOS E ÁCIDOS
ORGÂNICOS DE BAIXO PESO MOLECULAR EM SOLOS DE FLORESTAS
TROPICAIS SECAS, EM ESTÁGIOS SUCESSIONAIS DE REGENERAÇÃO
NATURAL**

LUIZ ANTÔNIO RODRIGUES DOS SANTOS

APROVADO EM: 16 DE JULHODE 2013

Jarcilene Silva de Almeida Cortez

Euzelina dos Santos Borges Inácio

Keila Aparecida Moreira

Érika Valente de Medeiros

Dedicatória

*À minha mãe Márcia de Moura Rodrigues dos Santos,
ao meu pai José Marcos Rodrigues dos Santos e
aos meus irmãos Marcos Jr. e Marcela de Moura*

Dedico.

AGRADECIMENTO

A Deus pelo dom da vida e pela família que meu deu e por me dar forças para superar os obstáculos e direcionar meus caminhos.

A minha dedicada mãe Márcia de Moura Rodrigues dos Santos, ao meu superpai José Marcos Rodrigues dos Santos, pelo apoio, carinho, incentivo durante essa etapa da minha vida e por não me deixar desistir de lutar

Aos meus queridos irmãos Marcela de Moura Rodrigues e José Marcos Rodrigues Jr, que sempre estão presentes em minha vida.

Aos meus avós, Iraci e Antônio, tias, Lúcia e Sueli, por seu apoio incondicional.

A minha orientadora e professora Érika pela oportunidade ofertada, por sua paciência e compreensão comigo, seus ensinamentos e lições que me tornaram um profissional e uma pessoa melhor.

A professora Keila Moreira pela suas dicas e co-orientação.

A professora Claudia Ulisses por ter me mostrado o qual bonita é a pesquisa

Aos meus amigos de trabalho Cláudia, Carol, Wilk, Isabele, Diego, Ueliton, Vânia e Vanilson, pelo incentivo e força para a conclusão desse trabalho,

A Universidade Federal Rural de Pernambuco e a Unidade Acadêmica de Garanhuns pelo suporte dado para a realização das atividades de campo e laboratório

Ao laboratório de Biotecnologia da UFRPE - UAG e todos que fazem parte do laboratório, pelo aprendizado.

Ao Laboratório de Química Agrícola da UFRPE – UAG pelas valiosas contribuições para o meu trabalho.

Aos meus colegas de turma: Élica, Clarissa, Karol, Nielson e Ana Marcela, pela parceria e colaboração para o desenvolvimento desse trabalho.

A minha equipe de trabalho: Jamilly, Jéssica, Cataliny, Alison, Wendson, Uemeson pela parceria, colaboração, paciência e união.

A Pollyanna, Erica e Raquel, pelos ensinamentos e momentos descontraídos durante essa jornada.

A Vanilson Pedro (Vô-nilson) pelos ensinamentos e incentivos para não desistir de lutar pelo que se deseja.

Ao Instituto Fazenda Tamanduá pela disponibilização das áreas de estudo.

Ao Sr. Pierry, proprietário da Fazenda Tamanduá, por seu acolhimento e fornecimento de subsídio para esse trabalho

A professora Jarcylene pela parceria e intercâmbio de informações que foram fundamentais para execução desse trabalho.

A todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

Muito Obrigado!

BIOGRAFIA

LUIZ ANTÔNIO RODRIGUES DOS SANTOS

Nascido na cidade de Garanhuns, estado de Pernambuco, no ano de 1989. Ingressou no Curso de Engenharia Agrônoma da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE em março de 2007, graduando-se em junho de 2011. Durante a graduação participou do Programa de Iniciação Científica nas áreas de Morfologia e Fisiologia Vegetal, desenvolvendo trabalhos na área de produção de orquídeas cultivadas *in vitro*, orientado pela professora Dra. Cláudia Ulisses. Também desenvolveu trabalhos nas áreas de Fruticultura e Olericultura. Ainda durante a graduação, participou do programa de monitoria e extensão na própria Universidade. Para finalizar a graduação, fez o Estágio Obrigatório Supervisionado no Laboratório de Genética e Biologia Vegetal – LGBV, no departamento de Genética da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, sob a orientação da professora Dra. Ana Christina Brasileiro Vidal, desenvolvendo atividades no mapeamento físico de cromossomos de cevada (*Hordeum vulgare*) através da técnica de FISH (Fluorescent *in situ* hybridization).

Em agosto de 2011 foi aprovado no Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola, iniciando as atividades no projeto de pesquisa na área de Microbiologia e Bioquímica de Solos, sob a orientação da professora Dra. Érika Valente de Medeiros, fazendo parte da equipe do Sistema Nacional de Pesquisa em Biodiversidade - SISBIOTA Brasil (CNPq), pela rede Biodiversidade e regeneração natural em florestas tropicais secas brasileiras.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO GERAL	11
GENERAL SUMMARY	12
INTRODUÇÃO GERAL	13
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15

CAPÍTULO I

ÁCIDOS ORGÂNICOS DE BAIXO PESO MOLECULAR EM SOLOS DE FLORESTAS TROPICAIS SECAS EM ESTÁGIOS SUCESSIONAIS DE REGENERAÇÃO NATURAL

RESUMO	17
SUMMARY	18
1. INTRODUÇÃO	19
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	20
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4. CONCLUSÕES	28
5. AGRADECIMENTO.....	28
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

CAPÍTULO II

**BIOMASSA, ATIVIDADE MICROBIANA E ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS
EM SOLOS DE FLORESTAS TROPICAIS SECAS EM ESTÁGIOS
SUCESSIONAIS DE REGENERAÇÃO NATURAL**

RESUMO	32
SUMMARY	33
1. INTRODUÇÃO	34
2. MATERIAL E MÉTODOS	36
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4. CONCLUSÕES	48
5. AGRADECIMENTO.....	48
6. REFERÊNCIAS	49

Atividade enzimática, indicadores microbiológicos e ácidos orgânicos de baixo peso molecular em solos de florestas tropicais secas, em estágio sucessionais de regeneração natural

RESUMO GERAL

O Nordeste brasileiro tem sua área coberta principalmente por Florestas secas tropicais, sendo esse bioma muito ameaçado, onde são encontradas áreas sob diferentes estágios de sucessão ecológica. Diante desse quadro, esse trabalho teve como objetivo a caracterização química, enzimática, microbiológica e determinação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular de solos de florestas secas tropicais. Os solos foram coletados no período seco e em três estágios sucessionais – Inicial (E), Intermediário (I) e Tardio (L) – foram pré-determinados por especialistas, com cinco áreas em cada estágio e duas profundidades (00 – 05 cm e 05 -10 cm). Os sítios de estudo estão localizados na Fazenda Tamanduá, no município de Patos, estado da Paraíba – Brasil. Os solos são do tipo Neossolo Litólicos. Os resultados mostram que a ação antrópica interfere diretamente na dinâmica química e bioquímica do solo. Para pH do solo, os menores valores foram observados em solos E4 (00 – 05 cm) com 5,58 e o maior valor de 6,70 na área I4 (05 – 10 cm). O carbono orgânico total apresentou maior valor em solos da área I5 na profundidade de 05 -10 cm. A matéria orgânica teve o seu maior valor na área I5 (05 – 10 cm), com o valor de 18,65 g Kg⁻¹. O carbono da biomassa microbiana teve o seu valor máximo no estágio inicial, com 2,26 mg Kg⁻¹. Nas análises enzimáticas, observou-se que os estágios sucessionais influenciaram na concentração das mesmas. L4 e L5, na profundidade de 00 – 05 cm foram os solos que apresentam os maiores valores para a atividade da fosfatase ácida. Já a atividade da urease no solo não apresentou diferenças significativas na profundidade de 05 – 10 cm. Com a análise dos ácidos orgânicos de baixo peso molecular, foi possível identificar a presença de dois ácidos: acético e maleico. Sem o maleico observado apenas nas áreas de estágio tardio de sucessão ecológica e nas duas profundidades estudadas. Diante desses resultados foi possível a montagem de dendogramas a partir da análise multivariada, mostrando uma diversidade nos solos estudados. Assim, foi possível concluir que solos sob o mesmo estágio sucessional apresentam comportamento diferente, demonstrando o quanto são sensíveis esses indicadores.

Palavras-chaves: Caatinga, sucessão ecológica, bioquímica do solo.

Enzymatic activity, microbiological indicators and organic acids of low molecular weight in soils of dry tropical forests, successional stage of natural regeneration

GENERAL SUMMARY

Soils of tropical dry forests in Brazil are poorly studied and even less research is conducted in these forests under different stages of ecological succession natural. Given this situation, this study aimed to characterize chemical, enzymatic, microbiological and determination of organic acids of low molecular weight of dry tropical forest soils. Soil samples were collected in the dry season and the three successional stage - Initial (E), Intermediate (I) and Late (L) - were predetermined by experts, with five areas in each stage and two depths (00-05 -10 cm to 05 cm). The study sites are located in the Fazenda Tamanduá, in Patos, Paraíba State – Brazil. The climate of the region is the type Bsh (Köppen classification.) The average annual temperature varies between 20.8 and 32.8 ° C and average annual rainfall is 600 mm. Soils are like Typic Litólicos. Results show that human activity directly affects the dynamic soil chemistry and biochemistry. For soil pH, the lowest values were observed in E4 (00-05 cm) with 5.58 and the highest value of 6.70 in the I4 (05-10 cm.) The total organic carbon showed a higher value in the area on I5 depth of 05 -10 cm. organic matter has its greatest value in the area I5 (05-10 cm), with the value of 18.65 g kg⁻¹. the microbial biomass carbon had its maximum value at the initial stage, with 2.26 mg kg⁻¹. In enzymatic analyzes, it was observed that the influenced successional stages in the same concentration. L4 and L5, at a depth of 00 - 05 cm were the areas that have the highest values for acid phosphatase activity. Already Urease was no significant difference in the depth of 05 - 10cm. Through the analysis of organic acids of low molecular weight, it was possible to identify the presence of two fatty: Acetic acid and maleic acid. maleic No observed only in areas of late stage of ecological succession and at two depths studied. Given this result it was possible to mount cladograms from the multivariate varied, showing diversity in soils. Was therefore concluded that soils under the same successional stage presents different behavior.

Keywords: Caatinga, ecological succession, soil biochemistry.

INTRODUÇÃO GERAL

O estudo em florestas secas (FTS), também conhecida como florestas estacionais decíduais ou matas secas é de suma importância, visto que este ecossistema é muito representativo no Brasil, especialmente no Nordeste do país. Pesquisas apontam lacunas existentes nas pesquisas neste tipo de ecossistema. Enquanto que 86% do total de pesquisas foram realizadas em florestas tropicais de regiões úmidas, apenas 14% dos estudos foram em ambientes secos (SANCHEZ-AZOFEIFA et al. 2005).

Além disso, a informação científica em FTS é fragmentada e limitada a poucas áreas, localizadas principalmente no México e na Costa Rica (SANCHEZ-AZOFEIFA et al. 2005). No Brasil, as FTS estão extremamente ameaçadas pelo desmatamento excessivo, mas ainda assim recebem muito menos atenção em termos de pesquisa e conservação do que as florestas tropicais úmidas e o cerrado.

O estudo da diversidade de espécie e de indicadores biológicos ao longo do processo de sucessão ecológica nas florestas tropicais secas brasileiras é importante pelo fato de verificar como as funções e a integralidade do ecossistema se recuperam após o uso e abandono da terra.

O tipo de cobertura vegetal influencia de forma indireta sobre a atividade da microbiota e sobre a decomposição da matéria orgânica dos solos (FREIXO et al., 2000). Esta atividade microbiana é responsável pelas transformações de nutrientes que interferem na fertilidade e estrutura dos solos. Neste sentido, a quantificação de atividades microbianas é um indicativo das mudanças na qualidade do solo (MELLONI, 2007).

A decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes e fluxo de energia no solo são atividades desempenhadas principalmente pelos micro-organismos que exercem influência tanto na transformação da matéria orgânica, quanto na estocagem do carbono e nutrientes minerais (JENKISON e LADD, 1981). A parte viva da matéria orgânica do solo é a biomassa microbiana que inclui bactérias, actinomicetos, fungos, protozoários, algas e microfauna e contém entre 2 a 5% do carbono orgânico e 1 a 5% do nitrogênio total do solo (SMITH e PAUL, 1990).

