

**LUCIANA MARIA HERCULANO DA SILVA**

**CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO DE ÁREAS COM  
DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NO SEMIÁRIDO DE  
PERNAMBUCO**

**GARANHUNS**

**PERNAMBUCO – BRASIL**

**JULHO - 2016**

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

**CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO DE ÁREAS COM  
DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NO SEMIÁRIDO DE  
PERNAMBUCO**

**LUCIANA MARIA HERCULANO DA SILVA**

**SOB ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR:**

**Dr. ALEXANDRE TAVARES DA ROCHA**

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 - 2016**

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

**CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO DE ÁREAS COM  
DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NO SEMIÁRIDO DE  
PERNAMBUCO**

**LUCIANA MARIA HERCULANO DA SILVA**

GARANHUNS  
PERNAMBUCO - BRASIL  
JULHO - 2016

## Ficha catalográfica Setor de Processos

Técnicos da Biblioteca Setorial UFRPE/UAG

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE

Biblioteca Ariano Suassuna, Garanhuns-PE, Brasil

S586c

Silva, Luciana Maria Herculano da  
Caracterização da matéria orgânica do solo de áreas com  
diferentes coberturas vegetais no Semiárido de Pernambuco/  
Luciana Maria Herculano da Silva. – 2016.  
87 f :il.

Orientadora: Alexandre Tavares da Rocha  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de  
Pernambuco – Unidade acadêmica de Garanhuns, Programa de Pós-  
Graduação em Produção Agrícola, Garanhuns, BR-PE, 2016.  
Inclui referências.

1. Solo arenosos 2. Infravermelho 3. Semiárido  
4. Sustentabilidade I. Rocha, Alexandre Tavares.  
IV. Título

CDD 631.4

**CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO DE ÁREAS COM  
DIFERENTES COBERTURAS VEGETAIS NO SEMIÁRIDO DE  
PERNAMBUCO**

**LUCIANA MARIA HERCULANO DA SILVA**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Produção Agrícola**, do curso de Pós-graduação em Produção Agrícola, área de concentração uso de água e solo na produção agrícola.

APROVADA EM: 27 DE JULHO DE 2016

---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> MARIA BETÂNIA GALVÃO DOS SANTOS FREIRE

(Membro Externo – UFRPE / DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA)

---

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> SUZANA PEDROZA DA SILVA

(Membro Externo – UFRPE / UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS)

---

Prof. Dr. ALEXANDRE TAVARES DA ROCHA

(Orientador -UFRPE / UNIDADE ACADÊMICA DE GARANHUNS)

*À Deus,  
À minha família,  
Meus pais Severina e Ramiro,  
Ao meu irmão Júnior  
por todo o amor e apoio,  
Ofereço.*

*Aos mestres*

*Que tive ao longo da minha caminhada,*

*Pela dedicação à educação e por serem fonte de inspiração,*

*Dedico.*

## **Agradecimentos**

A UFRPE e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola, pelo acolhimento e por tornarem possível a realização do meu mestrado.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao meu orientador Alexandre Tavares da Rocha, por ser uma pessoa tão legal! Sou muito grata a você por todo o apoio, paciência, confiança por todo o caminho e pela oportunidade ofertada, a qual me fez crescer pessoal e profissionalmente.

As professoras Maria Betânia Galvão e Suzana Pedroza, pela disponibilidade em fazer parte da banca examinadora e pelas contribuições conferidas ao trabalho.

Aos professores Suzana Pedroza, Marcelo Metri Corrêa, Marcio Faria de Moura, Keila Aparecida Moreira, e José Romualdo de Souza Lima, por todo seu apoio e dedicação.

Aos irmãos de longa data Alessandra Florência, Fernando José, Laís Tomaz, João Alves, Marina Medeiros, Wellington Francisco, Eraldo Florência, Everton, Marcelo Shuller, Eduardo Lopes, e tantos outros que longe ou perto sempre me deram apoio, e ajudaram a perceber que as coisas sempre podem melhorar. Aos amigos e família que construí em Garanhuns, os quais vou levar para sempre no meu coração Wandra Laurentino da Silva, Gilciléia Cunha, Diego Cunha, Kledson Mendes, Everton da Costa, Marise Conceição, Samara Alves, Alderi Alves, Cintia Emanuelle, Osmar Soares, Allan Deyws, Allan Henrique, Ana Lucia Teodoro, Cynthia Maria de Lyra Neves, Melry Medeiros, Wendson Moraes, Jéssica Moraes, Miro Martins, Gisa Carrie, Analice Nunes. Obrigada, nunca vou esquecer o apoio e a gentileza de vocês.

Aos amigos do laboratório de Química Agrícola e Ambiental Marise Conceição, Daniel Marques, Erica Oliveira, Raquel Barros, Edjúnior Rodrigues (que nos últimos dias de pesquisa me salvou), Gabriel Henrique, Amanda Jucelene, Arnaldo Joaquim, Jéssica Moraes, Cidney Barbosa, Francisco Lima. Obrigada!

Aos meus familiares, pelo amor, compreensão e apoio permanente. A distância de vocês foi um obstáculo muito difícil, mas conseguimos.

Agradeço a Deus, acima de tudo, por ter colocado tantas pessoas maravilhosas em minha vida e por todos os momentos que compartilhamos.

*“Mude suas opiniões,  
mantenha seus princípios,  
troque suas folhas  
e mantenha suas raízes”  
(Victor Hugo)*



## **BIOGRAFIA**

LUCIANA MARIA HERCULANO DA SILVA, filha de Severina Maria Herculano da Silva e Ramiro Augusto da Silva, nascida em 22 de julho, em Jaboatão dos Guararapes – PE. Em agosto de 2006 ingressou na Universidade Federal de Pernambuco – UFRPE em Recife - PE, formando-se em dezembro de 2011 no curso superior de Engenharia Agrônômica. Em agosto de 2014 iniciou o curso de Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola na Universidade Federal Rural de Pernambuco/ Unidade Acadêmica de Garanhuns – UFRPE/UAG, com área de concentração em Uso de Água e Solo na Produção Agrícola, submetendo-se a defesa pública de dissertação em julho de 2016.

## SUMÁRIO

RESUMO GERAL .....	13
GENERAL SUMMARY .....	14
INTRODUÇÃO GERAL .....	15

## CAPÍTULO I

### TÍTULO: **VARIAÇÃO SAZONAL DE INDICADORES QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE SOLOS DA CAATINGA PERNAMBUCANA**

RESUMO .....	23
SUMMARY .....	24
1. INTRODUÇÃO .....	25
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	28
2.1 Amostragem do solo.....	28
2.2 Descrição da área de coleta.....	29
2.3 Análise química.....	30
2.4 Carbono orgânico total (COT) .....	31
2.5 Frações lábeis de carbono oxidáveis (FLCO) .....	31
2.6 Carbono da biomassa microbiana (CBM) .....	32
2.7 Respirométria- respiração basal do solo (RBS) .....	32
2.8 Fracionamento químico das substâncias húmicas (SH) .....	33
2.9 Análise estatística .....	33
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
3.1 Carbono orgânico total (COT) .....	33
3.2 Frações lábeis de carbono oxidáveis (FLCO) .....	35
3.3 Carbono da biomassa microbiana (CBM) .....	38

3.4	Respirométrie- respiration basal du sol (RBS) .....	39
3.5	Fractionnement chimique des substances humiques (SH) .....	41
3.6	Relation des variables aux différentes époques de collecte.....	43
4.	CONCLUSÕES .....	45
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45

## CAPÍTULO II

### **TÍTULO: CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO DE ÁREAS DE CAATINGA UTILIZADAS PARA A AGROPECUÁRIA POR ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO**

RESUMO .....	55
SUMMARY .....	56
1. INTRODUÇÃO .....	57
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	58
2.1 Descrição dos locais de estudo e sistemas agrícolas .....	59
2.2 Amostragem do solo.....	61
2.3 Análise química e granulométrica das áreas .....	61
2.4 Fractionnement physique de la matière organique du sol des fractions de matière organique particulaire (MOP) et matière organique associée aux minéraux (MOM) .....	62
2.5 Fractionnement Physique des Substances Humiques du sol .....	63
2.6 Caracterização da matéria orgânica do solo por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) .....	65
2.7 análise estatística .....	66
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	66

3.1 Fracionamento físico da matéria orgânica do solo das frações de matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais (MOM) .....	66
3.2 Fracionamento químico das substâncias húmicas do solo .....	69
3.3 Caracterização da matéria orgânica do solo por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) .....	71
4. CONCLUSÕES .....	77
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	77

## RESUMO GERAL

A avaliação da qualidade do solo é uma ferramenta importante para monitorar a sua degradação bem como planejar a implantação de práticas sustentáveis, verificada por indicadores que podem relacionar a qualidade do solo com atividade agrícola deste. A Caatinga, um bioma exclusivamente brasileiro, tem um alto índice de degradação, resultado da ação antrópica de manejo inadequado do solo. O objetivo da pesquisa foi de avaliar as alterações dos indicadores químicos e biológicos da matéria orgânica em função da sazonalidade, em áreas preservadas e antropizadas de ecorregiões da Caatinga em Pernambuco, bem como características qualitativas da matéria orgânica do solo nesses ambientes e usos. Para tanto, foram selecionadas três áreas: uma em Buíque e duas em Serra Talhada, em cada área foram estudadas duas condições de uso do solo (solos em áreas com cobertura de Caatinga preservada e áreas com uso agrícola). As coletas foram realizadas entre setembro/2014 e setembro/2015, abrangendo a estações seca e chuvosa dessas áreas no semiárido. Em cada uso, por área, foram coletadas três amostras compostas de solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Foram realizadas análises de caracterização química e física dos solos, além das análises biológicas de carbono orgânico total (COT), frações lábeis de carbono oxidáveis (FLCO), carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente microbiano (qMIC), fracionamento físico da matéria orgânico (MOP), fracionamento físico da matéria orgânica associada aos minerais (MOM) e fracionamento químico das substâncias húmicas (SH). Os dados foram analisados pelo teste T, ao nível de 5% de probabilidade. Observou-se que todas as variáveis obtidas são influenciadas pela sazonalidade e pela textura do solo para FLCO, CBM e COT, indicando maior influência sobre as frações de carbono lábeis. Enquanto a caracterização por FTIR define relação direta com carbono nas frações de MOP com AH e AF, e MOM com humina.

**Palavras-chave:** solo arenoso, fertilidade, Semiárido.

## GENERAL ABSTRACT

The evaluation of soil quality is an important tool to monitor their degradation and to sustainable practices implementation, by indicators that can relate to soil quality with agricultural activity. The Caatinga, an exclusively Brazilian biome, has a high degradation rate, resulting of human action in inadequate soil management. The objective was to evaluate changes of chemical and biological indicators of organic matter due to the seasonality in preserved and disturbed areas of Caatinga ecoregions in Pernambuco, as well as qualitative characteristics of soil organic matter in these environments and uses. Three areas were selected: one in Buíque and two in Serra Talhada, in each area were studied two conditions of land use (soil in areas with preserved Caatinga coverage and areas with agricultural use). Soil samples were collected between September/2014 and September/2015, covering dry and rainy seasons in semiarid region. In each use and area, there were collected three composite soil samples at layers 0-5, 5-10 and 10-20 cm. Analysis to chemical and physical soil characterization were carried out in addition to biological analysis of total organic carbon (TOC), labile fractions of oxidizable carbon (LFCO), microbial biomass carbon (MBC), basal soil respiration (BSR), microbial quotient (qMIC), physical fractionation of organic matter (POM), physical fractionation of organic matter associated with mineral (MOM) and chemical fractionation of humic substances (HS). Data were analyzed by T test, at 5% probability. It was observed that all relevant variables are influenced by seasonality, and soil texture to LFCO, MBC and TOC, indicating a greater influence on labile carbon fractions. While the characterization by FTIR set directly related to carbon in MOP fractions with AH and AF, and MOM with humin.

**Keywords:** soil sandy, fertility, Semi-Arid.

## INTRODUÇÃO GERAL

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro do Semiárido, que possui grande biodiversidade de fauna e flora. Estima-se que, pelo menos, 932 espécies foram registradas das quais 380 são endêmicas deste bioma (IBAMA, 2014), exibindo um potencial botânico expressivo. Com características itinerante ou migratória, devido ao manejo inadequado e às peculiaridades do clima semiárido, diminui tanto a capacidade de recuperação, como a capacidade produtiva dos solos (Nunes et al., 2009).

A Caatinga apresenta área de 844.453 km<sup>2</sup>, que corresponde a 9,92% do território nacional, da qual apenas 2% de sua área total protegida. Em Pernambuco, a área é de 81.141 km<sup>2</sup>(IBAMA, 2014). Estudos do monitoramento do território total da Caatinga revelaram que 16.576 km<sup>2</sup> foram devastados diretamente por ação antrópica intensiva (cultivo e pecuária) aliados à vulnerabilidade e aos efeitos das mudanças climáticas, exibindo uma forte tendência à desertificação (Lira et al.,2012).

A região semiárida do Nordeste do Brasil, tem elevada variabilidade climática que resulta numa maior degradação ambiental e diminuição da produção. Este aspecto é intensificado pela sazonalidade, sendo considerada uma das regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas que afetam, não só a produção agrícola, como o desenvolvimento da mata nativa (Althoff et al., 2016).