As propriedades biológicas e bioquímicas como diversidade, quantificação de populações, biomassa microbiana, taxa de respiração, e atividade enzimática vem sendo estudados como indicadores biológicos da qualidade do solo. São indicadores sensíveis que são utilizados no monitoramento de alterações ambientais, podendo ser utilizada

como ferramenta para orientar o planejamento e avaliação de uso e/ou conservação de solos (DORAN e PARKIN, 2005) e dar informações à programas de manejo de recuperação de áreas degradadas pela ação agrícola intensiva.

Outro importante parâmetro do solo estudado na recuperação de áreas degradadas é a composição e quantificação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular. Esses ácidos orgânicos presentes no solo são responsáveis pelo desenvolvimento de diferentes tipos de micro-organismos do solo (YANG et al., 2012). Além disso, os ácidos orgânicos de baixo peso molecular ajudam na remoção de metais pesados em solos com pH acima de 7 (WANG e MULLIGAN., 2013).

Devido à carência de informações em florestas tropicais secas brasileiras em processo de regeneração natural e à importância de se gerar informações a respeito da biodiversidade e indicadores biológicos desses ecossistemas para gerar informações que auxiliem na preservação e recuperação de áreas degradadas pelo uso agrícola intensivo, o objetivo do presente trabalho foi determinar os indicadores microbiológicos, atividades enzimática e ácidos orgânicos de baixo peso molecular em solos com diferentes estágios sucessionais de recuperação natural de florestas tropicais secas brasileiras em Santa Teresinha-PB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; ESPINDOLA, J. A. A.; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. Uso de leguminosas herbáceas para adubação verde. In: AQUINO, A. M.; ASSIS, R. L, ed. Agroecologia; Princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Embrapa. Brasília, 2005. p.435-448.
- FREIXO, A.A.; FADIGAS, F.S.; FREIRE, M.O.; BALDANI, V.L.D. Quantificação de microrganismos em solos sob plantio puro de *Pseudosamanea gracile* (Kunth) Harms e em consórcio com *Eucalyptus grandis* Hill ExMaiden. Embrapa-comunicado técnico. n. 39, p.1-8, 2000.
- JENKINSON, D.S. & LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. In: PAUL, E.A. & LADD, J.N., eds., *Soil Biol. Biochem.*, v. 5, p.415-471, 1981. McLAUGHLIN, M, J; ALSTON, A. M.; MARTIN, J. K. Measurement of phosphorus in the soil microbial biomass: a modified procedure for field soils. *Soil Biology Biochemistry*, v.18, p.437-443, 1986.
- MELLONI, R. Quantificação microbiana da qualidade do solo. In: SILVEIRA, A.P.D.; FREITAS, S.S.(Eds) *Microbiota do solo e qualidade ambiental*. Campinas: São Paulo, p.193-210. 2007.
- SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G.A., KALACSKA, M. QUESADA, M., CALVO, J., NASSAR, J., RODRIGUEZ, J.P. (2005). Need for integrated research for a sustainable future in tropical dry forests. *Conservation Biology*, 19(2): 1-2.
- SMITH, J. L.; PAUL, E. A. The significance of soil microbial biomass estimations. In: BOLLAG, J. M.; STOTZKY, G. (Eds.) *Soil biochemistry*. New York: Marcel Dekker, 1990. p.339-357.
- WANG, S.; MULLIGAN, C. N. Effects of three low-molecular-weight organic acids (LMWOAs) and pH on the mobilization of arsenic and heavy metals (Cu, Pb, and Zn) from mine tailings. *Environ Geochem Health* 35:111–118. 2013.
- YANG, T.; LIU, G.; LI, Y.; ZHU, S.; ZOU, A.; QI, J.; YANG, Y. Rhizosphere microbial communities and organic acids secreted by aluminum-tolerant and aluminum-sensitive soybean in acid soil. *Biol Fertil Soils* 48:97–108. 2012.

CAPÍTULO I

**ÁCIDOS ORGÂNICOS DE BAIXO PESO MOLECULAR EM SOLOS DE
FLORESTAS TROPICAIS SECAS EM ESTÁGIOS SUCESSIONAIS DE
REGENERAÇÃO NATURAL**

Ácidos orgânicos de baixo peso molecular em solos de florestas tropicais secas em estágios de diferentes estágios sucessionais de regeneração natural

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi identificar e quantificar os ácidos orgânicos de baixo peso molecular (AOBPM) em solos de diferentes estágios sucessionais de regeneração natural de solos do semiárido da Paraíba- Brasil. Foram pré-definidas 5 áreas em três diferentes estágios sucessionais: Inicial (E), Intermediário (I) e Tardio (L). Em cada área foram feitas coletas em diferentes pontos para obtenção de uma amostra composta representativa da área nas duas profundidades. As amostras foram refrigeradas e realizadas as análises dos ácidos orgânicos de baixo peso molecular em cromatógrafo gasoso. Solos de todos estágios sucessionais de regeneração natural apresentaram ácido acético, tanto na camada mais superficial (00-05 cm) quanto em profundidade (05-10 cm). Solos das áreas de estágio tardio de sucessão apresentaram ácido maleico, nas duas profundidades, demonstrando que com a estabilidade do solo fornece uma maior quantidade concentração de AOBPM.

Palavras-chave: Caatinga, ácido acético, ácido maleico, cromatografia gasosa

Organic acids of lowmolecular weightin soils ofdry tropical forestsindifferentsuccessionalstages ofnatural regeneration.

ABSTRACT

The aim of this study was to identify and quantify the organic acids of low molecular weight (AOBPM) in soils from different successional stages of natural regeneration of soils in semi-arid of Paraiba, Brazil. Were pre-defined five areas in three different successional stages: Initial (E), Intermediate (I) and Late (L). In each area, samples were collected at different points to obtain a sample representative of the area in two depths .. The samples were chilled and made the analysis of organic acids of low molecular weight by gas chromatography. Soils of all successional stages of natural regeneration showed acetic acid, both in the superficial layer (00-05 cm) and deep (05-10 cm). Areas of soil later stage of maleic acid sequence presented in two layers, showing that the stability of soil concentration provides a greater amount of AOBPM.

Keywords: Caatinga, acetic acid, maleic acid, gas chromatography.

1.0 INTRODUÇÃO

A concentração dos ácidos orgânicos de baixo peso molecular (AOBPM) - cítrico, málico, oxálico, butírico, acético, láctico, entre outros – no solo sofre influência da cobertura vegetal e da condição de estresse a qual a cobertura está submetida (JONES, 1998).

Os ácidos orgânicos (AO) no solo são capazes de atuar de forma direta na melhora química do solo, favorecendo a solubilidade de elementos como o fósforo e o potássio a partir dos processos de quelação e complexação desses elementos, e de forma indireta, os AO atuam estimulando a atividade de micro-organismos do solo (SOUZA e CARVALHO, 2001; SILVA et al., 2002). O aumento da atividade microbiana é proporcionado pelo fornecimento de carbono lábil, com isso, ocorre uma redução no tempo médio de permanência dos AO no solo (VAN HESS et al., 2005).

No geral, os solos apresentam baixa concentração de AO, porém com o aumento da atividade de micro-organismos pode haver um aumento da concentração podendo atingir níveis tóxicos tanto para as plantas quanto para os micro-organismos presentes na solução do solo, o que leva a uma redução no teor de AOBPM, ficando os AO com maior massa molecular - taninos, ácidos fúlvicos e húmicos - (CARDOSO FILHO e MINHONI, 2007; PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

Atualmente são utilizados dois métodos para a quantificação de AOBPM em solos, cromatografia gasosa (CG) e a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), no entanto ainda são encontradas dificuldades de detecção dos AOBPM em ambos os métodos principalmente com relação ao processo de extração (SILVA, et al., 2002; AMARAL, et al., 2004; CHIARADIA, et al., 2008).

Diante da grande importância dos ácidos orgânicos para o entendimento da dinâmica do solo, esse trabalho tem como objetivo identificar e quantificar AOBPM em solos de floresta tropical seca em três diferentes estágios de sucessão ecológicas e em duas profundidades através da cromatografia gasosa.

2.0 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O estudo foi conduzido na Fazenda Tamanduá, localizada 06°59'13" e 07°0'14" de latitude S e 37°18'08" e 37°20'38" de longitude W, em uma topografia de entre de 250 e 350 m (FREITAS et al., 2012). No município de Santa Terezinha, estado da Paraíba- Brasil

O clima da região é do tipo Bsh, definido como semi-árido quente e seco com estação seca bem definida, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual varia entre 20,8 e 32,8 °C e a precipitação média anual é de 600 mm.

Os solos são do tipo NeossoloLitólicos (Cambissolo na classificação americana), rasos e de baixa fertilidade (FREITAS et al., 2012).

2.2 Descrição das áreas Predefinidas

Foram delimitadas parcelas experimentais de 20 x 50m, em áreas correspondentes a diferentes estágios sucessionais de floresta tropical seca, com cinco repetições, totalizando 15 áreas. O detalhe da parcela experimental é demonstrado na Figura 1. Cada parcela compôs uma amostra para as análises. As coordenadas geográficas e a altitude média de cada área estão na tabela 1.

Os ambientes previamente selecionados (estágios sucessionais inicial, intermediário e tardio) apresentavam semelhantes características climáticas, tipo de solos, condições de relevo e altitude. Foram demarcados de acordo com as seguintes características:

Estágio sucessional inicial (E) - áreas utilizada para o cultivo do algodão de fibra longa (*Gossypiumhirsutum*) de 1965 até o início da década de 80, tendo recebido corte raso antes do plantio desta monocultura. O solo destes locais nunca receberam nenhum tipo de adubação. Ao fim do ciclo de plantio do algodão, receberam capim e passou por destoca constante até o início da década de 90, quando foi totalmente abandonada. Desta forma, as áreas passam por regeneração natural há mais de 15 anos. Caracteriza-se por forte presença de espécies herbáceas - que chegam a atingir quase 2 m de altura durante a estação chuvosa - e espécies de porte arbustivo e arbóreo que se apresentam relativamente dispersas. A espécie arbórea predominante na área é *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., conhecida vulgarmente como Jurema preta.

Tabela 1: Coordenadas geográficas e altitude média das 15 áreas de 3 estágios sucessionais de regeneração natural em floresta tropical seca, proveniente do semiárido da Paraíba - Brasil.

Estágio Sucessional	Latitude	Longitude	Altitude
Inicial 1	07°00'52,7" S	037°22'43,3" W	278 m
Inicial 2	07°00'53,4" S	037°22'41,2" W	276 m
Inicial 3	07°00'56,3" S	037°22'49,9" W	280 m
Inicial 4	07°01'59,8" S	037°23'09,2" W	321 m
Inicial 5	07°02'00,2" S	037°23'03,7" W	315 m
Intermediário 1	07°01'08,6" S	037°23'10,3" W	289 m
Intermediário 2	07°01'01,6" S	037°23'19,1" W	276 m
Intermediário 3	07°00'56,4" S	037°23'01,0" W	283 m
Intermediário 4	07°00'35,8" S	037°22'08,2" W	268 m
Intermediário 5	07°00'24,0" S	037°22'09,8" W	267 m
Tardio 1	07°01'20,8" S	037°24'14,1" W	295 m
Tardio 2	07°01'21,7" S	037°22'10,7" W	307 m
Tardio 3	07°01'25,7" S	037°24'10,9" W	294 m
Tardio 4	07°00'24,8" S	037°23'52,1" W	274 m
Tardio 5	07°00'20,3" S	037°23'47,7" W	283 m

Estágio sucessional intermediário (I) - áreas utilizadas para o cultivo de algodão de fibra longa (*Gossypiumhirsutum*) por poucos ciclos entre 1965 e 1968, tendo recebido corte raso antes do plantio desta monocultura. Foram totalmente abandonadas após este período, e, portanto, passa por regeneração natural há mais de 30 anos. A vegetação de porte arbóreo é mais densa em relação ao estágio anterior de sucessão. Área dominada por espécies como *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Jurema preta) e *Poincianellapyramidalis* (Tul.) L.P.Queiroz (Catingueira) e com aparições esparsas de outras espécies como *Piptadeniastipulacea* (Benth.) Ducke (Jurema branca), *Commiphoraleptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett (Imburana) e *Bauhiniacheilantha* Bong. Steud. (Mororó).