Os estudos da qualidade do solo são avaliações sistêmicas dos recursos água, carbono, serapilheira, microrganismos, que permitem compreender a capacidade de um determinado solo desenvolver múltiplas funções no ambiente, mantendo a sustentabilidade do ecossistema (Cordeiro et al., 2013). Nesses estudos são mensuradas formas quantitativas e/ou qualitativas por meio do uso de indicadores que medem ou refletem o status ambiental e condição de sustentabilidade (Araújo &Monteiro, 2007). Isso permite identificar, caracterizar, avaliar, quantificar e acompanhar as alterações ocorridas num dado ecossistema, evidenciando as alterações entre qualidade e degradação do solo (Doran & Parkin, 1996).

Múltiplos indicadores (químicos, físicos e biológicos) são utilizados para descrever e quantificar os aspectos da qualidade do solo, visto a forte inter-relação entre eles, pois detectam alterações ocorridas no ambiente em função do tempo (Kuwano et al., 2014). Para nortear a escolha de indicadores de qualidade do solo, Doran & Zeiss (2000) sugerem alguns critérios: os indicadores devem ser sensíveis às variações de manejo e clima, de fácil mensuração, econômicos e úteis para explicar os processos do ecossistema.

Diferentes enfoques têm sido propostos para se estabelecer critérios de referência, destacando-se o uso do solo de área sob vegetação natural não degradada, em virtude de representar as condições ecológicas de estabilidade do ambiente e parâmetros agronômicos que maximizam a produção e conservam o meio ambiente.

Entre os atributos químicos utilizados como critérios de referência, afetados pela prática agrícola, estão: o pH, a capacidade de troca catiônica, os cátions trocáveis ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ) e a matéria orgânica do solo (Assis et al., 2010). Por outro lado, os principais indicadores físicos apontados por Araújo et al. (2012a) são a textura, densidade do solo, porosidade total, resistência à penetração, estabilidade de agregados, capacidade de retenção de água e condutividade hidráulica.

Alterações nesses atributos podem afetar a qualidade do solo, uma vez que há influência na atividade biológica, disponibilidade de nutrientes e decomposição da matéria orgânica do solo (Dexter, 2004). Domsch et al. (1983) e Pereira et al. (2011) apontam que devemos considerar os efeitos do estresse ao qual as comunidades microbianas são naturalmente submetidas, incluindo as flutuações na temperatura, os extremos de potencial hídrico e pH, distúrbios físicos, mudanças nas trocas gasosas e, decréscimo no suprimento de nutrientes, devido às características dinâmicas e inter-relacionadas e constantes do estresse.

A remoção da cobertura vegetal ocasiona redução nos processos de ciclagem de nutrientes e aceleração da decomposição da matéria orgânica, podendo modificar características físicas como densidade, estrutura, porosidade e distribuição de agregados (Portugal et al., 2010), comprometendo o suprimento de água, a aeração, a disponibilidade de nutrientes, a atividade microbiana e a penetração de raízes, entre outros (Braida et al., 2010).

Variáveis como carbono orgânico total (COT) e carbono da biomassa microbiana (CBM) são rapidamente alterados por mudanças no solo. Warner et al. (2013) justificam o uso de microrganismos e processos microbiológicos para estudar a qualidade do solo porque a atividade microbiana reflete a influência conjunta dos fatores responsáveis pela decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes.

O uso de fracionamento da MO para a quantificação do COT pela sensibilidade ao manejo como acontece em MOP (matéria orgânica particulada) e MOM (matéria orgânica associada aos minerais), relatados por Tivet et al., (2013), podem ser utilizados para analisar a conversão da vegetação natural para sistemas de plantio em ambientes subtropicais e tropicais brasileiros.



As frações de carbono oxidáveis (FCO), as quais se relacionam com os índices de manejo do solo, tornaram-se indicadores interessantes para relacionar a recalcitrância dos compostos orgânicos presentes e uma resposta a sua estabilidade em diferentes tipos de solos comuns ao respectivo ecossistema (Martins et al., 2015). Sendo eficientes para identificar mudanças decorrentes de práticas de manejo do solo ou da substituição da vegetação nativa por cultivos agrícolas (Torres et al., 2014).

Por outro lado, o uso do infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) pode indicar uma gama de compostos orgânicos atuantes na MO, destacando alterações qualitativas nos grupos funcionais orgânicos do C, o mecanismo de estabilização, e o sequestro de C (Tivet et al., 2013). As informações obtidas pela espectroscopia do infravermelho são baseadas nos movimentos vibracionais nas ligações entre os átomos, gerando informações sobre processos ocorridos no material do que sobre determinação estrutural. Exibindo informações sobre a estrutura, a composição de fases amorfas numa caracterização molecular de espécies orgânicas e inorgânicas, pois esta absorção é quantificada e assim os sinais de absorção são linhas discretas (Canellas et al., 2005). Na caracterização dos solos pode-se determinar de modo qualitativo e quantitativo os grupos funcionais do carbono, como a relação de labilidade e recalcitrância dos compostos de carbono (Ferraresi et al., 2012; Tivet et al., 2013).

O estabelecimento de indicadores de qualidade do solo é útil na tarefa de avaliação de impactos ambientais quando biomas são incorporados ao processo produtivo, seja de forma extensiva ou intensiva, mas a utilização de equipamentos como infravermelho que podem analisar o solo e expressar as várias relações da MOS com seus compartimentos, é considerado uma ferramenta importante, como método de investigação. Torna-se, assim, um instrumento importante nas funções de controle, fiscalização e monitoramento de áreas destinadas à proteção ambiental (Araújo et al., 2007).

Principalmente, devido às condições específicas de formação, constituição e manejo do solo exigem indicadores também específicos, os quais não invalidam o caráter universal do levantamento dessas informações (Santos & Maia, 2013). Para Dantas et al. (2012), devem consistir em diferentes situações como dimensionamento e tipos de irrigação, práticas de manejo, qualidade de água e especificidades das culturas, sendo bases para a identificação de alternativas sustentáveis ajustadas à condição semiárida.

A avaliação da qualidade do solo na perspectiva de cobertura tornou-se a hipótese geral do trabalho, com objetivo de buscar indicadores que descrevam a qualidade do solo para áreas de Caatinga no semiárido nordestino. Indicaria causas e consequências para o

mesmo, avaliando as variações de atributos químicos e biológicos, sejam em áreas com atividade agrícola em contraste com áreas de preservação de ecorregiões do bioma Caatinga.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALTHOFF, T.D; MENEZES, R.S.C; CARVALHO, A. L; PINTO, A.S; SANTIAGO, G.A.C.F; OMETTO, J.P; RANDOW, C.V; SAMPAIO, E.V.S.A. Climate change impacts on the sustainability of the firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresinha Municipality, Northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 360, p. 367–375, 2016.

ARAÚJO, A. S. F. D.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**, v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, A.D; KER, J. C; NEVES, J. C. L; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.5, n.1, p.187-206, 2012 a.

ARAÚJO, E. A., KER, J. C., MENDONÇA, E., DA SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta amazônica**, v. 1, p. 41-50, 2012.

ASSIS, S. S; SOUZA, L. J.S; CÂNDIDO, A. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho-Amarelo húmico cultivado com café. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 15-22, 2010.

BRAIDA, J. A., REICHERT, J. M., REINERT, D. J.; VEIGA, M. D. Teor de carbono orgânico e a susceptibilidade à compactação de um Nitossolo e um Argissolo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14. n. 2, p. 131-139, 2010.

DANTAS, J. D. N.; OLIVEIRA, T. S.; MENDONÇA, E. S.; ASSIS, C. P. Qualidade de solo sob diferentes usos e manejos no Perímetro Irrigado Jaguaribe/Apodi, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.18-26, 2012.

- DEXTER, A. R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density and organic matter and effects on root growth. **Geoderma**, v.120, p.201-214, 2004.
- DOMSCH, K. H.; JAGNOW, G.; ANDERSON, T. An ecological concept for the assessment of side-effects of agrochemicals on soil microorganisms. In: **Residue Reviews**. Springer New York, p. 65-105. 1983.
- DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Quantitative indicators of soil quality: a minimum. Methods for assessing soil quality. **Soil Science Society American**, v. 49, p. 25-37, 1996.
- DORAN, J.W; ZEISS, M. R. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. **Applied soil ecology**, v. 15, n. 1, p. 3-11, 2000.
- FERRARESI, T.M.; SILVA, W.T.L; MARTIN-NETO, L.; SILVEIRA, P.M.; MADARI, B.E. Espectroscopia de infravermelho na determinação da textura do solo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 36. p. 1769-1777, 2012.
- IBAMA. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite - PMDBBS**, 2009. Disponível em: <<http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/index.htm>>. Acesso em: 24 Novembro 2014.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.  
<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiario.shtm?c=4>.  
Acessado em dezembro de 2014.
- KUWANO, B. H. et al. Quality Indicators in a Rhodic Kandudult under different uses in Northern Paraná. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, v. 38, p. 50-59, 2014.
- LIRA, R. B. D. et al. Efeitos do sistema de cultivo e manejo da Caatinga através da análise de indicadores químicos de qualidade do solo na produção agrícola de Apodi, RN. **Revista Caatinga**, v. 3, p. 18-24, 2012.

- MARTINS, C. M; DA COSTA, L. M; SCHAEFER, C. E. G. R; SOARES, E. M. B; DOS SANTOS, S. R. Frações da matéria orgânica em solos sob formações decíduais no norte de minas gerais. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 4, p. 10-20. 2015.
- NUNES, L.A.P.L; ARAÚJO FILHO, J.A.; HOLANDA, E.V; MENEZES, R.I. Q. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob Caatinga no Semiárido nordestino. **Revista Caatinga**, v.22, n.1, p.131-140, 2009.
- PEREIRA, M.G; LOSS, A; BEUTLER, S.J; TORRES, J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 508-514, 2010.
- PORTUGAL, A.F; COSTA, O. D. V.; COSTA, L.M. da. Propriedades físicas e químicas do solo em áreas com sistemas produtivos e mata na região da Zona da Mata mineira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 34, n. 2, p. 575-585, 2010.
- SANTOS, V. M; MAIA, L. C. Bioindicadores de qualidade do solo. **Ciência Agrônômica**, vol. 10, p.195-223, 2013.
- TIVET, F; MORAES, J. C; LAL, R; BASTOS, D. M; MILORI, P; BRIEDIS, P; LETOURMY, P; PINHEIRO, L.A; BORSZOWSKI, R. HARTMAN, D.C. Assessing humification and organic C compounds by laser-induced fluorescence and FTIR spectroscopies under conventional and no-till management in Brazilian Oxisols. **Geoderma**, v.207–208, p. 71-81. 2013.
- TORRES, J. L. R; PEREIRA, M. G; DE MORAES, A. G. L; BEUTLER, S. J. Frações granulométricas e oxidáveis da matéria orgânica em sistemas de colheita de cana-de-açúcar. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p.16-23. 2014.

Capitulo I –

**VARIAÇÃO SAZONAL DE INDICADORES QUÍMICOS E BIOLÓGICOS DE  
SOLOS DA CAATINGA PERNAMBUCANA**

## Resumo

Análise de atributos químicos e microbiológicos em solos tornou-se uma importante ferramenta de diagnóstico da fertilidade e degradação do solo. Este trabalho teve como objetivo avaliar alterações ao longo do tempo nos indicadores químicos e microbiológicos em solos arenosos de áreas de Caatinga. Foram selecionadas três áreas com solos de textura arenosa, cada área subdividida em cobertura de Caatinga preservada e uso agrícola, denominadas de BQ-P, BQ-U, ST-P, ST-U, MP-P e MP-U, nos quais foram realizadas coletas de solo entre outubro/2014 e setembro/2015, nas épocas “seca” e “úmida” dessas ecorregiões. Foram coletadas três amostras compostas de solo, em cada uso e cada área, nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. As variáveis analisadas foram carbono orgânico total do solo (COT), frações de carbono oxidáveis (FLCO), carbono da biomassa microbiana (CBM), respiração basal do solo (RBS), quociente microbiano (qMIC), fracionamento físico das substâncias húmicas (SH). Os dados foram analisados pelo teste T, ao nível de 5% de probabilidade. A sazonalidade influenciou diretamente as variáveis FLCO e COT com maiores valores no período seco e diminuição no período chuvoso. Enquanto o CBM divergiu deste comportamento para área de Buíque. Quanto às SH, foram observados valores mais elevados para humina e relação de C-AH/C-AF, indicando uma relação com a MO mais recalcitrante do solo, no período seco. A RBS verificou-se valores de maiores nas coletas 1 e 4 e menores nas coletas 2 e 3, enquanto as FLCO de F1 e F2 exibiram valores próximos comportamento contínuo entre as áreas a despeito da época de coletas.

**Palavras-chaves:** indicadores de qualidade, fertilidade, manejo de solo, matéria orgânica do solo, sustentabilidade.

## **Abstract**

Analysis of chemical and physical factors in soil, has become an important diagnostic tool of fertility and soil degradation. This study aimed to assess changes over time in the chemical and microbiological indicators in sandy soil areas of Caatinga. Three areas were selected with sandy soils, each selected area with two treatments (one Caatinga coverage area preserved and agricultural use), called BQ-P, BQ-U, ST-P, ST-U, MP-P and MP-U, in which collections were made between October / 2014 and September / 2015, covering the periods of "dry" and "wet" these ecoregions. They collected three composite samples of soil, each use, in layers of 0-5, 5-10 and 10-20 cm. The variables were soil organic carbon (TOC) of oxidizable carbon fractions (FLCO), microbial biomass carbon (MBC), basal soil respiration (RBS), microbial quotient (qMIC), physical fractionation of humic substances (HS). Data were analyzed by t test, at 5% probability. Seasonality influenced directly FLCO and COT variables with higher values in the dry season and decrease in the rainy season. While the CBM diverged this behavior to Buíque area. SH had higher values for humin, and the ratio of C-HA / C-AF indicating a relationship with MO most recalcitrant soil. RBS higher values in the samples 1 to 4 and smaller in the samples 2 and 3. While F1 and F2 FLCO exhibited continuous behavior between areas despite the time of collection.