Estágio sucessional tardio (L) - o histórico destas áreas aponta que nunca houve seu uso para fins agrícolas ou outras pressões antrópicas severas, tendo recebido apenas leve corte seletivo para a produção de estacas, porém, sem nunca ter havido o corte raso. Com base em relatos de moradores da região, passa intocada pelo processo de sucessão há mais de 50 anos. Nestas áreas, a vegetação de porte arbóreo se destaca por

sua diversidade de espécies, em relação aos outros estágios, contando com vários indivíduos bastante desenvolvidos de espécies clímax, como *Amburana cearensis* (Allemao) A.C.Smith (Cumaru), *Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett (Imburana) e *Pseudobombax marginatum* (A. St.-Hil., Juss.&Cambess.) A. Robyns (Embiratanha).

2.3 Coleta das amostras

Em cada ambiente com diferentes níveis de revegetação natural, foram previamente definidas cinco áreas, nas quais foram escolhidos dez pontos de amostragem, igualmente espaçados entre si (Figura 1). De cada área foi feita uma amostra composta nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, coletadas no período seco de 2012. As perfurações foram feitas com auxílio de anel amostrador de aço inox para melhor representação da profundidade de cada camada estudada.

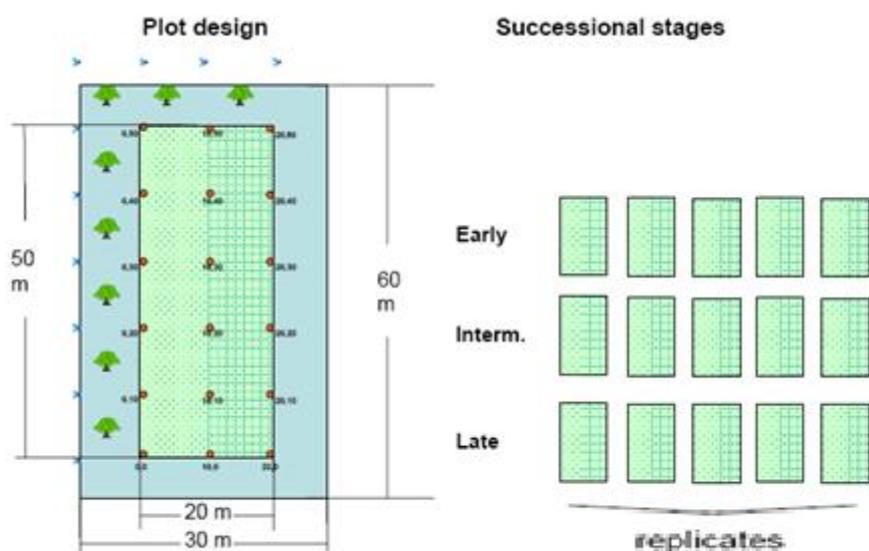


Figura 1. Detalhe da parcela experimental em estudo de atividade enzimática, atributos químicos e microbianos de áreas em estágios sucessionais de regeneração natural, Patos, PB.

2.4 Determinação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular

Para extração e quantificação dos ácidos orgânicos foram utilizados 10g de solo e 20 mL de água Milli-Q (água purificada por destilação e deionizada em sistema Milli-Q da Millipore), sendo agitados em agitador orbital por 15 min a 200 rpm,

posteriormente, foram centrifugados a 1500 rpm por 10 min, em seguida, o sobrenadante foi filtrado em papel quantitativo lento e submetido a análise.

Foi utilizado cromatografo gasoso modelo GCMS – QP2010 Plus (Shimadzu) e coluna capilar Nukol, com dimensões de 30m, 0,32 mm de diâmetro interno e 0,25 µm de espessura de filme (Supelco, USA). A temperatura inicial do forno foi de 60° C, mantida por 1 min, seguida com taxa de aumento de 5° C/min até 200° C, sendo mantida nessa temperatura por 1 min. A temperatura do detector de chama (FID) e injetor foi de 200° C, e o volume de injeção de 2µL, sendo as configurações foram feitas de acordo com o proposto por Aquino e Santiago-Silva (2006). O gás hélio foi usado como gás de arraste, com vazão de 30 mL min⁻¹. O detector de ionização em chama foi alimentado por ar e hidrogênio, a uma vazão de 400 mL min⁻¹ e 30 mL min⁻¹, respectivamente. Para identificação utilizou-se comparação do tempo de retenção com padrões de alta pureza (>99%) obtidos da Sigma Aldrich (St.Louis, USA). A partir desses padrões foram preparadas soluções de trabalho contendo os ácidos, em concentrações de 500, 1000 e 10000 ppm, por diluição em água ultrapura. Os picos correspondentes a cada ácido foram identificados pelo tempo de retenção, utilizando-se como comparação os tempos de retenção dos padrões: Acético, Butírico, Propiônico, Succinico, Cítrico e Maleico. As concentrações de cada ácido nos tratamentos foram calculadas por meio da área referente à concentração de 10000 mg L⁻¹ de cada padrão analisado.

2.5 Análise estatística

Os dados foram analisados de acordo com o modelo de delineamento experimental inteiramente casualizado, com os tratamentos dispostos em esquema fatorial 3 x 5, sendo três estágios sucessionais (inicial, intermediário e tardio) e cinco áreas por estágio, totalizando 15 unidades experimentais. As médias das repetições foram submetidas a análise de variância e teste de média pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade utilizando o software Assistat 7.6 beta (Silva e Azevedo, 2009).

3.0 Resultados e discussão

Os solos sob diferentes estágios sucessionais de regeneração natural no semiárido da Paraíba-Brasil apresentaram dois diferentes tipos de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, quando comparado os padrões de ácidos estudados. Obteve-se boa resolução no cromatograma de ácido acético e maleico, com avaliação geral da amostra em 32 minutos.

Foi observado a presença de ácido acético em todos os tratamentos (Figura 2). A presença do ácido maleico foi observada apenas nas áreas de vegetação com mais de 60 anos sem intervenção antrópica (Figura 3).

Tanto para o ácido acético quanto para o melico foi verificado diferenças significativas a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey (Tabela 2). A maior concentração de ácido acético se deu na profundidade de 05 – 10 cm e nas áreas tardias de regeneração natural, com valores de 98,46 mg Kg⁻¹. As áreas de estágio inicial apresentaram as menores concentrações para esse ácido (Tabela 2). Segundo Sousa e Bortolon (2002), o ácido acético apresenta cerca de 60% do total de AO produzidos no solo.

Xiao et al. (2010), em estudos feitos com matéria orgânica em sedimentos de solo de um lago na China, observaram que os AOBPM podem compor até 5,6% da matéria orgânica do solo, onde o ácido acético teve concentração de 8,31 mmol/L o que correspondeu a 14,92 % do total de AOBPM. Esses autores relatam ainda uma redução na concentração desse ácido com o aumento da profundidade.

Um fator preocupante em relação a elevada concentração do ácido acético é o fato do mesmo ser tóxico as plantas e a microbiota do solo, sendo capaz de reduzir o crescimento radicular em até 50% (SCHMIDT et al., 2007).

A presença do ácido maleico apenas nas áreas de regeneração tardia pode ser explicada levando em consideração a estabilidade dos solos dessas áreas. Segundo Bohnen et al. (2005) e Kopp et al. (2007) os ácidos orgânicos são produzidos pelos micro-organismos presentes no solo e pelas raízes das plantas, sendo a concentração variável de acordo com a perturbação que o ecossistema presente no solo sofre, diminuindo com o aumento da intervenção. Além disso, a decomposição de resíduos vegetais liberam AOBPM na solução do solo (FRANCHINI et al., 2001; LOSS, et al., 2013).

A detecção de apenas dois ácidos através da cromatografia gasosa pode estar relacionada com o tipo de clima da região onde as áreas estudadas estão inseridas. Os ácidos orgânicos tem sua produção favorecida em condições de clima quente e úmido sobre a comunidade microbiana presente no solo (CHRIST E DAVID, 1996), o diferente da área estudada que apresenta clima quente e seco. Já os exsudados radiculares que contém esses ácidos são favorecidos na presença de solos pobres quimicamente e com pH baixo (MARSCHNER, 1995), características de alguns solos

das áreas iniciais de sucessão ecológica. Pinheiro et al (2013) evidenciam que quanto maior o teor de matéria orgânica solo, maior tenderá a ser a concentração e a diversidade de AOBPM. No entanto, Hess et al. (2002), mostram que em solos de floresta a decomposição de ácidos orgânicos é acelerada na superfície de solos orgânicos devido a atividade microbiana.

Tabela 2: Quadro 2:Concentração de ácidos orgânicos de baixo peso molecular em solos de diferentes estágios sucessionais de regeneração natural de florestas secas tropicais na região semiárida da Paraíba-Brasil.

Tratamento	Ácido acético - Concentração (mg Kg-1)		Ácido maleico - Concentração (mg Kg-1)	
	00 - 05 cm	05 - 10 cm	00 - 05 cm	05 - 10 cm
E	6,71 c A	6,12 cA	-----	-----
I	31,82 bA	26,62 bA	-----	-----
L	52,91 aB	98,46 aA	6667,12 B	18363,63 A

Médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$). E – Estágio inicial de sucessão; I – Estágio intermediário de sucessão; L – Estágio tardio de sucessão.

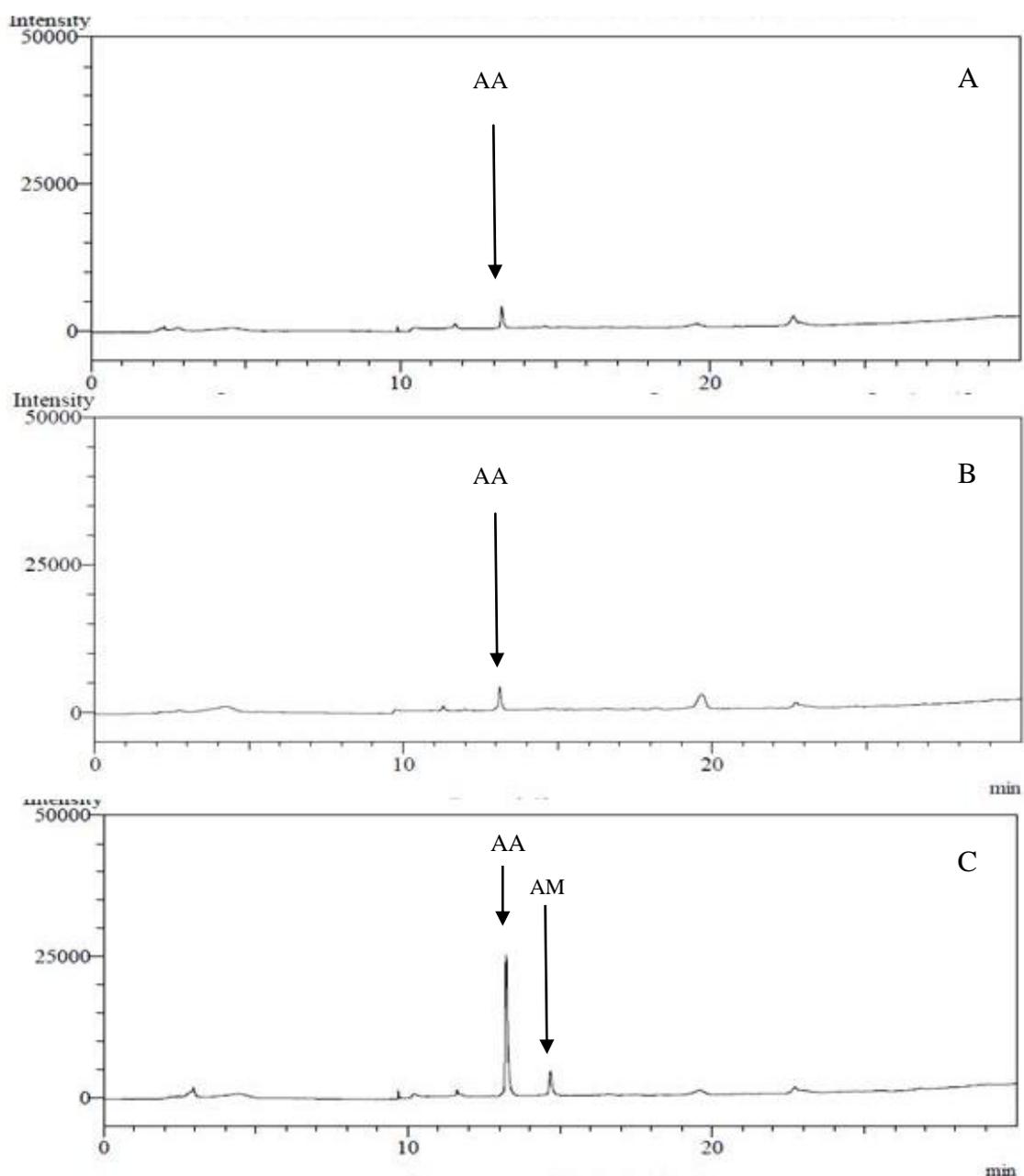


Figura 2: Cromatograma de ácidos orgânicos de baixo peso molecular de solos de florestas tropicais secas de áreas de regeneração natural na profundidade de 00 - 05 cm, Patos - PB. A - estágio inicial (E); B - estágio intermediário (I); C - estágio tardio (L). AA - Ácido acético; AM - Ácido maleico.