**Keywords:** quality indicators, fertility, soil management, soil organic matter, sustainability.

## 1. Introdução

A Caatinga é um bioma brasileiro, característico da região semiárida que possui elevada biodiversidade e recursos genéticos (IBAMA, 2014). O uso do solo de modo inadequado influencia a condição de cultivo e manejo, diminuindo a produtividade. Contudo, o manejo inadequado resulta em degradação, a qual, somada aos fatores climáticos, diminui a capacidade de recuperação e produtividade (Nunes, et al., 2009). Mas a recuperação das área sem degradação requer tempo e recursos, sendo aconselhável a preservação contínua do solo de modo sustentável, mantendo a qualidade e continuidade da produção (Lopes et al., 2012), a qual pode ser monitorada pelos indicadores de qualidade do solo.

A sazonalidade é um dos maiores fatores de estresse abiótico e, nesse contexto, ainda são escassos os estudos de longo prazo em relação a possíveis sistemas de gestão na região de Caatinga (Gariglio et al., 2010; Althoff et al., 2016). Sampaio (2003) explica que a má gestão associada a condições climáticas adversas (temperaturas elevadas e precipitação baixa e irregular) tem causado a degradação de vastas áreas da região semiárida.

O estudo da qualidade do solo é caracterizado pela avaliação sistêmica de recursos deste, que permitem compreensão da capacidade de um determinado solo em desenvolver múltiplas funções no ambiente, mantendo a sustentabilidade do ecossistema (Cordeiro et al, 2013). Para Dantas et al. (2012), tais atributos constituem irrigação, práticas de manejo, qualidade de água e especificidades das culturas, sendo a base para a identificação de alternativas sustentáveis ajustadas à condição semiárida. Indicam problemas, mas apontarão soluções ao extrativismo, à substituição da vegetação nativa por cultivos agrícolas, queimadas, monocultivos, irrigação inadequada e desmatamento (Giongo et al., 2011).

Um indicador individual da qualidade do solo não é suficiente para descrever e/ou quantificar todos os aspectos relacionados à fertilidade do solo, devido à forte inter-relação entre os atributos químicos, físicos e biológicos. Sendo necessária uma avaliação de múltiplos indicadores, englobando as alterações no ambiente em função do tempo (Kuwano et al, 2014), a fiscalização e monitoramento de áreas destinadas à proteção ambiental (Araújo et al., 2007). Além, confirmar alteração em áreas preservadas, tendo



caráter universal do levantamento de informações relativas à qualidade dos solos (Santos & Maia, 2013).

Os indicadores são necessários, pois refletem a funcionalidade dos solos, mas também para orientar a recuperação de áreas degradadas (Nunes et al., 2012). Esses atributos que proporcionam condições adequadas para o estabelecimento de um diagnóstico das alterações do solo, que correspondam a uma unidade entre atributos químicos e biológicos que implicam numa relação direta, devido à ação antrópica (Santos & Maia, 2013).

Segundo Islam & Weil (2000), os indicadores podem ser divididos em três grandes grupos: (a) os efêmeros, cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo, tais como: umidade do solo, densidade, pH, disponibilidade de nutrientes; (b) os permanentes, que são inerentes ao solo, tais como: profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia; (c) os intermediários, que demonstram crítica influência da capacidade do solo em desempenhar suas funções, como: agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório e carbono orgânico total. Para o autor, os indicadores intermediários são os mais indicados para integrarem um índice de qualidade do solo.

A matéria orgânica do solo (MOS) inclui todas as substâncias orgânicas e é composta por uma mescla de resíduos animais e vegetais, em diversos estágios de decomposição. Devido à importância para diversas propriedades físicas, químicas e biológicas, é amplamente reconhecida na literatura (Novais et al., 2007).

Em razão da importância dos atributos biológicos para os processos que ocorrem no solo, entre elas, podemos citar o carbono da biomassa microbiana (CBM) como principal componente da matéria orgânica viva do solo, pois é mais sensível ao decréscimo na quantidade de MO do solo (Nunes et al, 2009) e, junto ao carbono orgânico total (COT), vem sendo utilizada como indicador de alterações e de qualidade do solo (Silva et al., 2013). Kaschuk et al. (2010) quantificaram por meta-análise, os efeitos de diferentes sistemas de uso do solo sobre a biomassa e atividade microbiana, em biomas brasileiros. Estes autores observaram que, em todos os biomas, a substituição da vegetação natural por práticas agrícolas alterou a quantificação do CBM numa redução em torno de 30%. Pois atua nas formas lábil de C, que estão associadas às propriedades químicas e físicas (Stevenson et al, 2016).

O quociente microbiano (qCmic), isto é, a proporção de CBM em relação ao teor de carbono orgânico permite um acompanhamento mais imediato de variações na matéria

orgânica total. Sendo influenciado pelas plantas de cobertura e adubação e propriedades biológicas do solo (Souza et al., 2013).

A utilização de indicadores de qualidade do solo, que possam medir e verificar mudanças no estoque de C orgânico e desvendar os fatores que controlam a estabilidade do carbono do solo em longo prazo é, ainda, grande desafio que compromete a nossa compreensão do ciclo do carbono (Jandl et al., 2014). O CBM, como COT é influenciado pela decomposição dos compostos orgânicos, pela ciclagem de nutrientes e pelo fluxo de energia do solo, exibe elevada sensibilidade às alterações no manejo (Lopes et al., 2012). Enquanto as frações químicas da MOS como FCO e os IMC expõem os diferentes graus de labilidade e recalcitrância dos compostos de C nos solos (Martins et al., 2015). Observa-se que atributos físicos as populações de microrganismos e a taxa de decomposição de MOS dependem, principalmente, de suas propriedades químicas, físicas e biológicas (El-Saied et al., 2016).

Diante do exposto, o objetivo do trabalho foi avaliar as variações de atributos químicos e biológicos de áreas antropizadas, seja pela atividade agrícola ou extrativista, em contraste com áreas de preservação em ecorregiões do bioma Caatinga, durante as estações seca e chuvosa.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1 Amostragem do solo**

Nas coletas, cada área de amostragem foi dividida em duas subáreas diferenciadas pelo tipo de cobertura vegetal, com cobertura de Caatinga preservada (P) e área de uso agrícola (U), além dos municípios de coleta Buíque (BQ) e Serra Talhada (ST) e, dentro do município de Serra Talhada também houve coleta na Mata da Pimenteira (MP), reserva ambiental, codificadas como: (BQ-P), (BQ-U), (ST-P), (ST-U), (MP-P) e (MP-U).

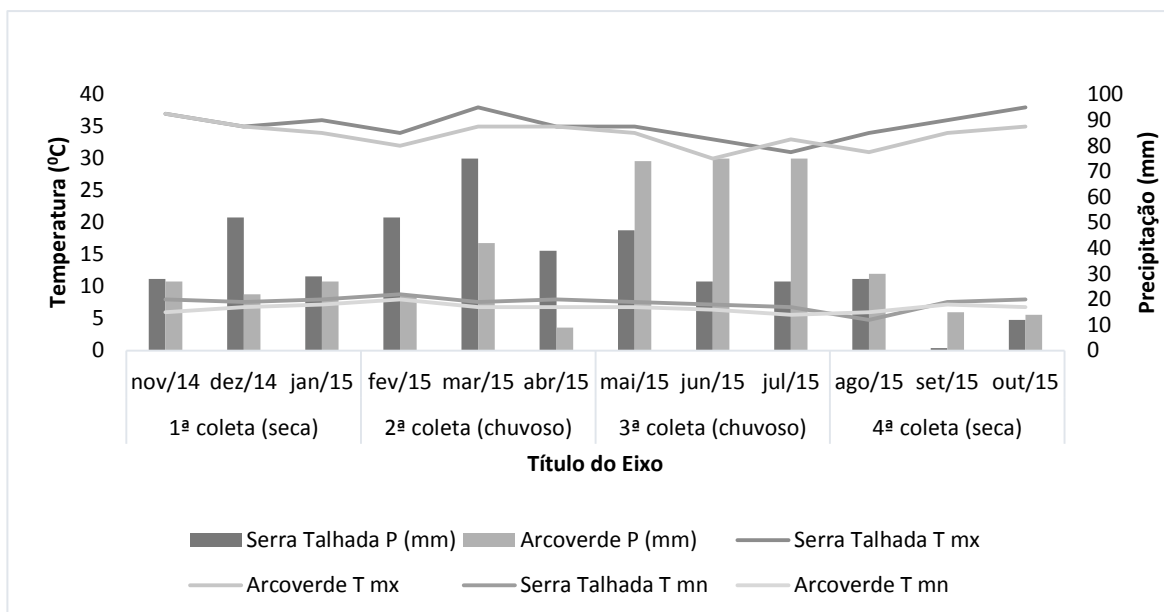
## **3. Material e Métodos**

### **2.1 Amostragem do solo**

Nas coletas, cada área de amostragem foi dividida em duas subáreas diferenciadas pelo tipo de cobertura vegetal, com cobertura de Caatinga preservada (P) e área de uso

agrícola (U), além dos municípios de coleta Buíque (BQ) e Serra Talhada (ST) e, dentro do município de Serra Talhada também houve coleta na Mata da Pimenteira (MP), reserva ambiental, codificadas como: (BQ-P), (BQ-U), (ST-P), (ST-U), (MP-P) e (MP-U).

**Figura 1:** Médias da precipitação (mm) e temperatura (°C) máxima e mínima das áreas de coleta, nos municípios de Arcoverde engloba a área de Buíque. Fonte: APAC- Agência Pernambucana de Águas e Climas, Estação Recife, PE



As coletas foram realizadas baseada na sazonalidade pelo período de 12 meses (outubro de 2014 a setembro de 2015), totalizando 4 coletas, (2) períodos secos e (2) chuvosos. Para as quais, foram assumidos 3 transectos, onde foram coletadas 5 amostras simples deformadas para compor uma amostra composta por transecto, totalizando três amostras compostas (repetições) nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm.

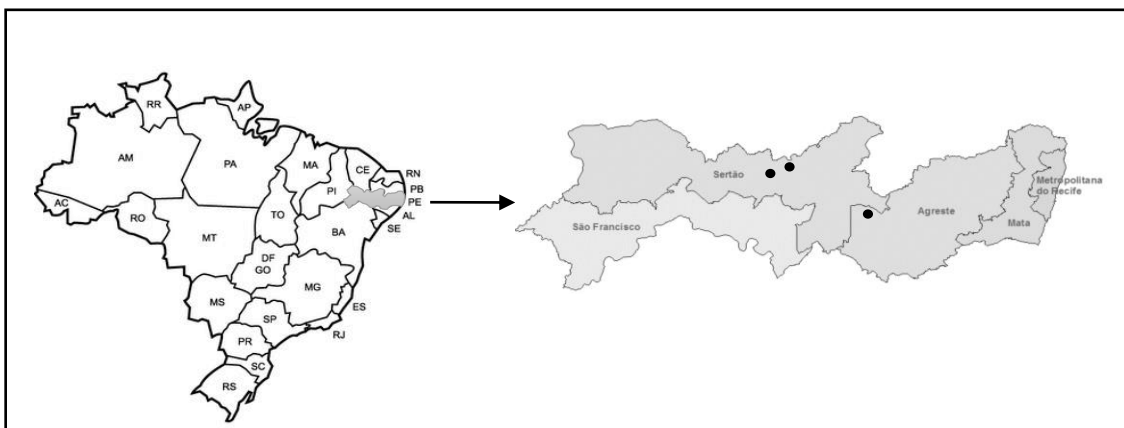
## 2.2 Descrição das áreas de coleta

A amostragem foi conduzida em áreas situadas nas margens das unidades de conservação de ecorregiões da Depressão Sertaneja do Estado de Pernambuco nos municípios de Buíque e Serra Talhada. As áreas selecionadas foram delimitadas em 100 m<sup>2</sup> em torno dos pontos demarcados pelo GPS, foram usadas para este estudo: BQ-P (08° 31'17.6"S, 037° 15'11.7"W), BQ-U (08° 31'18.1"S, 037° 15'11.7"W); ST-P (07°

56°11.7'S, 038° 18'0.09"W); ST-U (07° 56'11.7"S, 038° 18'12"W); MP-P (07° 54'39.3"S, 038° 17'55.5"W); MP-U (07° 54'38.2"S, 038° 17'58.8"W).

As áreas foram selecionadas de acordo com a cobertura das áreas e distribuídas em altitudes que variaram entre 427 e 979 m e em solos de textura arenosa, além das estações do ano verão e inverno. Segundo o sistema de classificação climática de Köppen a região possui clima tropical tendendo a seco pela irregularidade de ação das massas de ar, o semiárido.

**Figura 2:** Mapa representativo dos locais de coleta, as amostras foram coletadas no estado de Pernambuco, Brasil, nas regiões de Sertão e Agreste municípios de Buíque e Serra Talhada.



Em Serra Talhada foi realizada coleta realizada no Parque Estadual Mata da Pimenteira com 887,24 ha, mantida pelo Decreto Estadual 37.823, de 30 de janeiro de 2012, inserido no sertão central Pernambucano, microrregião do Pajeú, apresenta como vegetação típica a Caatinga hiperxerófila, de fisionomia arbustivo-arbórea a arbórea e composição florística característica da Floresta Estacional Caducifólia Espinhosa (Ferraz et al.,1998). O relevo é predominantemente suave-ondulado, cortado por vales estreitos, com vertentes dissecadas e ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino. O clima é o semiárido com temperatura média anual em torno de 37°C e precipitação na faixa de 400 à 800 mm anuais.

O Município de Buíque com área de 62.300 ha, mantida pelo Decreto Estadual Decreto 913/12 (2002) como uma Unidade de Proteção Integral. A coleta foi realizada na região do Catimbau, inserida na bacia hidrográfica do rio São Francisco; a região está classificada no Domínio morfológico de Coberturas Sedimentares do Nordeste Oriental com o predomínio da Unidade de Relevo dos Tabuleiros apresentando solos arenoquartzosos (ou Neossolos Quartzarênicos) profundos. A área caracteriza-se pela

presença de grandes serras areníticas, com diversas denominações locais. A altitude varia entre 1000 a 600 metros.

### **2.3 Caracterização química e textura dos solos das áreas**

A caracterização química das amostras de solo seguiu os métodos descritos no manual da EMBRAPA (2011), com pH em água (1:2,5); a determinação dos cátions trocáveis cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e alumínio trocável ( $\text{Al}^{+3}$ ), extraídos com KCl  $1,0 \text{ mol L}^{-1}$ ;  $\text{K}^+$  extraído com Mehlich-1;  $\text{H}^+\text{Al}^{+3}$  extraída com acetato de cálcio  $1 \text{ mol L}^{-1}$  a pH 7,0. A partir dos valores de acidez potencial, bases trocáveis e alumínio trocável, calculou-se a capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva potencial, a percentagem de saturação por bases (V).

**Tabela 1:** Caracterização química e física das amostras de solo das áreas de Buíque, Serra Talhada e Mata da Pimenteira sob cobertura de Caatinga e de uso agrícola, no estado de Pernambuco

Áreas/ Manejos	Camadas (cm)	BQ-P	BQ-U	ST-P	ST-U	MP-P	MP-U
<b>Propriedades Químicas</b>							
<b>pH H<sub>2</sub>O</b>	0-5	5,01	5,27	7,47	7,21	6,12	6,69
	5-10	4,95	5,46	7,21	7,16	5,85	6,28
	10-20	5,17	5,05	7,35	7,12	5,80	5,71
<b>Al<sup>3+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>	0-5	0,08	0,05	0,00	0,00	0,05	0,06
	5-10	0,10	0,08	0,00	0,00	0,06	0,05
	10-20	0,06	0,10	0,00	0,00	0,08	0,06
<b>Ca+Mg<sup>2+</sup> (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>	0-5	1,63	1,53	4,40	7,20	3,83	4,70
	5-10	1,20	1,23	4,90	6,30	2,80	3,13
	10-20	1,30	1,36	4,90	6,03	2,43	3,18
<b>H+Al (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>	0-5	1,83	0,43	0,60	1,21	1,80	1,04
	5-10	0,98	0,59	1,43	1,43	2,03	1,09
	10-20	0,65	0,54	0,89	1,60	2,65	1,10
<b>t (cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>	0-5	2,02	1,84	5,42	8,34	4,38	5,17
	5-10	1,52	1,55	5,82	7,51	3,35	3,46
	10-20	1,59	1,69	5,79	6,90	2,89	3,51
<b>V (%)</b>	0-5	51,39	79,29	80,86	87,08	60,49	79,35
	5-10	59,33	70,88	79,5	83,93	61,77	77,59
	10-20	60,75	75,29	83,69	80,48	70,11	73,18
<b>Granulometria</b>							
<b>Argila (g kg<sup>-1</sup>)</b>		20,43	27,38	107,91	94,08	81,01	60,98
<b>Areia (g kg<sup>-1</sup>)</b>		951,06	933,54	800,95	842,29	792,89	860,45
<b>Silte (g kg<sup>-1</sup>)</b>		28,51	39,08	91,15	63,63	126,10	78,58

## 2.4 O carbono orgânico total (COT)

O carbono orgânico total (COT) foi determinado segundo o método descrito por Yeomans & Bremner (1988), a determinação ocorreu pela digestão de 0,5 g de solo TSFA com 10 ml de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,0667 mol L<sup>-1</sup>, por 5 minutos, em chapa de aquecimento. Após o resfriamento em temperatura ambiente, foram adicionados 80 ml de água destilada para elevar o volume e adicionados 2 ml de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> P.A., com posterior titulação com FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O 0,1 mol L<sup>-1</sup>, utilizando-se como indicador a solução ácida de difenilamina 1%.

## 2.5 Frações Lábeis do Carbono Oxidável (FLCO)

Para determinação das frações lábeis de carbono oxidável (FLCO) as amostras de TSFA de 0,5g de solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm foram oxidadas com  $K_2Cr_2O_7$  de  $0,167 \text{ mol L}^{-1}$ ,  $H_2SO_4$  nas concentrações de 3 e  $6 \text{ mol L}^{-1}$ , após resfriamento foram adicionados 80 ml de água e 5 gotas do indicador ferroin, seguidos por titulação em solução de  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ . Foram obtidas as frações F1 e F2. Com Fração 1 (F1) - Carbono oxidado  $K_2Cr_2O_7$  com  $3 \text{ mol L}^{-1}$  de  $H_2SO_4$ ; Fração 2 (F2) - diferença entre o Carbono oxidado com 6 e  $3 \text{ mol L}^{-1}$  de  $H_2SO_4$ , EMBRAPA (2011).

## 2.6 Carbono da Biomassa Microbiana (CBM)

No carbono da biomassa microbiana (CBM) utilizou se o método de irradiação-extração, em forno de microondas, (Islam & Weil, 1998), com extrator  $K_2SO_4$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , o carbono foi quantificado por meio de oxidação por via úmida (Yeomans & Bremner, 1988). As amostras foram ajustadas para 60-70% da capacidade de campo, foi extraída com sulfato de potássio ( $K_2SO_4$   $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ), em uma relação de extrator-solo de 8:2, sendo o C determinado pelo método colorimétrico (Bartlett & Ross, 1988). O fator de conversão (KC) usado para converter o fluxo de C para C da biomassa microbiana foi de 0,33 (Sparling & West, 1988), o cálculo dos teores foi realizado com base numa curva-padrão determinada com solução de sacarose, expressos em  $\text{mg C g}^{-1}$  solo.

Com os resultados, foram calculados quociente microbiano (qMic) pela relação carbono microbiano e carbono orgânico total (Cmic/COT), será calculado de acordo com Sparling (1992), e o quociente metabólico (qCO<sub>2</sub>) foi calculado pela razão entre a respiração basal e o CBM (Anderson & Domsch, 1993).

## 2.7 Respirométria - Mineralização do carbono orgânico

Para a análise de respirométricas amostras foram acondicionadas em potes plásticos com capacidade de 1,5 L com tampa hermeticamente fechada contendo 30g de TSFA, na qual as camadas foram homogeneizadas e a umidade do solo foi corrigida para 60% da capacidade máxima de retenção de água. Cada pote conteve um frasco com solução de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ , trocada periodicamente conforme as épocas de avaliação: 24, 48 e 72 horas de incubação. A quantificação do carbono liberado na forma de CO<sub>2</sub>

(C-CO<sub>2</sub>) foi determinada por meio da titulação da solução padronizada de HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup> do NaOH contido nos frascos mediante a adição de solução de BaCl<sub>2</sub> 0,05 mol L<sup>-1</sup> para precipitação prévia do carbonato, com 3 gotas do indicador fenolftaleína (Chan et al., 2001).

## 2.8 Fracionamento químico das substâncias húmicas do solo

Para o fracionamento químico das substâncias húmicas do solo, realizado conforme método proposto por Bennites et al. (2003), com amostras da primeira e última coleta (período seco).

Foram pesados 1,0 g de TFSA, transferidos para tubo de centrífuga e adicionar 20 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, agitado e permaneceu em repouso por 24 h, em seguida foram centrifugados a 5.000 g por 30 min. O sobrenadante reservado, novamente foram adicionados 20 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> nas amostras, as quais foram agitadas manualmente até o desprendimento e ressuspensão do precipitado e permaneceram em repouso por 1 h, e novamente centrifugados a 5.000 g por 30 min, posteriormente a parte sólida e sobrenadante foram reservados. Para constituírem, respectivamente, o extrato alcalino de pH 13,0, sendo ajustado para pH 1,0 ( $\pm 0,1$ ), pela adição da solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20%, a solução decantou por 18 h, a qual foi novamente centrifugada por 5 min. Posteriormente as amostras foram fracionadas em soluções de ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, e humina. O sobrenadante e ao resíduo foram adicionados 30 ml e 20 ml de NaOH e água destilada até atingir o volume final de 50 ml, ao resíduo foi transferido para placa de petri e seco em estufa de aeração forçada a 65°C até secagem depois foi macerado para analisar a humina.

Foram transferidos 5 mL da solução de ácido húmico ou fúlvico e 0,5 g de humina para tubos de digestão com 1 mL de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,042 mol L<sup>-1</sup> e 5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado e aquecido em bloco digestor pré-aquecido a 150°C e deixar por 30 min, em seguida o conteúdo foi transferido quantitativamente para erlemeyers, o volume completado para 80 ml e adicionou-se 3 gotas da solução indicadora de ferroin para titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L<sup>-1</sup> sob agitação.

Com os teores de C nas frações, foram calculadas a relação C-FAH/C-FAF e a relação entre as frações (EA = C-FAF + C-FAH) e humina (C-HUM), tendo-se obtido a relação EA/HUM (Benites et al., 2003).

## 2.9 Análise Estatística



Os dados foram submetidos à análise de variância sendo as áreas e os usos comparados por profundidades por meio do teste t, ao nível de 5% de probabilidade.

#### 4. Resultados e Discussão

##### 3.1 Carbono Orgânico Total (COT)

Os valores de COT teve tendência com maiores valores nas áreas com cobertura de Caatinga, em todas as coletas (Tabela 2). Verificaram-se valores de COT entre os períodos de coletas foram aproximados, relacionando os períodos de coleta, na 1C não foram verificadas relações significativas entre as áreas, entretanto nas demais coletas com este comportamento.

**Tabela 2:** Carbono orgânico total (COT) do solo nas áreas de coleta de Buíque (BQ), Serra Talhada (ST) e Mata da Pimenteira (MP), solo Caatinga preservada (P) e área de uso agrícola (U). Amostragem nos períodos seco (1C e 4C) e chuvoso (2C e 3C) da Caatinga no semiárido pernambucano

Área/Manejo	Camada (cm)	1C	2C	3C	4C
		g kg <sup>-1</sup>			
<b>BQ-P</b>	0-5	6,30 a	4,97 a	5,24 a	7,18 a
	5-10	5,99 a	6,02 a	4,94 a	6,27 a
	10-20	4,63 a	3,27 a	3,70 a	5,87 a
<b>BQ-U</b>	0-5	5,97 a	3,17 a	3,60 a	6,71 a
	5-10	5,22 a	3,27 a	3,50 a	5,93 a
	10-20	4,24 a	2,31 a	4,74 a	5,18 a
<b>ST-P</b>	0-5	8,61 a	5,56 a	7,29 a	8,88 a
	5-10	5,72 a	4,08 a	7,47 a	6,92 a
	10-20	5,60 a	2,51 a	4,74 a	5,39 a
<b>ST-U</b>	0-5	6,08 a	4,37 a	3,90 a	5,35 a
	5-10	4,71 a	3,01 a	2,21 a	5,37 a
	10-20	4,37 a	2,54 a	1,83 a	4,70 a
<b>MP-P</b>	0-5	7,49 a	8,58 a	8,04 a	7,81 a
	5-10	6,37 a	6,60 a	3,14ab	4,87 a
	10-20	5,09 a	4,42 a	2,34ab	4,75 a
<b>MP-U</b>	0-5	8,82 a	4,38 a	8,20 a	7,43 a
	5-10	7,53 a	4,50 a	5,43 a	4,03 a
	10-20	4,00 a	4,88 a	3,88 a	4,09 a

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna comparam médias entre si dentro das áreas e manejos pelo teste de t a 5%. \* 1ª coleta de out/2014 a dez/2014 (período seco); 2ª coleta – fev a abr/2015 (período chuvoso); 3ª coleta de mai a jul/2015 (período chuvoso); 4ª coleta – ago a out/2015 (período seco).

Nas áreas de Buíque apenas a 2ª coleta para área de uso exibiu menor valor (Tabela 2), observação que foi repetida na MP. Enquanto as análises de ST expõem uma variação do COT nas coletas 3 e 4, com área Preservada com valores maiores quando comparados com as áreas de uso. Considerando esses contextos, as alterações na vegetação, abandono da área, e sazonalmente para a mata seca pode esclarecer o efeito de contraste para o COT, ou demais características exibidas pelas áreas. Implicando diretamente na elevada sensibilidade do conteúdo de carbono orgânico e alterações climáticas entre dois tipos de floresta ou sistema agrícola (Toriyama et al., 2015).