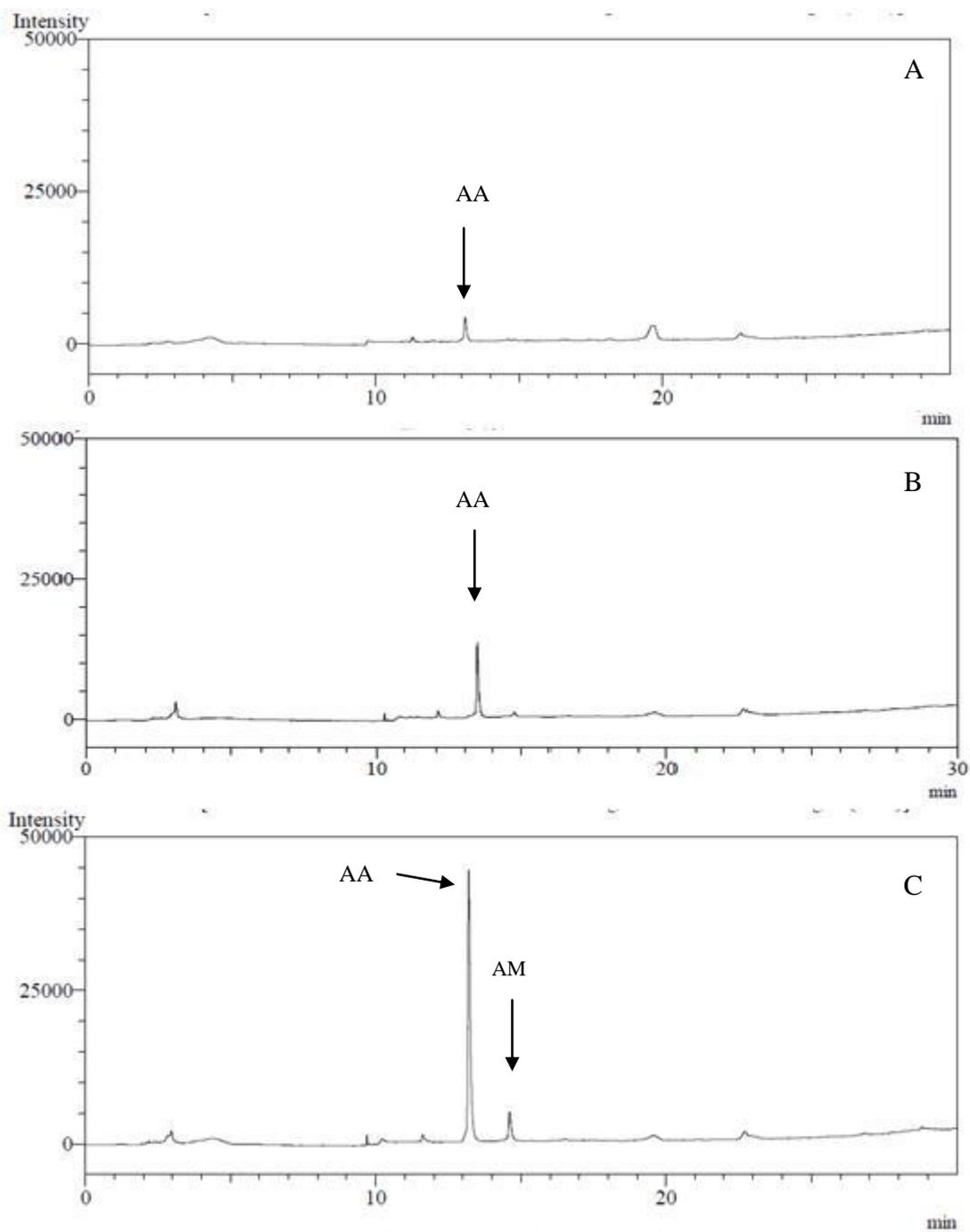


Figura 3: Cromatograma de ácidos orgânicos de baixo peso molecular de solos de florestas tropicais secas de áreas de regeneração natural na profundidade de 05 - 10 cm, Patos - PB. A - estágio inicial (E); B - estágio intermediário (I); C - estágio tardio (L). AA – Ácido acético; AM – Ácido maleico.

4.0 CONCLUSÃO

- Todos solos em diferentes estágios de sucessão natural apresentaram ácidos orgânicos de baixo peso molecular (ácido acético);
- A estabilidade do solo favorece a produção de um maior número de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como o ácido maleico;
- Em estágio tardio de sucessão ecológica os ácidos orgânicos de baixo peso molecular tendem a se acumular com o aumento da profundidade.

5.0 AGRADECIMENTO

Os autores agradecem pelo suporte financeiro ao CNPq (Edital MCT/CNPq/MMA/MEC/CAPES/FNDCT – Ação Transversal/FAPs Nº 47/2010) pelo financiamento e à Fazenda Tamanduá pela oportunidade para desenvolver esse estudo.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:115-123, 2004
- AQUINO, F.T. e SANTIAGO-SILVA, M. Determinação de ácidos carboxílicos em composto de resíduos sólidos urbanos por cromatografia gasosa com detector de ionização em chama. *Eclética Química*,v.31,p.25-30, 2006.
- BOHNEN, H.; SILVA, L. S.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Ácidos orgânicos na solução de um gleissolo sob diferentes sistemas de cultivo com arroz irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.475-480.2005.
- CARDOSO FILHO, J. A.; MINHONI, M. T. A. Interações microbianas e controle de fitopatógenos na rizosfera. In: SILVEIRA, A. P. D.; FREITAS, S. S. *Microbiota do solo e qualidade ambiental*. Campinas: Instituto Agronômico, 2007. 312 p.
- CHIARADIA, M. C.; COLLINS, C. H.; JARDIM, I. C. S. F. O estado da arte da cromatografia associada à espectrometria de massas acoplada à espectrometria de massas na análise de compostos tóxicos de alimentos. *Química Nova*, v. 31,p. 623-636, 2008.
- CHRIST, M.; DAVID, M.B. Dynamics of extractable organic carbon in Spodosol forest floors. *Soil Biology & Biochemistry*, 28 (1996), pp. 1171–1179.
- FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. *PlantSoil*, 231:55-63, 2001.
- FREITAS, A. D. S. ; SAMPAIO, E. V. S. B. ; SILVA, B. L. R. ; ALMEIDA CORTEZ, J. S. ; Menezes, R. S. C. . How much nitrogen is fixed by biological symbiosis in tropical dry forests? 2. Herbs. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. OF, p. 1-12, 2012.
- HEES P.A.W. van; JONES, D. L.; GODBOLD, D. L. Biodegradation of low molecular weight organic acids in coniferous forestpodzolic soils. *Soil Biol.&Bioch.*,v.34,p.1261–1272. 2002.
- HEES, P.A.W.VAN; JONES, D.L.; FINLAYC, R.; GODBOLDB, D.L.; LUNDSTROM, U.S. The carbon we do not see – the impact of low molecular weight compounds on carbon dynamics and respiration in forest soils: a review. *Soil Biol. &Bioch.*, v. 37, p.1-13, 2005.

- JONES, D. L. Organic acids in the rhizosphere-a critical review. *PlantandSoil*, The Hague, v. 205, p. 25-44, 1998.
- KOPP, M. M.; LUZ, V. K.; COIMBRA, J. L. M.; SOUSA, R. O.; CARVALHO, F.I. F.; OLIVEIRA, A.C. Níveis críticos dos ácidos acético, propiônico e butírico para estudos de toxicidade em arroz em solução nutritiva. *Acta BotanicaBrasilica* v.2, p.147-154, 2007.
- LOSS, A.; COUTINHO, F. S.; PEREIRA, M. G.; SILVA, R. A. C. E.; TORRES, J. L. R.; RAVELLI NETO, A. Fertilidade e carbono total e oxidável de Latossolo de Cerrado sob pastagem irrigada e de sequeiro. *Ciência Rural*, 43(3), 426-432. Retrieved July 07, 2013
- MARSCHNER, H.; *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd ed., Academic Press: London, 1995.
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.911- 920, 2008.
- PINHEIRO, Gabriela Lúcia et al . Ácidos orgânicos de baixa massa molar em solos e materiais orgânicos. *Quím. Nova*, São Paulo, v. 36, n. 3, 2013.
- SILVA, F. A. M. S.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P.T.G.; GODINHO, A.; MALTA, M. R. Determinação de ácidos orgânicos de baixo peso Molecular na rizosfera de cafeeiro por Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). *Ciência e agrotecnologia*, Edição Especial, p.1391-1395, 2002.
- SOUZA, R. S.; CARVALHO, L. R. F. Origem e implicações dos ácidos carboxílicos na atmosfera. *Química Nova*, v. 24,n. 1,p.60-67, 2001.
- SOUSA, R.O.; BORTOLON, L. Crescimento radicular e da parte aérea do arroz (*Oryza sativa* L.) e absorção de nutrientes, em solução nutritiva com diferentes concentrações de ácido acético. *Rev. Bra.deAgroc.*, v.8, n.3, p.231-235, 2002.
- XIAO, M.; WU, F.; LIAO, H.; LI, W.; LEE, X.; HUANG, R. Characteristics and distribution of low molecular weight organic acids in the sediment porewaters in Bosten Lake, China. *Journalof Envi. Scie.*, vol 22, p. 328–337, 2010.

CAPÍTULO II

BIOMASSA, ATIVIDADE MICROBIANA E ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS EM SOLOS DE FLORESTAS TROPICAIS SECAS EM ESTÁGIOS SUCESSIONAIS DE REGENERAÇÃO NATURAL

Biomassa, atividade microbiana e atributos bioquímicos em solos de florestas tropicais secas em estágio sucessionais de regeneração natural

RESUMO

Esse trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento de solos de 15 áreas de três diferentes estágio sucessionais de regeneração natural de floresta seca tropical brasileira (Caatinga), no estado da Paraíba - Brasil, quanto aos indicadores químicos, bioquímicos e microbiológicos. Os solos são do tipo NeossoloLitólicos. As coletas de solo foram feitas no período seco, nas profundidades de 00 - 05 cm e 05 - 10 cm. Cada estágio - Inicial (E), Intermediário (I) e Tardio (L) - foi composto por 5 áreas (de 1 a 5 para cada área). Em cada área foram feitas coletas em diferentes pontos para obtenção de uma amostra composta representativa da área nas duas profundidades. Após a coleta, uma amostra de solo foi refrigerada para as análises bioquímicas. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado 15 x 2 (15 áreas de três estágios sucessionais diferentes e duas profundidades). As variáveis analisadas foram atividades enzimáticas (fosfatase ácida e alcalina, uréase e aril-sulfatase), atributos microbianos e análises químicas. O pH dos solos variaram de 5,54 (E5) a 6,81 (I4), sendo esses valores diferentes estatisticamente. Os teores de fósforo foram diferentes estatisticamente entre se na profundidade de 05 -10 cm, sendo E1 o maior valor observado. O carbono orgânico total apresentou diferenças entre os tratamentos, sendo a profundidade de 05 - 10 cm do 15 o maior valor encontrado. Para as atividades enzimáticas, a fosfatase ácida apresentou diferenças estatísticas e L4 e L5 os maiores valores. A arilsulfatase foi influenciada pelos diferentes estágiosucessionais. Os solos apresentaram grande diversidade quanto aos atributos microbianos, químicos e bioquímicos, demonstrado pela análise multivariada. Os solos foram agrupados em 14 grupos diferentes na profundidade de 00 -05 cm e em 10 grupos na profundidade de 05 - 10 cm. Os resultados desse trabalho contribuem para uma melhor compreensão da dinâmica do solo no processo de regeneração natural em florestas secas tropicais.