Análise de Santos et al. (2012), com Neossolos Regolíticos no semiárido de Pernambuco encontrou valores similares com diferença significativa entre as camadas, com teores de COT no horizonte superficial entre 6 - 14 g kg<sup>-1</sup>, devido à deposição de material orgânico, seguido de decréscimo no teor com a profundidade, variando de 1 a 5 g kg<sup>-1</sup>. Contudo neste trabalho foram observados valores inferiores, entre 5-7 g kg<sup>-1</sup> para o período seco (1C e 4C), e 4 - 6 g kg<sup>-1</sup> para as coletas no período chuvoso (2C e 3C) (Figura 2). Segundo o autor, supracitado, essa diferença é baseada no tipo e densidade da vegetação, pois as áreas de Caatinga hiperxerófila exibe esta condição, a qual é amplificada pelas características do semiárido de altas temperaturas e chuvas não contínuas.

Loss et al. (2015) estudaram solos de floresta tropicais úmidas, encontraram valores entre 12 - 15 g kg<sup>-1</sup> de COT, indicando como a influência da vegetação altera os valores observados. Enquanto Nobre et al. (2015), trabalhando com coletas baseadas na sazonalidade, observaram maiores teores de COT no período chuvoso, mas não observaram diferença entre as camadas. Os autores sugerem que as raízes, como fonte carbono, exerceram a reposição deste. Estes autores também destacam que, em áreas de vegetação hiperxerófila, é comum uma má distribuição da cobertura do solo como uma fonte de alteração da concentração de COT.

A sazonalidade dos fluxos de nutrientes é clara na floresta tropical seca (matas de regiões do semiárido), a qual pode ser impulsionada pela disponibilidade de serapilheira (Yamashita et al., 2011), em decomposição e a atividade dos microrganismos, essa diminuição significativa na estação seca para a estação chuvosa sugere rápida decomposição e mineralização de compostos orgânico e seus derivado durante a estação chuvosa (Anaya et al., 2007; Yamashita et al., 2011).

A entrada de água eleva a atividade microbiana e promove a lixiviação de compostos do solo, resultado em maior alteração no conteúdo de carbono. Solos férteis

possuem boa estrutura e estabilidade de agregados, qualidades favoráveis para o crescimento vegetal, além de apresentar balanço adequado de macro e microporos, aeração adequada, boa capacidade de retenção de água (Tofanelli & Silva, 2011).

### **3.2 Frações Lábeis do Carbono Oxidável (FLCO)**

De modo geral, (Tabela 3) as FLCOF1 e F2 representaram a maior parte do COT. A despeito da correlação do COT e FLCO, foram observados que as frações variaram de acordo com as coletas, exibindo que os períodos chuvosos (2C e 3C) obtiveram maiores valores que os períodos secos (1C e 4C), este fator é representado pelos maiores valores das frações mais lábeis de F1 e F2. Também não houve variação significativa em profundidade para a variável. Não foi verificada diferenças significativas entre as profundidades e os manejos.

Observando o estudo de Martins et al. (2015) o comportamento de cada fração nota-se uma tendência dos valores das frações F1 e F2, o que pode ser justificado pelo contato direto com a serapilheira, uma vez que esta é a principal fonte de biomassa nos ambientes nativos e de uso agrícola. Desse modo, pode-se estabelecer a existência de uma relação entre FLCO e a serapilheira das áreas de estudo como descreve, Scoriza & Piña-Rodrigues (2013) em áreas de fragmentos de florestas do Cerrado.

**Tabela 3:** Teores das Frações Lábéis do Carbono Oxidável (FLCO) do solo: fração lábil (F1, F2) nas áreas de coleta de Buíque (BQ), Serra Talhada (ST) e Mata da Pimenteira (MP), solo Caatinga preservada (P) e área de uso agrícola (U). Amostragem nos períodos seco (1C e 4C) e chuvoso (2C e 3C) da Caatinga no semiárido pernambucano

		F1			
Área/Manejo	Camada (cm)	1C	2C	3C	4C
		g kg <sup>-1</sup>			
BQ-P	0-5	0,15 ab	0,25 a	0,19 a	0,05 a
	5-10	0,24 a	0,35 a	0,27 a	0,23 a
	10-20	0,18 ab	0,29 a	0,15 a	0,11 a
BQ-U	0-5	0,18 a	0,28 a	0,14 a	0,11 a
	5-10	0,11 ab	0,36 a	0,17 a	0,11 a
	10-20	0,10 ab	0,31 a	0,13 a	0,12 a
ST-P	0-5	0,35 a	0,41 a	0,12 a	0,16 a
	5-10	0,23 b	0,41 a	0,28 a	0,19 a
	10-20	0,17 b	0,40 a	0,10 a	0,15 a
ST-U	0-5	0,14 a	0,38 a	0,04 a	0,22 a
	5-10	0,19 a	0,29 a	0,27 a	0,06 a
	10-20	0,20 a	0,24 a	0,08 a	0,10 a
MP-P	0-5	0,52 a	0,22 a	0,27 a	0,07 a
	5-10	0,28 b	0,31 a	0,34 a	0,32 a
	10-20	0,18 c	0,20 a	0,11 a	0,423 a
MP-U	0-5	0,51 a	0,27 a	0,11 a	0,27 a
	5-10	0,24 b	0,24 a	0,21 a	0,11 a
	10-20	0,09 c	0,30 a	0,22 a	0,34 a
		F2			
BQ-P	0-5	0,24 a	0,58 a	0,38 a	0,61 a
	5-10	0,10 a	0,28 a	0,22 a	0,31 a
	10-20	0,06 a	0,17 a	0,16 a	0,41 a
BQ-U	0-5	0,17 a	0,38 a	0,30 a	0,35 a
	5-10	0,14 a	0,26 a	0,16 a	0,31 a
	10-20	0,09 a	0,29 a	0,42 a	0,48 a
ST-P	0-5	0,16 a	0,22 a	0,42 a	0,61 a
	5-10	0,16 a	0,29 a	0,37 a	0,39 a
	10-20	0,10 a	0,26 a	0,38 a	0,26 a
ST-U	0-5	0,07 a	0,12 a	0,36 a	0,21 a
	5-10	0,15 a	0,20 a	0,21 a	0,43 a
	10-20	0,08	0,20 a	0,30 a	0,27 a
MP-P	0-5	0,24 a	0,27 a	0,40 a	0,08 a
	5-10	0,09 a	0,18 a	0,19 a	0,20 a
	10-20	0,12 a	0,12 a	0,19 a	0,27 a
MP-U	0-5	0,11 a	0,08 a	0,42 a	0,39 a
	5-10	0,10 a	0,13 a	0,19 a	0,15 a
	10-20	0,13 a	0,10 a	0,23 a	0,16 a

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna comparam médias entre si dentro das áreas e manejos pelo teste de t a 5%.

\* 1ª coleta de out/2014 a dez/2014 (período seco); 2ª coleta – fev a abr/2015 (período chuvoso); 3ª coleta de mai a jul/2015 (período chuvoso); 4ª coleta – ago a out/2015 (período seco).

No sistema florestal a serapilheira é um importante componente da MO (Costa et al., 2010), na qual sua produção e ciclagem de nutrientes indica o grau de conservação, e alteração nos diversos fatores bióticos e abióticos (Vendrami et al., 2012). Como indicador de qualidade, pode ser utilizado para acompanhar as alterações nas condições ambientais ou para monitorar tendências por meio da sazonalidade (Godinho et al., 2013).

Dados apresentados por Batista et al., (2014) expõem que as FLCO no período chuvoso apresentaram valores mais baixos quando comparados aos valores ao período seco, em áreas de vegetação nativa e sistema lavoura-pecuária nas épocas avaliadas. Este fato é explicado pela variação no tamanho da população microbiana, que influenciou nos valores de carbono observados em função de seu desenvolvimento em períodos diferentes.

### **3.3 Carbono da biomassa microbiana (CBM)**

Nos dados observados na Tabela 4, os valores não seguem uma ordem específica na 2C (2ª coleta) e 3C (3ª coleta) ambas realizadas no período chuvoso, início e fim, percebemos um aumento dos valores de CBM. Não foi verificada diferenças significativas entre as profundidades e os manejos.

**Tabela 4:** Carbono biomassa microbianado solo (CBM) nas áreas de coletas Buíque (BQ), Serra Talhada (ST) e Mata da Pimenteira (MP) com cobertura de Caatinga (P) e área de uso agrícola (U). Amostragem nos períodos seco (1C e 4C) e chuvoso (2C e 3C) da Caatinga no semiárido pernambucano

Área/Manejo	Camada (cm)	g kg <sup>-1</sup>			
		1C	2C	3C	4C
<b>BQ-P</b>	0-5	53,87 a	58,82 b	133,80 a	76,62 b
	5-10	49,38 a	88,23 b	143,19 a	71,2 b
	10-20	49,38 a	100,62 a	142,08 a	192,73 a
<b>BQ-U</b>	0-5	161,61 a	68,11 a	68,14 b	74,30 b
	5-10	168,35 a	60,02 a	234,90 a	193,32 a
	10-20	171,82 a	54,16 a	164,43 a	25,55 c
<b>ST-P</b>	0-5	161,35 b	174,98 b	215,42 a	141,14 a
	5-10	236,39 a	299,36 a	188,42 a	135,39 a
	10-20	150,28 b	157,90 b	213,58 a	177,32 a
<b>ST-U</b>	0-5	173,16 a	152,31 a	295,26 a	81,67 a
	5-10	192,40 a	194,00 a	231,38 a	73,07 a
	10-20	144,30 a	183,37 a	244,75 a	85,96 a
<b>MP-P</b>	0-5	204,42 b	152,31 a	190,81 a	178,79 a
	5-10	129,87 b	145,21 a	163,17 a	151,51 a
	10-20	233,28 a	89,05 a	52,44 a	134,68 a
<b>MP-U</b>	0-5	103,47 a	230,88 a	160,03 a	376,16 a
	5-10	160,13 a	94,88 b	35,54 b	399,39 a
	10-20	128,11 a	246,91 a	75,75 b	364,56 a

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna comparam médias entre si dentro das áreas e manejos pelo teste de t a 5%. \* 1ª coleta de out/2014 a dez/2014 (período seco); 2ª coleta – fev a abr/2015 (período chuvoso); 3ª coleta de mai a jul/2015 (período chuvoso); 4ª coleta – ago a out/2015 (período seco).

Observamos na Tabela 5, em BQ-P de 82,56µg g<sup>-1</sup> de C para 142,07µg g<sup>-1</sup> de C no solo e BQ-U de 60,6µg g<sup>-1</sup> de C para 155,83µg g<sup>-1</sup> de C para as coletas 2C e 3C, respectivamente. As áreas de ST-P e ST-U e MP-U exibiram menores aumentos quando comparados as demais áreas de estudo, mas a MP-P exibiu uma diminuição de 190,00 µg g<sup>-1</sup> de C para 93,41µg g<sup>-1</sup> de C. Quando comparamos 1C e 4C marcando o período seco verificamos valores elevado para todas as áreas e constantes com a área preservada apresentando uma tendência de maior valor, entretanto o comportamento de BQ-P exibiu valor de 50,87µg g<sup>-1</sup> de C inferior a BQ-U de 133,93µg g<sup>-1</sup> de C. Os valores aproximados são explicados pela relação de labilidade do carbono (de fácil assimilação pelos microrganismos) e ao tamanho das comunidades microbianas no momento num elevado estresse após num período seco.

Os indicadores biológicos são utilizados por sua sensibilidade em indicarem alterações edáficas precocemente. Em seus estudos Ramos et al. (2012), destacaram a importância de avaliar a qualidade do solo em relação ao manejo extensivo. Relata a redução de 51,61% de CBM em pastagem em relação a mata nativa com uma elevada alteração em função do manejo, e como diminuição da quantidade de serapilheira que levou ao aumento da temperatura e diminuição da umidade.

As alterações climáticas, em especial temperatura e precipitação, afetam significativamente o conteúdo de carbono do solo pela liberação de C para a atmosfera. Assim mudanças climáticas ao longo do tempo exibem respostas diversas que estão aliadas aos ecossistemas e à cobertura do solo (Zhou et al., 2013). A textura do solo seja considerada um atributo essencial e pouco sujeito às alterações causadas pela cobertura do solo, mas o conhecimento das proporções de partículas por tamanho é indispensável para entendimento da natureza e do comportamento físico-hídrico do solo, pois influência de forma expressiva as propriedades do solo que mudam facilmente com a utilização do solo (Guimarrães et al., 2014).

### **3.4 Respirométrie–respiração basal do solo (RBS)**

As propriedades biológicas não houve diferenças significativas entre os áreas e manejos nas coletas individuais (Tabela 5). A relação do qMIC ( $\text{g kg}^{-1}$ ) com valores de 25,52, 38,64 e 33,96  $\text{g kg}^{-1}$ , nas áreas de U para as áreas BQ, ST e MP, na 1C. Nas coletas (2 e 3) para área de ST (P e U) teve valores de 46,14 e 66,11  $\text{g kg}^{-1}$ , 43,22 e 10,72  $\text{g kg}^{-1}$  nos manejos respectivos indicando maior alteração para a variável. Enquanto na coleta 4, os valores de MP-P apresentaram maior destaque com 80,16  $\text{g kg}^{-1}$ .

**Tabela 5:** Análise de Respiração Basal do Solo (RBS) e quociente Microbiano (qMIC) nas áreas de coletas Buíque (BQ), Serra Talhada (ST) e Mata da Pimenteira (MP) com cobertura de Caatinga (P) e área de uso agrícola (U). Amostragem nos períodos seco (1C e 4C) e chuvoso (2C e 3C) da Caatinga no semiárido pernambucano

Área/Manejo	1C	2C	3C	4C
	RBS (mg de C-CO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )			
BQ-P	1,797	0,621 a	0,272 a	1,527 a
BQ-U	1,660	0,891 a	0,113 b	1,129 b
ST-P	2,113	0,993 b	0,155 a	1,363 a
ST-U	2,641	1,298 a	0,130 a	1,595 a
MP-P	3,552	0,891 a	0,166 a	1,328 a
MP-U	2,174	0,890 a	0,196 a	1,095 a
qMIC (g kg <sup>-1</sup> )				
BQ-P	11,11	20,45 a	33,22 a	18,61 a
BQ-U	25,52	22,65 a	42,88 a	14,03 a
ST-P	27,06	46,14 b	43,22 b	22,85 a
ST-U	38,64	66,11 a	10,72 a	15,90 b
MP-P	20,15	32,72 a	24,20 a	27,78 b
MP-U	33,96	31,24 a	23,25 a	80,16 a

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna comparam médias entre si dentro das áreas e manejos pelo teste de t a 5%. \* 1ª coleta de out/2014 a dez/2014 (período seco); 2ª coleta – fev a abr/2015 (período chuvoso); 3ª coleta de mai a jul/2015 (período chuvoso); 4ª coleta – ago a out/2015 (período seco).

Comparando o resultado (Tabela 5) da RBS (mg de C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) entre as coletas, há menor variação de valores entre as coletas 2C, 3C e 4C, e valores mais elevados na coleta 1C para as áreas preservadas de 1,797; 2,113 e 3,552 mg de C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> e para 4C de 1,527, 1,363 e 1,328 mg de C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, para as com cobertura de Caatinga. Enquanto, os valores das coletas 2C e 3C no período chuvoso observamos valores menores. A 2C observamos valores de 0,621, 0,993 e 0,891 mg de C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> para as áreas preservadas, entretanto a área de ST-U apresentou valor elevado de 1,298 mg de C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Enquanto na 4C expões valores ainda menores de 0,272, 0,155 e 0,166 mg de C-CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>.

Foram observadas alterações na atividade microbiana em função do tempo de amostragem refletidas nas emissões de CO<sub>2</sub>-C, elevando os valores qMIC e redução de qCO<sub>2</sub>, com valores próximos a zero (Tabela 5). Enquanto, os valores do qMIC recebe influência direta da matéria orgânica de baixa qualidade ou comunidades microbianas sob condições de estresse. Por exemplo, deficiência de nutrientes, acidez, déficit hídrico, são capazes de diminuir a utilização do C- orgânico (Perez et al., 2004; Ramos et al., 2012).



López-Serrano et al. (2016), também verificaram a alteração climática como maior fator de impacto nas relações de RBS entre áreas de estudo.

As descrições dos dados observados demonstram uma tendência da menor atividade dos microrganismos em função da variação climática (Shabaga et al. 2015) analisando a alteração da taxa de RBS de floresta, na qual a variação dos valores das taxas está diretamente relacionada com umidade, qualidade do resíduo vegetal e manejo do solo.

Ramos et al. (2012) relataram que qMIC ressalta o desequilíbrio ambiental no Pantanal entre a relação de MO e atividade microbiana, valores baixos são considerados condições de estresse, por exemplo, deficiência de nutrientes, acidez, déficit hídrico, por baixa utilização do COT. Os autores observaram valores entre 1-4%, valores inferiores foram observados neste estudo entre 0,5-1,5%, ressaltado num estresse sofrido pelas condições específicas abordadas.

Altas taxas de evapotranspiração são observadas em regiões semiáridas e áridas, que refletem em flutuações na atividade microbiana e influencia a fertilidade do solo. Interações entre múltiplos fatores climáticos, como alterações na temperatura e regime de precipitação, podem afetar o ecossistema do solo de forma que não são facilmente previsíveis a partir da medição de um único fator, como alteração na respiração do solo (Zhou et al., 2013).

Todas as ações no solo de Caatinga deveriam ser relacionadas com o manejo sustentável para um maior equilíbrio do agroecossistema, o uso do solo para cultivos agrícolas e/ou produção animal consorciados com espécies arbóreas nativas ou exóticas (frutíferas e/ou madeireiras) favorece a diversificação, fornecendo contínuo aporte de matéria orgânica e melhoria significativa dos indicadores de qualidade do solo (Lira et al., 2012).

### **3.5 Fracionamento químico das substâncias húmicas do solo**

Os teores de C das SH (Tabela 6) também variam em relação à cobertura do solo e épocas das coletas C-AF com valores de 0,16, 0,35 e 0,39 mg C. g<sup>-1</sup> para 1C nas áreas de BQ-P, ST-P e MP-P, respectivamente. Enquanto na 4C BQ exibiu um aumento com valor de 0,28 mg C. g<sup>-1</sup>, em contrapartida ST-P e MP-P com valores menores de 0,13 e 0,21 mg C. g<sup>-1</sup>. Os valores de C-AH para ST (P e U) para 1C e 4C foram respectivamente de (0,27, 0,12 mg C. g<sup>-1</sup>) e (0,13 e 0,11 mg C. g<sup>-1</sup>) apresentando um decréscimo em todas as áreas

analisadas na comparação das coletas. A C- HUM apresentou valores de 0,92, 1,21 e 1,43 mg C. g<sup>-1</sup> para BQ-P, ST-P e MP-P para 1C; entretanto na 4C os valores mais elevados foram observados no manejo (U) 1,30, 2,10 e 1,76 mg C. g<sup>-1</sup> para as respectivas áreas supracitadas. Não foi verificada diferenças significativas entre as camadas e as coberturas dos solos.

**Tabela 6:** Os teores de C como ácidos fúlvicos (C-AF), ácidos húmicos (C-AH), humina (C-HUM), relação de (C-AH/C-AF) e a relação do extrato alcalino com humina (EA/C-HUM) nas áreas de Buíque (BQ), Serra Talhada (ST) e Mata da Pimenteira (MP) com cobertura de Caatinga (P) e área de uso agrícola (U). Amostragem nos períodos seco (1C e 4C) da Caatinga no semiárido pernambucano

1C						
Área/Manejo	Camada (cm)	AH	AF	HUM	EA/HUM	AH/AF
mg C. g <sup>-1</sup>						
<b>BQ-P</b>	0-5	0,44 a	0,18 a	1,22 a	0,49 a	2,68 a
	5-10	0,35 a	0,14 a	0,85 b	0,58 a	2,56 a
	10-20	0,19 a	0,16 a	0,63 b	0,57 a	1,35 a
<b>BQ-U</b>	0-5	0,31 a	0,19 a	0,125 a	0,44 a	1,78 a
	5-10	0,33 a	0,16 a	0,79 b	0,64 a	2,01 a
	10-20	0,29 a	0,13 a	0,67 b	0,63 a	2,22 a
<b>ST-P</b>	0-5	0,32 a	0,34 a	1,34 a	0,50 a	0,92 a
	5-10	0,25 a	0,34 a	1,55 a	0,52 a	0,73 a
	10-20	0,25 a	0,38 a	1,14 a	0,53 a	0,67 a
<b>ST-U</b>	0-5	0,11 a	0,17 a	0,66 b	0,44 a	0,66 a
	5-10	0,11 a	0,21 a	0,97 b	0,35 a	0,56 a
	10-20	0,14 a	0,23 a	1,11 a	0,34 a	0,60 a
<b>MP-P</b>	0-5	0,50 a	0,43 a	2,10 a	0,45 a	1,15 a
	5-10	0,40 a	0,36 a	1,08 b	0,61 a	0,86 a
	10-20	0,27 a	0,36 a	1,11 b	0,58 a	0,76 a
<b>MP-U</b>	0-5	0,42 a	0,49 a	1,72 a	0,53 b	0,85 a
	5-10	0,31 a	0,36 a	0,72 b	0,93 ab	0,89 a
	10-20	0,27n	0,35 a	0,48 b	1,30 a	0,75 a
4C						
<b>BQ-P</b>	0-5	0,30 a	0,44 a	0,88 a	0,66 a	1,08 b
	5-10	0,26 a	0,35 a	1,01 a	0,49 a	1,17 b
	10-20	0,26 a	0,29 a	0,71 a	0,66 a	1,92 a
<b>BQ-U</b>	0-5	0,26 a	0,31 a	0,56 b	0,59 a	3,66 a
	5-10	0,27 a	0,33 a	2,73 a	0,13 b	3,10 a
	10-20	0,23 a	0,29 a	0,61 b	0,62 a	1,57 b
<b>ST-P</b>	0-5	0,11 a	0,32 a	1,61 a	0,28 a	0,70 a
	5-10	0,14 a	0,25 a	1,19 a	0,24 a	0,65 a
	10-20	0,16 a	0,25 a	1,03 a	0,33 a	0,77 a
<b>ST-U</b>	0-5	0,10 a	0,11 a	2,40 <sup>a</sup>	0,18 a	0,64 a
	5-10	0,07 a	0,11 a	2,20 a	0,13 a	0,56 a
	10-20	0,11 a	0,14 a	1,80 a	0,15 a	0,43 a
<b>MP-P</b>	0-5	0,12 a	0,50 a	1,50 a	0,35 b	0,93 a
	5-10	0,10 a	0,30 a	1,08 a	0,42 a	1,08 a
	10-20	0,15 a	0,27 a	6,08 b	0,57 a	0,88 a
<b>MP-U</b>	0-5	0,10 a	0,42 a	2,51 a	0,18 b	0,50 a
	5-10	0,13 a	0,31 a	1,28 b	0,33 a	0,70 a
	10-20	0,16 a	0,27 a	1,48 b	0,23 a	0,68 a

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna comparam médias entre si dentro das áreas e manejos pelo teste de t a 5%. \* 1ª coleta de out/2014 a dez/2014 (período seco); 2ª coleta – fev a abr/2015 (período chuvoso); 3ª coleta de mai a jul/2015 (período chuvoso); 4ª coleta – ago a out/2015 (período seco).

As relações C-AF/C-AH foram superiores a 1,0 na área de BQ (P e U), as demais exibiram valores mais baixos que 1, nas duas coletas. Enquanto para EA/C-HUM (quociente entre o extrato alcalino foram observados valores de menores que 0,6 para todas as áreas em ambas coletas com exceção da área MP-U com 0,92 em 4C e 0,25 em 1C.

A relação de C-AH/C-AF pode indicar maior conversão do carbono orgânico insolúvel em frações solúveis (Martins et al., 2009), entendendo-se que esta conversão é influenciada pelos fatores edáficos, como pH e o teor de argila, conteúdo de MO (Martins et al., (2015). Esses autores concluem que para solos mais arenosos os valores próximos a 1, significam perda seletiva da fração mais solúvel (C-AF). Para a relação C-EA/C-HUM foram observados valores baixos. Essa relação entre o extrato alcalino e a humina indica a movimentação e acúmulo de C em valores altos de EA/C-HUM (Benites et al., 2003).

Silva et al., (2015) encontraram valores similares analisando Cambissolos com textura arenosa com cultivos agrícolas. Segundo esses autores, os valores mais altos de C-AH/C-AF indicam intensa adição de COT ao solo por meio da renovação do sistema radicular das gramíneas, favorecendo a decomposição constante da matéria orgânica e, conseqüentemente, acarretando em maiores teores de carbono da fração mais facilmente biodegradável (Barreto et al., 2008). Ainda segundo os autores, a relação C-AH/C-AF varia de acordo com a fertilidade dos solos, sendo normalmente maior que 1,5 naqueles naturalmente mais férteis, e menor que a unidade nos mais intemperizados. Nota-se (tabela 1) que todas as áreas apresentam solos eutróficos.