Palavras-chave: Enzima, Caatinga, Sucessão ecológica.

Biomass, microbial activity and biochemical characteristics in soils of dry tropical forests in successional stage of natural regeneration

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the behavior of soils in 15 areas of three different successional stages of natural regeneration of tropical dry forest in Brazil (Caatinga) in the state of Paraíba - Brazil, as indicators of chemical, biochemical and microbiological. Soils are Typic Litholic type. The soil samples were taken in the dry at depths 00-05 cm and 05-10 cm. Each stage - Initial (E), Intermediate (I) and Late (L) - was composed of 5 areas. In each area, samples were collected at different points to obtain a sample representative of the area in two depths. After collecting a soil sample was refrigerated for biochemical analyzes. The experimental design was a completely randomized 2 x 15 (15 areas three successional stages and two different depths). The variables analyzed were enzymatic activities (acid and alkaline phosphatase, urease and aryl sulfatase), microbiological attributes (α) and chemical analysis. The pH of the soils ranged from 5.54 (E5) to 6.81 (I4), and these values were statistically different. Phosphorus levels were statistically different between in the depth of 05 -10 cm, E1 being the highest value observed. The total organic carbon showed differences between the treatments and the depth 05-10 cm I5 of the highest value. For enzyme activity, acid phosphatase showed statistical differences L4 and L5 and the highest values. Arylsulfatase was influenced by different successional stages. The soils showed great diversity as attributes microbial, chemical and biochemical shown by multivariate analysis. The soils were grouped into 14 different groups at a depth of 00 -05 and 10 cm in depth groups 05-10 cm. The findings contribute to a better understanding of the dynamics of the soil in the process of natural regeneration in tropical dry forests.

Keywords: Enzyme, Caatinga, ecological succession.

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais sazonalmente secas (FTS) ocorrem em regiões com clima bem característico: com temperatura anual maior que 17 °C, precipitação variando entre 250 a 2000 mm e evapotranspiração potencial maior que a precipitação anual durante grande parte do ano (HOLDRIDGER, 1967).

Ticktin et al (2012), afirmam que é necessário o desenvolvimento de novas formas de abordagem em FTS, representado no Brasil pelo ecossistema Caatinga, para identificar os pontos de declínio desse bioma.

Outro ponto importante sobre as FTS é a pouca informação científica quando comparado a florestas tropicais úmidas (SANCHEZ-AZOFEIFA et al. 2005). No Brasil, as FTS estão extremamente ameaçadas pelo desmatamento excessivo, mas ainda assim recebem muito menos atenção em termos de pesquisa e conservação do que as florestas tropicais úmidas e o cerrado. As pesquisas atuais nesse bioma estão relacionada a botânica, herbivoria, uso medicinal das espécies (SILVA, 2009; SILVA, *et al.*, 2009; BARBOSA *et al.*, 2010; SANTOS *et al.*, 2010), mas são reduzidas as pesquisas sobre o comportamento da dinâmica do solo no processo de revegetação natural.

O desmatamento, o manejo inadequado e de implementos agrícolas pode danificar o solo, levando a formação de camadas compactadas e degradação desse ecossistema. Esse manejo incorreto proporciona a redução do volume total de poros presente nesse solo (CARNEIRO et al., 2009). Segundo Lourente et al. (2011) a substituição da vegetação nativa por sistemas de cultivo causam grandes alterações nos atributos químicos e microbiológico do solo ainda no primeiro ano de intervenção, causando redução na sua capacidade funcional.

A capacidade de funcionamento do solo dentro de um ecossistema, mantendo a produtividade biológica e sanidade da fauna e flora é a definição para a qualidade do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005).

A partir do estresse causado pelas ações antrópicas e naturais a um ecossistema, várias mudanças podem ocorrer nos diversos segmentos que o compõe. A biomassa microbiana é um dos parâmetros de uso inicial para a determinação das mudanças químicas e físicas do solo causadas pela perturbação (BAARU et al., 2007). Outros atributos da atividade microbiológica do solo são a respiração basal, o quociente metabólico (qCO_2), o quociente microbiano ($qMIC$) e a atividade enzimática.

O estudo do solo tendo como base seus atributos químicos é uma ferramenta bastante útil para se analisar práticas de manejo e correlacioná-las com a produtividade das culturas e estabilidade do solo (AMARAL e ANGHINONI, 2001). Atributos químicos, tais como: teor de K, Ca, Mg, pH, Al e C, podem variar sua concentração e disponibilidade para os vegetais de acordo com a perturbação causada ao solo.

Outro importante fator da qualidade do solo é o indicador bioquímico, uma vez que esses são sensíveis as alterações do solo e ao manejo (VILARI et al., 2011). As relações estabelecidas entre as atividades enzimáticas, de responsabilidade principal de micro-organismos e dos vegetais, e os indicadores bioquímicos de qualidade do solo remetem aos parâmetros do processo natural de funcionamento deste (ARAGÃO et al., 2012).

Dessa maneira, conhecer as características do solo de um ecossistema se torna de fundamental importância, pois proporciona ganho de informações para a conservação bem como melhorar suas condições e também o processo de regeneração natural. Nesse contexto, a compreensão da dinâmica da atividade microbiana no solo e suas relações simbióticas com o ecossistema e os benefícios proporcionados por essa comunidade no processo de regeneração natural de florestas secas tropicais no Brasil.

Estudos sobre avaliação de atividade enzimática em florestas tropicais secas ainda são pouco desenvolvidos e precisam ser realizados para determinar valores de referência para promover o seu uso como uma ferramenta para tomada de decisão visando evitar a degradação de solos nesses biomas. Por isso, este trabalho teve como objetivo ser o primeiro registro de avaliação de atividade enzimática e sua relação com atributos microbianos e químicos de solos em diferentes estágios sucessionais em floresta tropical seca, na região semiárida de Patos, PB-Brasil.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo, descrição das áreas, coleta das amostras

Igual a anterior

2.2 Análise dos solos

Uma parte das amostras de solos foram realizadas análise química (pH, Ca, Mg, Al, H, Na, P e K), conforme EMBRAPA (1999). Essas amostras foram secas ao ar, destorroadas, homogeneizadas e peneiradas em peneira de 2 mm. Foram realizadas em triplicatas de cada amostra de solo para as duas profundidades.

2.3 Biomassa microbiana e indicadores biológicos

Para determinação do carbono da biomassa microbiana (CBM) as amostras foram submetidas ao processo de irradiação conforme a metodologia descrita por Mendonça; Matos (2005).

A respiração basal do solo (RBS) foi determinada pela quantificação do dióxido de carbono (CO₂) liberado no processo de respiração microbiana (evolução de CO₂) pelo método de adsorção alcalina, com a umidade das amostras de solo ajustadas para 60% de sua capacidade de campo (ANDERSON; DOMSCH, 1985).

O carbono orgânico total (COT) foi determinado conforme Yeomans e Bremner (1988), cujo princípio é a oxidação a quente com dicromato de potássio e titulação do dicromato remanescente com sulfato ferroso amoniacal.

O quociente metabólico (qCO₂) foi calculado pela razão entre a RBS e o CBM (ANDERSON; DOMSCH, 1993), expresso em microgramas de C-CO₂ por micrograma de Cmic por dia. O quociente microbiano (qMIC), foi calculado pela relação CBM/COT, de acordo com Sparling (1992).

2.4 Análise de atividade enzimática

Para a determinação da atividade enzimática microbiana do solo as amostras foram submetidas a diferentes metodologias. Para a quantificação da fosfatase ácida e alcalina a metodologia utilizada foi a proposta por Eivaze e Tabatabai (1977) tendo como substrato ρ – nitrofenil fosfato, 1g de solo foi incubado por 1h a 37 ± 1 °C; a uréase foi determinada segundo metodologia de Kandeler e Gerber (1998) com modificações, sendo a ureia o substrato, 5g de solo incubado por 2h a 37 ± 1 °C; a aril-sulfatase seguiu metodologia de Tabatabai e Bremmer (1972) com modificações, com ρ – nitrofenil sulfato como substrato, 1g de solo incubado por 1h a 37 ± 1 °C.

2.5 Análise estatística

Os dados foram analisados de acordo com o modelo de delineamento experimental inteiramente casualizado, com os tratamentos dispostos em esquema fatorial 15x 2, sendo 15 áreas de três estágios sucessionais diferentes (inicial, intermediário e tardio) e duas profundidades. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 1 e 5%. Os tipos de estágios sucessionais foram confrontados pela análise multivariada de componentes principais e agrupamento (Statistica, 2011). A seleção dos componentes principais foi realizada de acordo com os autovalores gerados através da matriz padronizada, sendo os primeiros componentes principais os responsáveis pela maior parte da variância dos dados originais. Os dados originais foram normalizados antes da análise de agrupamento. Para a geração dos dendrogramas resultantes desta análise, utilizou-se a distância euclidiana média como coeficiente de similaridade e o método de Ward's como método de agrupamento. Para realização do corte do dendrograma, utilizou-se uma das etapas da análise de agrupamento, através do gráfico gerado com distâncias de ligação entre os dados formados, definiu-se com maior precisão o ponto de corte. Dessa forma, o corte determinou o número de grupos de acordo com uma maior similaridade, através da maior distância (maior salto) com que os saltos foram analisados.

3.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Indicadores químicos e microbiológicos

Os valores de pH variaram entre os solos das áreas analisadas, sendo observado o menor valor, 5,54, no solo da área E5 de sucessão ecológica na profundidade de 00-05cm e o maior valor, 6,81, no solo da área 4 do estágio intermediário na profundidade de 00-05cm, sendo esses valores diferentes estatisticamente ($p \leq 0,01$) (Tabela 1). No geral, foi possível observar que os valores de pH foram mais baixos nas áreas de estágio inicial de desenvolvimento e os maiores valores encontrados no estágio tardio da regeneração natural. De acordo com Lourente et al (2011), os valores de pH baixo podem ser explicados pelo fato das áreas iniciais ainda apresentarem um grau avançado de degradação do solo.

Os teores de fósforo nos solos apresentaram diferenças significativas apenas na profundidade de 05-10cm. Com $13,25\text{mg dm}^{-3}$, a área E1 foi a que apresentou maiores valores para esse elemento. Esse valor pode ser explicado levando em consideração a

vegetação que se encontrava antes na área (pastagem). O P é um elemento que tem sua dinâmica afetada pelos micro-organismos, ao decompor a matéria orgânica do solo os micro-organismos incorporam o P em sua estrutura e após a lise de suas células ocorre a liberação desse elemento para o ambiente (MARTINAZZO et al., 2007). A manutenção do fósforo no solo também é dependente da permanência da cobertura vegetal e a ciclagem do o fósforo é favorecida pela presença da matéria orgânica presente no solo (FALLEIRO et al., 2003; PEREIRA et al., 2010).

Quando comparado com solos de florestas tropicais secas, os valores de P nos solos dos três estágios sucessionais desse trabalho são maiores do que solos cultivados para os primeiros anos de cultivo. Lopes et al (2012) mostram valores de P próximo a 7mg dm^{-3} em solos cultivados com melão na Chapada do Apodi, Ceará, e Maia (2013) mostra que a partir do quinto ciclo de melão, os valores de P tendem a ser maior que 17mg dm^{-3} .

Os teores de H+Al estão diretamente relacionados com o pH dos solos (Tabela 1). Os maiores valores são observados na camada de 00-05cm de profundidade, sendo esses valores diferentes estatisticamente a 1%. Apenas para a área I4 foi observada diferença significativa entre as profundidades do solo. Quando comparado a solos de outros biomas, verifica-se que os valores de H+Al de solos de caatinga são bem inferiores. Lima et al (2013) mostram valores de H+Al de 5,3 e 6,8 para as profundidades de 00-05cm e 05-15cm, respectivamente, em solos cultivados com plantio direto. Para cerrado nativo, Bressan et al (2013) apresenta valores $4,51\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$ para a concentração de H+Al. Em área sob remanescente da floresta amazônica sem qualquer perturbação antrópica direta, Silva Júnior et al (2012) descrevem valores de H+Al em torno de $5,5\text{cmol}_c\text{dm}^{-3}$.

Para o carbono orgânico total (COT) dos solos sob diferentes estágios sucessionais observou-se diferenças significativas apenas para a profundidade de 05-10 cm (Tabela 1). O maior valor observado foi no solo da área I5. Esse valor ($21,64\text{g Kg}^{-1}$) mostra que mesmo com características fitogeográfica e botânica de uma área intermediária, o solo já se comporta como um solo de área de estágio tardio de regeneração natural. Os valores de COT do solo da floresta tropical seca no semiárido de Patos – PB, são inferiores aos valores encontrados por Fracetto et al (2012) em solo de floresta tropical seca no município de Irecê-BA Brasil. Esses autores relatam valores de $51,7\text{g Kg}^{-1}$ para a profundidade de 00-05cm de caindo a $18,3\text{g Kg}^{-1}$ na profundidade

de 20-30cm. Em estudos com solos de mata nativa classificada como Floresta Estacional Semidecidual, Pezarico et al (2013) descrevem valores de COT de 53,83 g Kg⁻¹ na profundidade de 00-10 cm. Yang et al (2010) estudando floresta secundária no nordeste da China apresentam valores para o COT variando entre 42,1 a 54,7 g Kg⁻¹, na primavera e outono, respectivamente. Sousa et al (2012) discutindo a dinâmica do carbono do solo de áreas semiáridas mostram uma variação de 4,1 a 37,3% no incremento desse elemento no solo, concluindo que o manejo do solo interfere diretamente na quantidade do COT presente no solo. Essas variações nos valores podem está ligadas a densidade e distribuição das plantas nas áreas estudadas, considerando que a caatinga é um ecossistema bastante heterogêneo em sua biodiversidade (Silva et al., 2003) o que interfere diretamente na deposição e ciclagem de nutrientes no solo. Ogle et al. (2005), mostram que o estoque do COT é reduzido com a cultivo das áreas, mas as perdas são causadas principalmente pelo tipo de clima da região.

Os teores de carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) apresentaram diferenças significativas tanto para as áreas estudadas quando nas profundidades (Tabela 2). Solos das camadas de 00-05 apresentam as maiores concentrações de CBM, podendo ser esses resultados explicados pelo acúmulo de resíduo vegetal na superfície do solo, tendo a pastagem fornecido um maior aporte de matéria orgânica aos solos classificados como estágio inicial. Porém, com o passar do tempo, a concentração de CBM tende a ser reduzida na camada de 00-05cm, pois o ecossistema tende a estabilidade, mas mantendo-se superior a camada mais profunda, corroborando com resultados encontrados por Ferreira et al (2007) que relatam redução do Cmic com o aumento da profundidade do solo. O aumento do CBM na camada superior pode está relacionado com a declividade das áreas de estudo.

Os valores apresentado pelas áreas classificadas como estágio tardio de sucessão ecológica para o CBM estão próximos aos valores encontrados por Nunes et al. (2012) em estudos com solos de áreas de mata nativa do Nordeste brasileiro. Esses autores explicam ainda que a re-vegetação de algumas áreas podem acelerar o crescimento da biomassa microbiana do solo por esse apresentar maior estabilidade.

Os solos das áreas E1, I1 e L5, foram os que apresentaram os maiores valores para a respiração basal, com valores respectivamente de 2,22; 2,29; 2,36 mg Kg⁻¹ h⁻¹, quando comparado as outras áreas de estudo (Tabela 3). A maior respiração basal indica um aumento da atividade dos micro-organismos do solo (Araujo et al., 2008).

O quociente microbiano (qMIC) foi significativo para as áreas estudadas e as profundidades. Observa-se o maior valor de qMIC para a área inicial 5 para as duas profundidades, sendo a profundidade de 05-10cm a com maior valor dessa variável, mostrando um crescimento do qMIC com a profundidade. Segundo Anderson e Domsch (1989), quanto maior o valor para qMIC, maior a ciclagem de nutrientes e menor acúmulo de carbono.

Em relação ao quociente metabólico (qCO₂), algumas áreas apresentaram valores elevados como mostrado na tabela 2. A área 5 de estágio inicial, seguida da área 3 do mesmo estágio, com valores de 4,35 e 2,3 mg mg⁻¹ h⁻¹ de C-CO₂ do CBM. Esses valores indicam maiores perdas de CO₂ por unidade de carbono microbiano (MERCANTE et al., 2008). Melo et al. (2012), em estudos com a substituição de mata virgem por pastagem, no estado do Pará – BR, mostraram que o quociente metabólico era maior em pastagem recém implantadas em comparação com a mata virgem, uma menor comunidade microbiana consumia uma maior quantidade de carbono para se manter.

3.2 Atividade enzimática

Os solos sob estágios tardios L4 e L5 foram os que apresentaram maiores níveis de atividade da fosfatase ácida para as duas profundidades estudadas (Tabela 4), sendo esses valores diferentes a 1% de probabilidade pelo teste de Tukey dos demais níveis observados. Esses dados corroboram com os relatados por Jakelaitis et al. (2008) e Nunes et al (2009), que mostram valores mais elevado para essa enzima em solos de floresta nativa. O mesmo foi observado por Evangelista et al. (2012) em solos de mata nativa no Cerrado brasileiro. Esses resultados podem ser explicados pela quantidade de nutrientes como um elevado teor de carbono orgânico e a baixa disponibilidade de fósforo inorgânico (GATIBONI et al., 2008).

Os estágios sucessionais influenciaram na atividade da Aril-sulfatase (Tabela 4) para as duas profundidades estudadas. Os estágios tardios L4 e L5 apresentaram os maiores valores para as duas profundidades, com 125,57 e 102,94 µg g⁻¹ de solo h⁻¹, respectivamente. Esses resultados divergem dos relatados por Silva et al (2013) que mostram maiores valores dessa atividade em áreas cultivadas em comparação a solos de floresta. Segundo Nogueira e Melo (2003) a atividade da arilsulfatase aumenta com o incremento de matéria orgânica na superfície do solo, uma vez que essa fornece os ésteres de sulfato, que são os substratos das enzimas. Os resultados mostram um

padrão da atividade dessa enzima, com a profundidade a tendência é a redução da atividade da arilsulfatase em solos de florestas secas tropicais.

Para a atividade da uréase também foi observada a redução da atividade com o aumento da profundidade do solo, o maior valor foi observado no estágio L5 e na profundidade de 00 – 05 cm. Conforme Liu et al. (2008), estes comportamentos diferentes observados para as enzimas permitem demonstrar que a atividade destas no solo são bastante afetadas pelo teor da matéria orgânica. Lanna et al (2010) explica que a deposição de matéria orgânica na superfície estimula a produção da uréase, que é influenciada pela presença de exsudados provenientes das raízes vegetais. Além disso, em solos rizosfericos a tendência é aumentar a atividade enzimática devido a dinâmica dos micro-organismos na região (CORDEIRO et al.,2012).

Os dados demonstraram um alto número de correlações entre as variáveis analisadas, sendo as variáveis de atividade enzimáticas (uréase, arilsulfatase e fosfatase ácida), o carbono orgânico total e as químicas (P, K e Ca) as variáveis selecionadas pela análise de componentes principais, em detectar diferenças entre solos de florestas tropicais secas em diferentes estágios de regeneração natural, podendo ser utilizadas como ferramentas para monitorar a qualidade de solos desses biomas.

A análise de agrupamento (Cluster) mostrou uma alta diversidade de solos com diferentes atividades química, microbiana e bioquímica, demonstrando o quanto esses atributos são sensíveis em detectar diferenças entre áreas em estágios sucessionais de regeneração natural em floresta seca na região semiárida de Patos-PB. Na camada mais superficial 0-5 cm de profundidade, foram detectados 14 áreas, sendo os únicos solos que se agruparam em relação às atividades enzimáticas, químicas e microbianas, os solos das áreas I2 e E2 (Figura 2).

Para o agrupamento na profundidade de 05 -10 cm as áreas foram agrupadas em 10 grupos distintos. Sendo observadas semelhanças entre as áreas com diferentes tipos de extratos vegetais (Figura 3), ficando em um mesmo grupo L4 e I2 e em outro grupo L1, L3 e I4, com L3 e I4 os solos mais próximos (a partir dos atributos químicos, microbiológicos e bioquímicos analisados). Com o agrupamento também foi possível verificar que solos de áreas classificadas com o mesmo estágio de sucessão ecológica são bem diferentes, como é o caso de E1 e E5.

Tabela 2: Atributos químicos dos solos em áreas de floresta tropical seca em diferentes estágios de regeneração natural no Semiárido da Paraíba- Brasil.