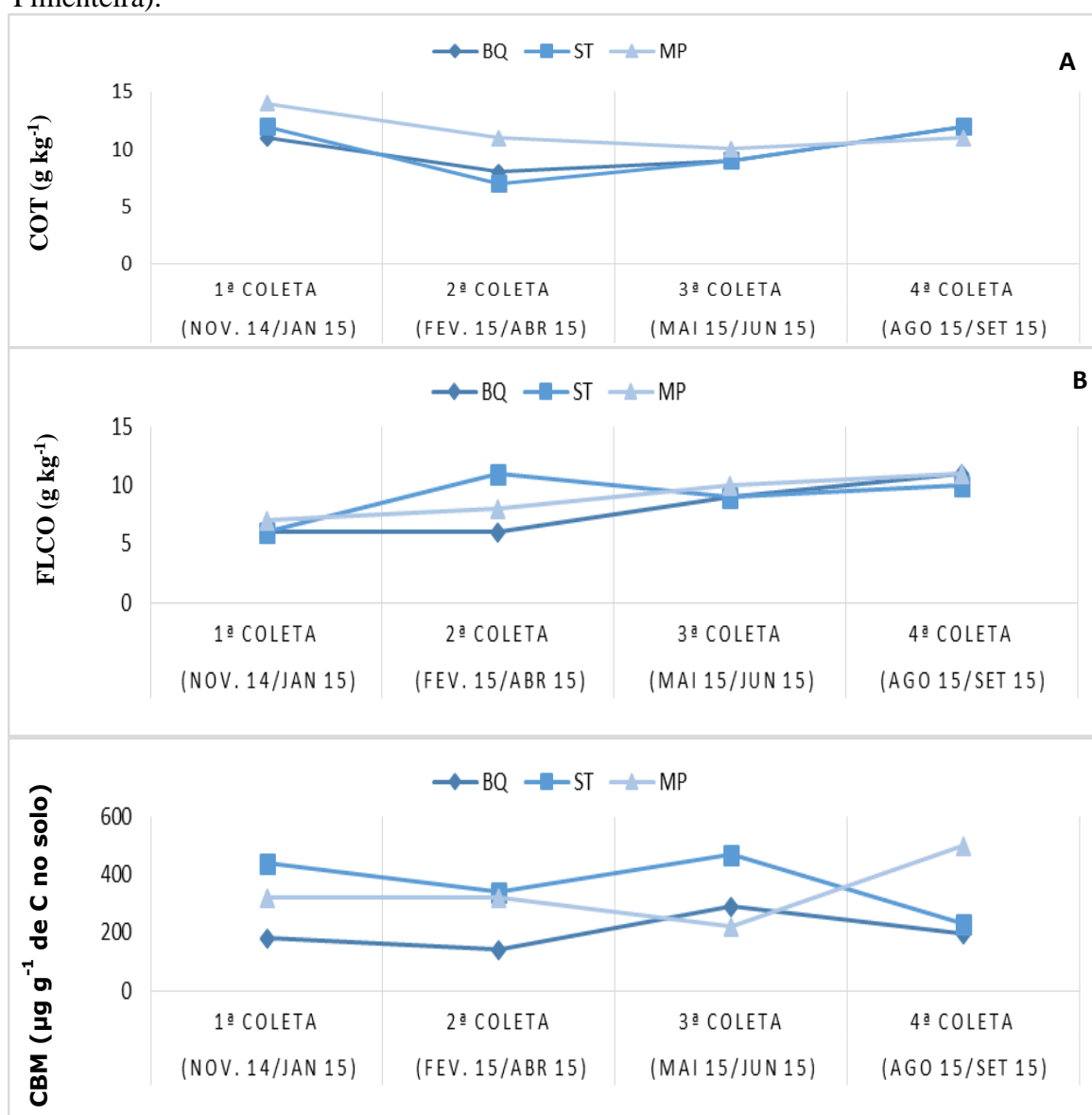
### **3.6 Relação entre variáveis e épocas de coletas**

As coletas e áreas analisadas, (Figura 3A) verificou-se a diminuição dos valores nas épocas chuvosa de coleta 2 e 3, em comparação com o período seco. Ao analisar o conteúdo das FLCO (Figura 3B) observamos um aumento em comparação as épocas de coleta. O CBM está diretamente ligado ao crescimento dos microorganismos.

Paz-Ferreiro et al. (2011) e Benintende et al. (2015), demonstraram o efeito da variação da temperatura diária média durante a semana anterior à amostragem influenciou na variação de CBM, FLCO e RBS. Eles concluíram que a temperatura impulsiona as variações em algumas propriedades bioquímicas, em vez da umidade do solo. Dados observados por Marinari et al. (2006) relatam alteração na biomassa microbiana.

Giacometti et al. (2013) constatou alterações nos parâmetros avaliados ao longo do tempo, o efeito da sazonalidade dificultou, mas não impediu a identificação dos efeitos biológicos sobre a fertilidade do solo. Nas áreas de uso agrícola com maiores efeitos da sazonalidade devido à entrada e retirada dos resíduos da cultura. Izquierdo et al. (2003), ao trabalharem em clima tropical, marcados por invernos secos, observaram que a atividade biológica tem tendência de alteração dos valores por causadas das chuvas.

**Figura 3:** Variáveis analisadas de (A) carbono orgânico total (COT), (B) frações labéis de carbono oxidáveis (FLCO) e (C) carbono da biomassa microbiana (CBM) em função do período de coletas para as áreas de BQ (Buíque), ST (Serra Talhada) e MP (Mata da Pimenteira).



## 5. Conclusões

Os indicadores de qualidade do solo (COT, RBS, qMIC e SH), para as relações de área de cobertura do solo, tiveram maiores valores para o período seco do que período chuvoso (2 e 3), entretanto a despeito do período de coleta não houve diferença estatística.

As variações dos dados estão diretamente relacionadas com época de coleta (período seco e chuvoso) e cobertura do solo, as quais influenciam a relação da labilidade, disponibilidade do carbono, e material em decomposição encontrados no solo

Os solos da Caatinga apresentaram a seguinte sequência de predominância das Humina, > Ácidos Húmicos, >Ácidos Fúlvicos, favorecendo maior formação de frações mais recalcitrantes e a presença maior dos ácidos húmicos.

## 6. Referências Bibliográficas

ALTHOFF, T.D; MENEZES, R.S.C; CARVALHO, A. L; PINTO, A.S; SANTIAGO, G.A.C.F; OMETTO, J.P; RANDOW, C.V; SAMPAIO, E.V.S.A. Climate change impacts on the sustainability of the firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical dry forest in Santa Teresinha Municipality, Northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 360, p. 367–375, 2016.

ANAYA, C.A; GARCIA-OLIVA, F; JARAMILLO, V.J; Rainfall and labile carbon availability control litter nitrogen dynamics in a tropical dry forest. **Ecologia**. v. 150, n. 4. p. 602–610, 2007.

APAC – Agência pernambucana de água e clima. <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>> Acesso em 03/12/2015.

ARAÚJO, A. S. F. D.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**. v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

ARAÚJO, A. S. F. D.; MONTEIRO, R. T. R. Indicadores biológicos de qualidade do solo. **Bioscience Journal**. v. 23, n. 3, p. 66-75, 2007.

- ARAÚJO, A.D; KER, J. C; NEVES, J. C. L; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v.5, n.1, p.187-206, 2012.
- ARAÚJO, E. A., KER, J. C., DE SÁ MENDONÇA, E., DA SILVA, I. R.; OLIVEIRA, E. K. Impacto da conversão floresta-pastagem nos estoques e na dinâmica do carbono e substâncias húmicas do solo no bioma Amazônico. **Acta amazônica**,v. 1, p. 41, 2012.
- BARRETO, A. C. et al. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1471-1478, 2008.
- BATISTA, I; CORREIA, M. E. F; PEREIRA, M. G; BIELUCZYK, W; SCHIAVO, J. A; ROUWS, J. R. C. Frações oxidáveis do carbono orgânico total e macrofauna edáfica em sistema de integração lavoura-pecuária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, p. 797-809. 2014.
- BENINTENDE, S; BENINTENDE, M; STERREN, M; SALUZZIO, M; BARBAGELATA, P. Biologicalvariables as soilqualityindicators: Effectofsamplng time andabilitytclassifysoilsbytheirsuitability. **EcologicalIndicators**, v. 52, p. 147-152. 2015.
- BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: Um procedimento simplificado de baixo custo. Rio de Janeiro: **EMBRAPA SOLOS**, 2003.7 p. (Comunicado Técnico, 16).
- CORDEIRO, M.A.S; CORÁ, J.E; NAHAS, E. Atributos bioquímicos e químicos do solo rizosférico e não rizosférico de culturas em rotação no sistema de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 36, p. 1794-1803, 2013.
- CHAN, K.Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxycpaleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, v. 166, p.61-67, 2001.

- DIEPENINGEN, A. D; KORTHALS, O.W; BRUGGEN, A. H. Effects of organic versus conventional management on chemical and biological parameters in agricultural soils. **Applied Soil Ecology**, v. 31(1), p. 120-135, 2006.
- EL-SAIED, H; EL-HADY, O.A; BASTA A.H; EL-DEWINY, C.Y; SALAH, A; ABO-SEDERA, A. Bio-chemical properties of sandy calcareous soil treated with rice straw-based hydrogels. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 15, p. 188–194, 2016.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 2011.
- GIACOMETTI, C; DEMYAN, M.S; CAVANI, L; MARZADORI, C; CIAVATTA, C; KANDELER, E. Chemical and microbiological soil quality indicators and their potential to differentiate fertilization regimes in temperate agroecosystems. **Applied soil ecology**. v. 64, p. 32–48, 2013.
- GIONGO, V. et al. Carbono no Sistema Solo-Planta no Semiárido Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1233-1253, 2011.
- GODINHO, T. O.; CALDEIRA, M. V. W.; CALIMAN, J. P.; PREZOTTI, L. C.; WATZLAWICK, L. F.; AZEVEDO, H. C. A.; ROCHA, J. H. T. Biomassa, macronutrientes e carbono orgânico na serapilheira depositada em trecho de floresta Estacional Semidecidual Submontana, ES. **Scientia Forestalis**, v.41, n.97, p.131-144, 2013.
- GUIMARÃES, D. V; GONZAGA, M. I. S; ARAÚJO, E. M; NETO, J. O. M; TÍNEL JÚNIOR, J. I. Impacto do cultivo de citros sobre a qualidade física de um Argissolo Amarelo em Sergipe. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 3, p. 183 – 189, 2014.
- IBAMA. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite - PMDBBS**, 2009. Disponível em:



<<http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/index.htm>>. Acesso em: 24 Novembro 2014.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biol Fertio Soils**. V. 27. P. 408-416, 1998.

ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 79, n. 9-16, 2000.

IZQUIERDO, I; CARVACA, F; ALGUACIL, M.M; ROLDAN, A. Changes in physical and biological soil quality indicators in a tropical crop system (Havana, Cuba) in response to different agroecological management practices. **Environmental management**. v. 32. p. 639–645, 2003.

JANDL, R; RODEGHIERO, M; MARTINEZ, C; COTRUFO, M.F; BAMPA, F; VAN WESEMAEL, B; HARRISON, R.B; GUERRINI, I.A; RICHTER JR, D.D., RUSTAD, L; LORENZ, K; CHABBI, A; MIGLIETTA, F. Current status, uncertainty and future needs in soil organic carbon monitoring. **Science of the Total Environment** v. 468–469, p. 376–383. 2014.

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 and Biochemistry**, v. 42, p. 1-13. 2010

KUWANO, B. H. et al. Quality Indicators in a Rhodic Kandudult under different uses in Northern Paraná. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, v. 38, p. 50-59, 2014.

LIRA, R. B. D. et al. Efeitos do sistema de cultivo e manejo da Caatinga através da análise de indicadores químicos de qualidade do solo na produção agrícola de Apodi, RN. **Revista Caatinga**, v. 3, p. 18-24, 2012.

LÓPEZ-SERRANO, F.R; RUBIO, E; DADI, T; MOYA, D; ANDRÉS-ABELLÁN, M; GARCÍA-MOROTE, G; MIETTINEN, H; MARTÍNEZ-GARCÍA, E. Influences of recovery from wildfire and thinning on soil respiration of a Mediterranean mixed forest. **Science of the Total Environment**.xxxx. 2016.

- LOSS, A; RIBEIRO, E. C; PEREIRA, M. G; COSTA, E. M. Physical and chemical attributes in systems of the consortium and succession of crops, pasture and silvopastoral Santa Teresa. **Bioscience Journal**, v. 30, n.5, 2015.
- 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.
- MARTINS, C. M; COSTA, L. M; SCHAEFER, C. E. G. R; SOARES, E. M. B; SANTOS, S. R. Frações da matéria orgânica em solos sob formações decíduais no norte de Minas Gerais. **Revista Caatinga**, v. 28, n.4, p. 10-20. 2015.
- NOBRE, C. P; LÁZARO, M. L; SANTO, M. M. E; PEREIRA, M. G; BERBARA, R. L. L. Agregação, glomalina e carbono orgânico na chapada do araripe, Ceará, Brasil. **Revista Caatinga**, v. 28, n.1, 138-147. 2015.
- NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade do solo. **Sociedade Brasileira de Ciências do solo**, 2007.
- NUNES, L.A.P.L; FILHO, J.A.A; HOLANDA-JÚNIOR, J.A; MENEZES, R.I.Q. Impacto da queimada e de enleiramento de resíduos orgânicos em atributos biológicos de solo sob Caatinga no semi-árido nordestino. **Caatinga**. v.22, n.1, p.131-140. 2009.
- PAZ-FERREIRO, J; TRASAR-CEPEDA, C; LEIRÓS, M; SEOANE, S; GIL-SOTRES, F. Intraannual variation in biochemical properties and the biochemical equilibrium of different grassland soils under contrasting management and climate. **Biology and Fertility Soils**. v. 47. p. 633–645, 2011.
- PEREZ, K. S. S; RAMOS, M. L. G; MCMANUS, C. Carbono da biomassa microbiana em solo cultivado com soja sob diferentes sistemas de manejo nos Cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39(6), p. 56. 2004.
- RAMOS, F. C; MONARI, Y. C; NUNES, M. C. M; CAMPOS, D. T. da S; RAMOS, D. T. Indicadores de qualidade em um latossolo vermelho-amarelo sob pastagem extensiva no pantanal mato-grossense. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 112-120. 2010.

- SAMPAIO, E.V.S.B. Caracterização da Caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. In: SALES, V.C. (Org.). **Ecosistemas brasileiros: manejo e conservação**, p. 129–142. 2003.
- SANTOS, J. C. B. D; SOUZA JÚNIOR, V. S. D; CORRÊA, M. M; RIBEIRO, M. R; ALMEIDA, M. D. C. D; BORGES, L. E. P. Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36(3), p. 683-696.2012.
- SANTOS, V. M; MAIA, L. C. Bioindicadores de qualidade do solo. **Ciência Agrônômica**, vol. 10, p.195-223, 2013.
- SCORIZA, R. N; PIÑA-RODRIGUES, F. C. Aporte de serapilheira como indicador ambiental em fragmentos de floresta estacional semidecidual em Sorocaba, SP. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 8. n. 4, p. 634-640. 2013.
- SILVA, C. F; LOSS, A; CARMO, É. R; DA SILVA, E. M. R; MARTINS, M. A. Fertilidade do solo e substâncias húmicas em área de cava de extração de argila revegetada com eucalipto e leguminosas no norte fluminense. **Ciência Florestal**, v.25, n. 3, p.547-561. 2015.
- SILVA, C. F; PEREIRA, M.G; MIGUEL, D.L; FERNANDES, J.C; LOSS, A; MENEZES, C.E.G; SILVA, E.M.R. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo de áreas agrícolas, florestais e pastagem no médio vale do paraíba do sul (RJ). **Revista Brasileira Ciências do Solo**, v. 36. p. 1680-1689. 2013.
- SOUZA, M. F.P; SILVA, M.P; ARTZ, R.F.O; CASSIOLATO, A.M.R. Chemical and biological properties of phosphorus-fertilized soil under legume and grass cover (Cerrado region, Brazil). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37. p.1492-1501. 2013.
- SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal Soil Research**, v. 30, p. 195-207, 1992.