Área	COT		pH		Mg		Ca		Al		H + Al		Na		K		P	
	g Kg ⁻¹				cmolc dm ⁻³								(mg dm ⁻³)					
	0 -5 cm	5 - 10 cm	0 -5 cm	5 - 10 cm	0 -5 cm	5 - 10 cm	0-5cm	5- 10cm	0 -5 cm	5 - 10 cm	0 -5 cm	5 - 10 cm	0 -5 cm	5 - 10cm	0 -5 cm	5- 10cm	0 -5 cm	5 - 10 cm
E1	22.25 a A	17.92abc A	5.80 cA	5.96 cdefA	0,485bA	0,595aA	7,19aA	8aA	0.08 abA	0.05 abA	2.03 abcd	1.76 cd	0.16 aA	0.15 Aa	0.20aA	0.19 aA	12.41aA	13.25 aA
E2	18.97 a A	18.73 abcA	5.73 cA	5.60 efA	0,352bcA	0,322bcA	5,81bA	4,97bA	0.05 bA	0.083abA	2.20 abcA	1.93 cA	0.16 aA	0.18 aA	0.19 aA	0.19 aA	11.57aA	12.15 abA
E3	21.36 aA	17.66 abcA	5.96 bcA	6.08bcdefA	0,292cA	0,373abcA	5,17bcA	5,47bA	0.05 bA	0.05 abA	2.03 abcdA	1.93 cA	0.18 aA	0.23 aA	0.13 aA	0.15 aA	12.66aA	11.15 abA
E4	13.54 aA	13.46 bcA	5.58 cA	5.73 efA	0,776aA	0,608aA	5,58bcA	4,56bA	0.066 abA	0.066 ab	2.53 abA	2.26 bcA	0.16 aA	0.18 aA	0.13 aA	0.13 aA	12.75aA	11.23 abA
E5	15.80 aA	11.86 cA	5.54 cA	5.59 fA	0,475aA	0,396abcA	5,01bcA	4,95bA	0.10 aA	0.10 aA	2.64 abA	1.98 cA	0.16 aA	0.15 aA	0.13 aA	0.12 aA	10.98aA	11.23 abA
I1	13.74 aA	14.35 abcA	6.51 abA	6.39 abcdA	0,085dB	0,161cdA	4,62cA	3,8cB	0.05 bA	0.08 abA	1.92 abcdA	1.98 cA	0.15 aA	0.15 aA	0.18 aA	0.15 aA	12.16aA	11.23 abA
I2	19.92 aA	18.83 abcA	5.80 cA	5.76 defA	0,28cA	0,035eB	5,66bcA	4,43bB	0.05 bA	0.05 abA	2.75 aA	3.02 aA	0.15 aA	0.16 aA	0.16 aA	0.13 aA	11.32aA	11.32 abA
I3	17.69 aA	14.36 abcA	6.10 bcA	6.00 cdefA	0,413aA	0,416aA	6,35aA	4,74bB	0.066 abA	0.05 abA	1.81 bcdeA	2.26 bcA	0.15 aA	0.18 aA	0.15 aA	0.12 aA	11.23aA	10.98 abA
I4	21.61 aA	18.90 abcA	6.81 aA	6.70 abA	0,317bcA	0,317bcA	7,41aA	6,26abA	0.05 bA	0.05 abA	1.65 cdeA	0.88 eB	0.19 aA	0.15 aA	0.19 aA	0.18 aA	11.49aA	11.15 abA
I5	18.03 aA	21.64 aA	6.19abcA	6.25abcdeA	0,15cdA	0,159cdA	5,34bcA	4,51bA	0.05 bA	0.05 abA	2.58 abA	2.09 bcA	0.19 aA	0.18 aA	0.18 aA	0.13 aA	11.49aA	10.31 bA
L1	18.36 aA	18.06 abcA	6.64 abA	6.71 aA	0,062Da	0,036eA	4,24cA	5,78bA	0.05 bA	0.036 bA	1.65 cdeA	1.04 eA	0.18aA	0.15 aA	0.15 aA	0.12 aA	11.14aA	10.82 abA
L2	13.08 aA	12.40 cA	6.64 abA	6.45 abcA	0,215cA	0,304bcA	5,24bcA	5,46bA	0.05 bA	0.05 abA	1.21 deA	0.77 eA	0.16 aA	0.15 aA	0.12 aA	0.18 aA	10.56aA	10.56 bA
L3	20.73 aA	19.00 abcA	6.54 abA	6.49 abcA	0,234Ca	0,281cdA	5,93bA	6,0abA	0.066 abA	0.066abA	0.99 eA	1.21 deA	0.16 aA	0.14 aA	0.19 aA	0.17 aA	11.07aA	11.74 abA
L4	17.68 aA	17.96 abcA	6.22abcA	6.06 cdefA	0,448Ba	0,311bcA	6,66abA	5,34bA	0.05 bA	0.05 abA	1.98 abcdA	2.64 abA	0.16 aA	0.18 aA	0.14 aA	0.15 aA	11.64aA	11.91 abA
L5	19.59 aA	19.96 abA	6.80 aA	6.70 abA	0,154cdA	0,038eB	6,33abA	4,2bA	0.05 bA	0.05 abA	1.21 deA	1.15 eA	0.15aA	0.12 aA	0.19 aA	0.15 aA	11.57aA	10.65 abA

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, e maiúsculo, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$). E – Estágio inicial de sucessão; I – Estágio intermediário de sucessão; L – Estágio tardio de sucessão.

Tabela 3: Atributos microbiológicos de solos em áreas de em floresta tropical seca em diferentes estágio de regeneração natural no semiárido da Paraíba- Brasil.

Área	RBS (mg kg ⁻¹ h ⁻¹)		CBM (mg kg ⁻¹)		Qco ₂		Qmic	
	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm	0-5 cm	5-10 cm
E1	2.22abA	2.08 aA	2.26 aA	0.54 eB	1.98 bcdB	3.26 aA	0.10 abA	0.03 cdB
E2	1.87abA	0.97 bcdefB	1.17 bcA*	0.56 eB	1.67 cdA	1.52 cdA	0.062 abcA	0.03 cdA
E3	2.22abA	1.53 abcA	0.99 bcdA	0.84cdeA	2.30 bcdA	1.49 cdA	0.046 abcA	0.04 bcdA
E4	1.39abcA	0.55 efB	1.06bcd A	2.13 aB	1.33 cdA	0.25 dA	0.106 aA	0.16 aA
E5	1.66abA	0.55 efB	0.40 eA	0.61 de A	4.35 aA	1.02 cdB	0.025 bcA	0.05 bcA
I1	2.29 aA	1.39 abcdB	1.13 bcA	0.82 cdeB	2.03 cdA	1.76 bcA	0.085 abcA	0.058 bcA
I2	1.66 abA	0.69 defB	0.90 bcdeA	1.24 bA	1.82 cdA	0.54 cdB	0.046 abcA	0.06 bcA
I3	1.46abcA	1.53 abcA	0.53 deB	1.19 bcA	2.97 bcdA	1.27 cdA	0.029 abcB	0.08 bA
I4	1.39abcA	1.04 bcdefB	0.70 bcdeA	0.62 deA	1.96 cdA	1.68 bcdA	0.032 abcA	0.03 cdA
I5	0.42 cA	0.83 cdefA	0.61 cdeA	0.14 fA	0.86 dB	4.29 aA	0.047 abcA	0.0069 dA
L1	2.08 abA	1.25 bcdeB	0.60 cdeB	1.16 bcA	3.55 bcA	1.09 cdB	0.033 abcA	0.065 bcA
L2	1.11 bcA	0.69 defA	1.01 bcdA	0.76 deA	1.12 dA	0.09 cdA	0.078 abcA	0.062 bcA
L3	1.66 abA	1.04 bcdefa	1.06 bcdA	0.96 bcdA	1.65 cdA	1.07 cdA	0.052 abcA	0.051 bcA
L4	1.80 abA	0.42 fB	1.22 bA	1.19 bcA	1.46 cdA	0.35 cdB	0.074 abca	0.066 bcA
L5	2.36 aA	1.67 abB	0.37 eA	0.54 eA	1.73 cdA	3.12 abB	0.019 cA	0.027 cdA

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, e maiúsculo, nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$). E – Estágio inicial de sucessão; I – Estágio intermediário de sucessão; L – Estágio tardio de sucessão. (RBS – Respiração basal do solo; CBM – Carbono da biomassa microbiana; QCO₂ – Quociente metabólico; Qmic – Quociente microbiano.)*Significativo pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$)

Tabela 4: Atividade enzimática dos solos em áreas de floresta tropical seca em diferentes estágios de regeneração natural no semiárido da Paraíba- Brasil.

Tratamento	Fosfatase ácida		Fosfatase alcalina		Aril-sulfatase		Urease	
	p - nitrofenol (mg g ⁻¹ de solo h ⁻¹)		p - nitrofenol (mg g ⁻¹ de solo h ⁻¹)		p - nitrofenol (mg g ⁻¹ de solo h ⁻¹)		µg NH ₄ -N g ⁻¹	
	00 - 05 cm	05 - 10 cm	00 - 05 cm	05 - 10 cm	00 - 05 cm	05 - 10 cm	00 - 05 cm	05 - 10 cm
E1	28.11835 cdef	26.36480 cde	0.45864 a	4.13990 a	42.72434 cd	25.88072 cd	10.53158 ab	4.00588 b
E2	18.25916 cdef	10.93750 cde	1.36831 a	1.70741 a	29.60760 cd	3.95865 d	5.43428 bcd	3.53707 b
E3	17.57267 def	15.48469 cde	2.67714 a	4.03831 a	35.93159 cd	30.42699 cd	2.63683 d	2.37886 b
E4	15.77806 ef	8.46354 de	1.78474 a	5.36695 a	28.14115 cd	22.95861 cd	3.05620 cd	2.92396 b
E5	8.73579 f	5.41081 e	1.73949 a	10.17411 a	45.74987 cd	17.16961 cd	6.31229 bcd	4.74460 b
I1	17.82552 cdef	28.76311 bcde	1.29636 a	3.37806 a	29.50525 cd	31.78451 cd	4.47828 bcd	3.93683 b
I2	40.25609 bcde	33.06418 bcde	0.63932 a	4.73040 a	51.56793 cd	39.07106 abcd	8.31585 abcd	5.38969 b
I3	45.39742 bcd	38.20294 bc	4.57454 a	4.98260 a	73.02322 bc	48.11444 abc	8.82945 abcd	6.66202 b
I4	37.81406 bcdef	34.94324 bcd	0.56966 a	4.81860 a	43.28123 cd	31.88851 cd	10.24168 ab	3.46047 b
I5	61.53689 ab	21.51054 cde	3.23860 a	3.70936 a	65.50852 bcd	53.75340 abc	7.47518 abcd	6.84310 ab
L1	43.01614 bcde	28.77359 bcde	2.89183 a	1.35811 a	43.88924 cd	35.43774 bcd	3.46336 cd	2.15622 b
L2	46.83594 bc	13.56843 cde	4.92618 a	1.85339 a	54.07135 cd	19.27782 cd	7.27865 bcd	1.80683 b
L3	28.49245 cdef	26.75545 cde	0.80551 a	0.97934 a	27.11876 d	25.97499 cd	2.73417 d	1.66885 b
L4	84.40386 a	55.13602 ab	1.99513 a	3.83776 a	125.57400 a	73.58865 ab	9.49308 abc	3.43244 b
L5	77.72171 a	74.95795 a	1.02954 a	2.81828 a	102.94040 ab	80.15367 a	13.90340 a	12.26747 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,01$). E – Estágio inicial de sucessão; I – Estágio intermediário de sucessão; L – Estágio tardio de sucessão.

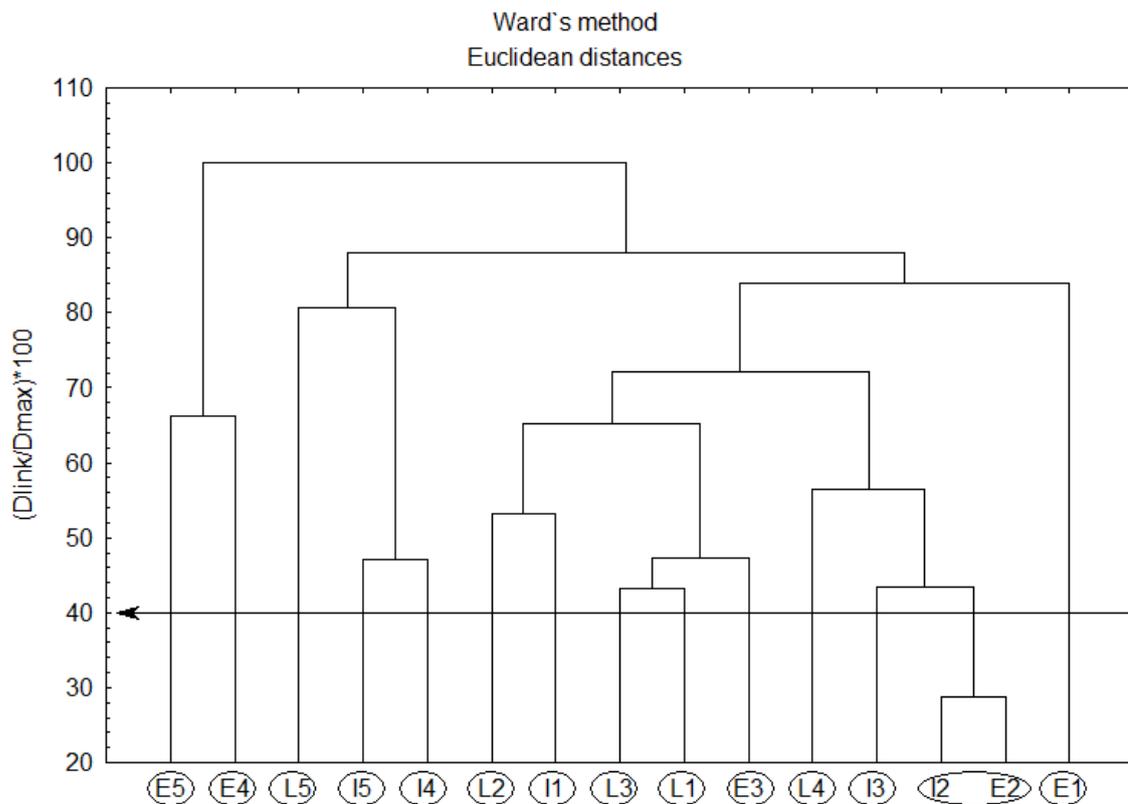


Figura 2. Dendrograma resultante da análise de cluster de atributos microbianos, químicos e bioquímicos de solos da camada superficial (0-5 cm) provenientes de diferentes estágios sucessionais de regeneração natural na região semiárida da Paraíba, Brasil.

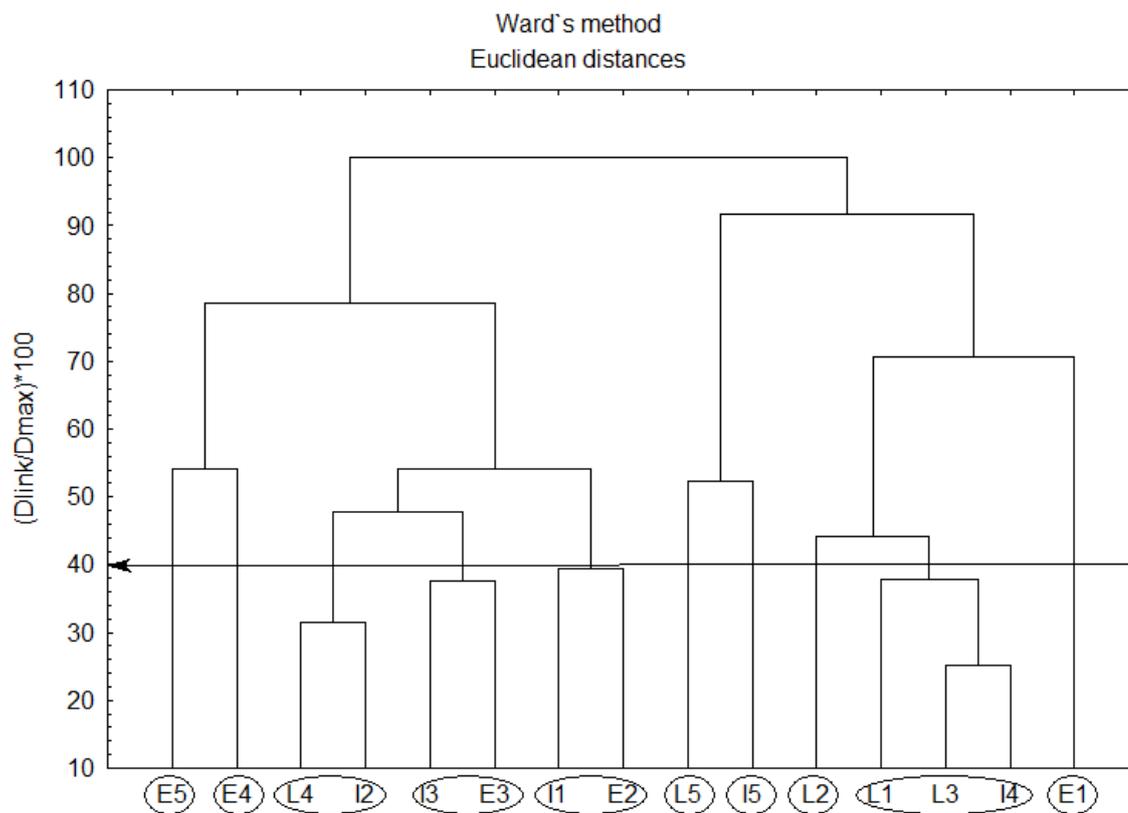


Figura 3. Dendrograma resultante da análise de cluster de atributos microbianos, químicos e bioquímicos de solos da camada em profundidade (5-10 cm) provenientes de diferentes estágios sucessionais de regeneração natural na região semiárida da Paraíba, Brasil.

4.0 CONCLUSÃO

- Atividade enzimáticas (uréase, arylsulfatase e fosfatase ácida), o carbono orgânico total e as químicas (P, K e Ca) podem ser utilizados como ferramenta para avaliação da qualidade de solos sob diferentes estágios sucessionais na região semiárida da Paraíba-Brasil;
- Solos de diferentes estágios sucessionais de regeneração natural em florestas secas tropicais da região semiárida da Paraíba apresentam grande diversidade quanto aos índices de atividades enzimáticas, atributos químicos e microbianos;

5.0 AGRADECIMENTO

Os autores agradecem pelo suporte financeiro ao CNPq (Edital MCT/CNPq/MMA/MEC/CAPES/FNDCT – Ação Transversal/FAPs Nº 47/2010) pelo financiamento e à Fazenda Tamanduá pela oportunidade para desenvolver esse estudo.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Determination of ecophysiological maintenance carbon requirements of soil microorganisms in a dormant state. *Biol. Fertil. Soils*, v.1, p.81-89, 1985.
- ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. *Soil Biol.&Bioch.*, v21, p. 474-479, 1989.
- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. *Soil Biol.&Bioch.*, v.25, p.393-395, 1993.
- AMARAL, A, S.; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema de plantio direto. *Pesq. agropec. bras*, Brasília, vol. 36, n. 4, 695-702 p. 2001.
- ARAGÃO, D.V., CARVALHO, C.J.R., KATO, O.R., ARAÚJO, C.M., SANTOS, M.T.P., MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de indicadores de qualidade do solo sob alternativas de recuperação do solo no Nordeste Paraense. *Actaamaz*; v.42(1), p.11-18. 2012.
- ARAÚJO, A.S.F., SANTOS, V.B. & MONTEIRO, R.T.R. Responses of soil microbial biomass and activity for practices of organic and conventional farming systems in Piauí state, Brazil. *Euro. Jour. of Soil Biol.*, v. 44, p 225–230. 2008.
- BAARU, M.W.; MUNGENDI, D.N.; BATIONO, A; VERCHOT L.; WACEKE, W. Soil microbial biomass carbon and nitrogen as influenced by organic and inorganic inputs at Kabete, Kenya. A. Bationo (eds.), *Advances in Integrated Soil Fertility Management in Sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities*, 827–832 p. 2007.
- BARBOSA, M. D. *et al.* Teores de N, P e K em folhas de dez espécies vegetais de Caatinga. X Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão, 2010. Recife, PE.
- BRESSAN, S. B.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R, S. A.; BARBOSA, R. S.; LUSIENE B. SOUSA, L. B. Plantas de cobertura e qualidade química de Latossolo Amarelo sob plantio direto no cerrado maranhense. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande , v. 17, n. 4, abr. 2013.

- CARNEIRO, M. A. C. et al. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v. 33, n. 1, fev. 2009.
- CONCEIÇÃO, P. C.; CARNEIRO, T. J.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, vol. 29, 777-788 p. 2005.
- EMBRAPA. Manual de Métodos de Análises de Solo. 2nd ed. Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 1997. 212 pp.
- EMBRAPA. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. Brasília: Embrapa, 1999. 370 p.
- FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDES, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, 27:1097-1104, 2003.
- FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, vol.31, n.6. p. 1625-1635. 2007.
- FRACETTO, F. J. C.; FRACETTO, G. G. M.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J.; SIQUEIRA NETO, M. Estoques de carbono e nitrogênio no solo cultivado com mamona na Caatinga. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, 36(5), 1545-1552. 2012.
- FREITAS, A. D. S. ; SAMPAIO, E. V. S. B. ; SILVA, B. L. R. ; ALMEIDA CORTEZ, J. S. ; Menezes, R. S. C. . How much nitrogen is fixed by biological symbiosis in tropical dry forests? 2. Herbs. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. OF, p. 1-12, 2012.
- LIMA, J. S. DE S.; SAMUEL DE ASSIS SILVA. S. A.; SILVA, J. M. DA. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado em plantio direto. *Rev. Ciênc. Agron.*, v. 44, n. 1, p. 16-23, jan-mar, 2013.
- LOURENTE, E. R.P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, A. M. Atributos Microbiológicos, químicos e físicos

- de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 20-28, jan./mar. 2011.
- LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. *Pesqui. Agropecu. Trop.*, vol.41, n.1. 2011.
- MAIA, C. E. Qualidade ambiental em solo com diferentes ciclos de cultivo do meloeiro irrigado. *Ciê. Rural*, Santa Maria, v.43, n.4, p.603-609, abr, 2013.
- MARTINAZZO, R. et al. Fósforo microbiano do solo sob sistema plantio direto em resposta à adição de fosfato solúvel. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, Viçosa, v.31, p.563-570, 2007.
- MELO, V. S.; DESJARDINS, T.; SILVA JR, M. L.; SANTOS, E. R.; SARRAZIN, M.; SANTOS, M. M. L. S. Consequences of forest conversion to pasture and fallow on soil microbial biomass and activity in the eastern Amazon. *Soil Use and Management*, 28: 530–535. 2012.
- 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 áreas cultivadas com mandioca. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 34, p. 479-485, 2008.
- NUNES, J.S.; ARAUJO, A.S.F.; NUNES, L.A.P.L.; LIMA, L.M.; CARNEIRO, R.F.V.; SALVIANO, A.A.C.; TSAI, S.M. Impact of Land Degradation on Soil Microbial Biomass and Activity in Northeast Brazil. *Pedosphere*, v.22(1), p.88–95, 2012.
- NUNES, L. A. P. L.; DIAS, L. E.; BARROS, I. J. N. F.; KASUYA, M. C. M.; CORREIA, E. F. Impacto do monocultivo de café sobre os indicadores biológicos do solo na zona da área remanescente de Cerrado mineira. *Ciê. Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 9, p. 2467-2474, 2009.
- OGLE, S. M.; JAY BREIDT, F. J.; PAUSTIAN, K. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochem.* v.72p: 87–121. 2005.
- PEZARICO, C. R.; VITORINO, A. C. T.; MERCANTE, F. M.; DANIEL, O. Indicadores de qualidade do solo em sistemas agroflorestais. *Rev. de Ciê. Agrá.*, v. 56, n. 1, p. 40-47, jan/mar. 2013.

- SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G.A., KALACSKA, M. QUESADA, M., CALVO, J., NASSAR, J., RODRIGUEZ, J.P. (2005). Need for integrated research for a sustainable future in tropical dry forests. *Conser. Biol.*, 19(2): 1-2.
- SANTOS, M. V. F. D. *et al.* Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. *Rer.Bra. de Zoo.*,v. 39, p. 204-215, 2010.
- SILVA, M. J. C. DA; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T. DA; LINS, L. V. Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente: Universidade Federal de Pernambuco, 2003.
- SILVA JUNIOR, C. A; BOECHAT, C. L.; CARVALHO, L. A. DE. Atributos químicos do solo sob conversão de floresta amazônica para diferentes sistemas na região norte do Pará, Brasil. *Biosci.Journal*, v. 28, n. 4, p. 566-572, July/Aug. 2012.
- SILVA, J. D. O. **Herbivoria em *Tabebuia ochracea*(Bignoniaceae) ao longo de um gradiente sucessional em uma floresta tropical seca.** 2009. 58p. Dissertação (Mestrado). PPGCB, Unimontes, Montes Claros, MG.
- SILVA, L.B.; SANTOS, F.A.R.; GASSON, P.; CUTLER, D. Anatomia e densidade básica da madeira de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Fabaceae), espécie endêmica da caatinga do Nordeste do Brasil. *Acta Bot. Bras.*,v. 23, p. 436-445, 2009.
- SOUSA, F.P.; FERREIRA, T.O.; MENDONÇA, E.S.; ROMERO, R.E.; OLIVEIRA, J.G.B. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. *Agri., Ecos. and Envi.* v.148, p. 11– 21. 2012.
- SPARLING, G.P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. *Austr.Journal of Soil Res.*, v.30, p.195-207, 1992.
- VALARINI, P. J., OLIVEIRA, F.R.A., SCHILICKMANN, S. F., POPPI, R.J. Qualidade do solo em sistemas de produção de hortaliças orgânico e convencional. 2011. *Hortic. Bras.* vol.29(4): 485-491.
- YANG, K.; ZHU, J.; ZHANG, M.; YAN, Q.; SUN, O. J. Soil microbial biomass carbon and nitrogen in forest ecosystems of Northeast China: a comparison between natural secondary forest and larch plantation. *Journal of Plant Ecology*, v. 3, n. 3. P 175-782, 2010.

YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.19, p.1467-1476, 1988.