- SPARLING, G.P.; WEST, A.W. A direct extraction method to estimate soil microbial C: Calibration in situ using microbial respiration and <sup>14</sup>C labelled cells. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 20, p.337-343, 1988.
- STEVENSON, B.A, SARMAH A.K, SMERNIK, R, HUNTER, W.F.D, FRASER, S. Soil carbon characterization and nutrient ratios across land uses on two contrasting soils: Their relationships to microbial biomass and function. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 97, p. 50-60. 2016.
- SHABAGA, J. A; BASILIKO, N; CASPERSEN, J. P; JONES, T. A. Seasonal controls on patterns of soil respiration and temperature sensitivity in a northern mixed deciduous forest following partial-harvesting. **Forest Ecology and Management**. v. 348, p. 208-219. 2015.
- TIVET, F; SÁ MORAES, J. C; LAL, R; BASTOS, D. M; MILORI, P; BRIEDIS; LETOURMY, P; PINHEIRO, L.A; BORSZOWSKI, R. HARTMAN, D.C. Assessing humification and organic C compounds by laser-induced fluorescence and FTIR spectroscopies under conventional and no-till management in Brazilian Oxisols. **Geoderma**, V.207–208, P. 71-81. 2013.
- TOFANELLI, M. B. D; SILVA, T. O. Manejo Ecológico e Conservação dos Solos e da Água no Estado de Sergipe. São Cristóvão: UFS, P. 358. 2011.
- VENDRAMI, J. P.; JURINITZ, C. F.; CASTANHO, C. T. LITTERFALL. Leaf decomposition in forest fragments under different successional phases on the Atlantic Plateau of the state of Sao Paulo, Brazil. **Biota Neotropica**, v.12, n.3, p.136-143, 2012.
- YAMASHITA, N; OHTA, S; SASE, H; KIEVUTTINON, B; LUANGJAME, J; VISARATANA, T; GARIVAIT, H. Seasonal changes in multi-scale spatial structure of soil pH and related parameters along a tropical dry evergreen forest slope. **Geoderma**. V.165 p. 31–39. 2011.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Soil Science, Plant Anal.**, v. 19. p. 1467-1476, 1988.

ZHOU, X; CHEN, C; WANG, Y; XU, Z; DUAN, Z; HAO, Y; SMAILL, S. Soil extractable carbon and nitrogen, microbial biomass and microbial metabolic activity in response to warming and increased precipitation in a semiarid Inner Mongolian grassland. **Geoderma**, v. 206, p. 24-31, 2013.

**- Capítulo II -**

**CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO DE ÁREAS DE  
CAATINGA E DE USO AGRÍCOLA (ANTROPIZADAS) POR  
ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO**

## RESUMO

A Caracterização da matéria orgânica do solo (MOS) é importante para determinar a qualidade geral dos solos, pois a cobertura vegetal. Este trabalho teve como objetivo estudar os compartimentos das frações matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais silte e argila (MOM) do solo, obtidas pelo fracionamento físico por peneiramento, e caracterizadas por espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Foram analisadas amostras de solos da Caatinga pernambucana de textura arenosa, dos municípios de Buíque e Serra Talhada, sob cobertura de Caatinga preservada e uso agrícola. A análise por infravermelho revelou diferenças contrastantes entre os compartimentos orgânicos estudados, os espectros de FTIR da fração MOP indicam que ela se encontra em estádios iniciais de transformação constituído de MOS lábil. Enquanto para MOM, os espectros têm características de material mais humificado, mas não foram observadas diferenças estruturais nesses compartimentos, indicando que temos matérias idênticos, mas em estado de humificação diferentes. Os índices de hidrofobicidade (IH) e de condensação (IC), determinados a partir de relações entre as bandas de absorção de grupamentos específicos, permitiram identificar as diferenças na recalcitrância das frações. O IH foi maior em MOP e menor em MOM, com maior quantidade de frações lábeis em MOP, enquanto IC teve valores similares, expressando uma baixa estabilidade da matéria humificada, entre as áreas de coleta os valores não divergiram. O carbono orgânico total (COT) expõe valores baixos, e os índices de manejo do carbono (IMC) para as frações caracterizam diferença nas áreas de cobertura de Caatingapreservada e uso agrícola. Ao compararmos os dados de FTIR, COT, IH e IC com as análises dos extratos alcalinos das substâncias húmicas do solo (SH) verificaram-se os valores baixos e relacionados com a baixa absorbância no FTIR, fator relacionado com as condições químicas do solo arenoso.

**Palavras chaves:** indicadores de qualidade do solo, semiárido, arenosos.

## **Abstract**

The characterization of soil organic matter (SOM) is important to determine the overall quality of the soil, as the vegetation cover. This work aimed to study the compartments of fractions particulate organic matter (POM) and organic matter associated with mineral silt and clay (MOM) soil, obtained by physical fractionation by sieving and characterized by infrared spectroscopy with Fourier transform (FTIR ). Soil samples were analyzed of Pernambuco Caatinga sandy texture, the municipalities of Buíque and Serra Talhada under Caatinga cover preserved and agricultural use. The infrared analysis revealed contrasting differences between the compartments organic studied, the FTIR spectra of the fraction MOP indicate that it is in the initial stages of processing consisting MOS labile. As for MOM, the spectra are more humified the material characteristics but structural differences were observed in these compartments, indicating that have identical materials but in a state different humification. The hydrophobicity index (HI) and condensation (CI) determined from the relationship between the absorption bands specific groups, helped to identify differences in the recalcitrance of fractions. The IH was higher in MOP and lower in MOM, with higher amounts of labile fractions MOP, while IC had similar values, expressing a low stability of humified matter, between the areas of collection values not diverged. The total organic carbon (TOC) exhibits low values, and carbon managements index (BMI) for fractions characterize differences in Caatinga coverage areas preserved and agricultural use. When comparing the data of FTIR, TOC, HI and CI with the analysis of alkaline extracts of humic substances in the soil (SH) there were low and values related to the low absorbance in the FTIR, correlated to the chemical conditions of sandy soil .

**Key words:** indicators of soil quality, semiarid region, sandy.



## 1. INTRODUÇÃO

A MOS, como todos os compostos químicos, tem uma identidade expressa na forma e composição de sua molécula. Segundo Artz et al., (2008) a análise de componentes orgânicos, observaram-se em sua composição padrões de monômeros de carboidratos derivados da celulose e hemicelulose de plantas, os quais são indicativos da composição e do estado de conservação desses remanescentes do solo (Bourdon et al., 2000), podendo ser dividida em substâncias não humificadas e as humificadas (Pinheiro et al., 2010).

A identificação destes compostos e sua composição micromorfológica pode elucidar a evolução e regeneração da MOS. Entre as tecnologias disponíveis, o FTIR pode ajudar a distinguir as principais classes químicas, tais como hidratos de carbono, ligninas, celulose, gorduras e/ou lipídios e compostos protéicos, através da característica vibracional das suas ligações químicas estruturais (Artz et al., 2008).

Com o FTIR pode ainda se obter fatores quantitativos e qualitativos da MOS mais marcantes, que podem ser usados para predizer muitos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (McBratney et al., 2008), como a análise de compostos orgânicos específicos, tais como capacidade de troca catiônica (Celi et al., 1997), interações de organo-minerais (Lehmann et al., 2007), qualificação de COT (Bornemann et al., 2010), estado de decomposição em amostras em diferentes horizontes (Haberhauer et al., 2000), agregação (Madari et al., 2006), e demais fatores que resultam na qualidade do solo. Podemos ainda destacar alterações qualitativas nos grupos funcionais orgânicos C, o mecanismo de estabilização, e o sequestro de C (Tivet et al., 2013).

O Fracionamento químico das substâncias húmicas (SH) foi utilizado para determinar os teores de carbono de ácidos fúlvicos (C-AF), ácidos húmicos (C-AH) e humina (C-HUM), os quais são formados pela transformação de biomoléculas, em diferentes graus do processo de decomposição de resíduos vegetais e animais (Silva et al., 2014). As SH são constituídas por aproximadamente 70 a 80% da matéria orgânica (MOS), e são diretamente influenciadas pelas práticas de manejo (Primo, et al 2011). Sendo considerada um dos indicadores mais importantes da qualidade dos solos devido a sensibilidade em relação as funções básicas do solo quanto à produção vegetal (Fontana et al., 2010).

O fracionamento físico da MO, no qual são obtidas as frações MOP e a MOM. Sendo diferenciadas pelo tamanho da partícula obtidas pelo processo de separação por peneiramento, além do MOP está associada a labilidade, ciclagem dos constituintes orgânicos e alterações sensível às práticas de manejo (Bayer et al., 2002). Enquanto o MOP pode estar livre ou presente no interior de agregados instáveis. A denominação dessas frações é determinada pelo método de obtenção, entretanto a análise é sobre o mesmo material, MOP pode ser denominado com fração leve-livre, matéria macrorrgânica, e/ou matéria orgânica não complexada e MOM como fração leve intra-agregado, matéria orgânica particulada intra-agregado e/ou matéria orgânica não complexada oclusa (Freixo et al 2002).

Amostras de C-MOP e C-MOM sofrem alterações em relação a textura, mineralogia, clima, entrada anual de C e intensidade de cultivo, por serem frações constituídas por polissacáridos, carbono solúvel. Possui uma ligação direta com as estimativas quantitativas e qualitativas do COT, além a conversão da vegetação natural para sistemas de plantio em ambientes subtropicais e tropicais brasileiros (Tivet et al., 2013). De acordo com Ferraresi et al. (2012), a espectroscopia no infravermelho exibe informações tanto sobre a estrutura, quanto a composição de fases amorfas numa caracterização molecular de espécies orgânicas e inorgânicas, pois esta absorção é quantificada e assim os sinais de absorção são linhas discretas.

A sensibilidade do FTIR para pequenas variações qualitativas e quantitativas de MO lábil (Calderón et al., 2013) e os efeitos de gestão (Parikh et al., 2014) torna a técnica adequada para avaliar contextos de explorações agrícolas (Aranda et al, 2011; Veum et al, 2014). Sendo, a sobreposição de bandas de minerais e orgânicos comum em solos devendo ser avaliado por comparação das múltiplas bandas obtidas, para detectar uma elevada quantidade de estruturas orgânicas e inorgânicas (Margenot et al., 2015).

Nos espectros as bandas observadas possuem características específicas para inúmeros compostos como carbono da biomassa microbiana (CBM) e MOS podem diferir sob diferentes tipos de vegetação, além de ser influenciada diretamente pelo tipo de solo (mineralogia) e/ou tamanho das partículas (fracionamento), pois afetam o nível de saturação do carbono e sua capacidade de atuação nas frações orgânicas (Wiesmeier et al., 2014). Estando relacionado diretamente com a CBM, indicando sua presença no solo (Griffiths et al., 2012), que é influenciada pelo manejo do solo (Stevenson et al., 2016).

Os grupamentos alifáticos que são ricos em resíduos de plantas (coberturas vegetais) são comumente correlacionados com aumento do CBM, (Aranda et al, 2011).

Entretanto, a CBM responde rapidamente a mudanças de gestão e ambientais (Kallenbach & Grandy, 2011) enquanto que a composição MOS pode integrar as mudanças ao longo de um período mais longo (Solomon et al., 2007). Assim, a intensidade da banda referente a compostos alifáticos pode servir como um indicador mais estável de lábil C.

Os Índices de Condensação (IC) e de Hidrofobicidade (IH) são índices que podem ser sensíveis a alterações na MOS, ambos relacionados a estruturas moleculares de baixo peso molecular que se encontram associadas ao solo (Derrien et al., 2006). Baseados na metodologia descrita por Dores-Silva et al, (2013), IH e IC, podem ser calculados pela relação entre as absorvâncias dos grupos apolares e polares.

Os IH e IC são valores quantitativos calculados com base na relação de pico e absorvância, o IH retrata a concentração de grupos alifáticos hidrofóbicos e aromáticos, enquanto o IC indica a condensação/humificação da molécula. O IH, relacionado com valores quantitativos. Assim, quanto menor, menor será a concentração de C-alifático e menos hidrofóbico, pois os grupos alifáticos de C são estruturas recalcitrantes (Baldock et al., 1997), permitindo verificar o grau de humificação da MOS (Dick et al., 2003). Enquanto o IC é utilizado na avaliação do grau de condensação/humificação da estrutura de moléculas orgânicas (Freixo et al., 2002).

O IMC, por ser o produto entre o IEC e o ILC, reflete a qualidade dos sistemas de manejo, permitindo inferir a respeito da sustentabilidade do sistema em questão (Souza et al., 2009). O IEC expressa a razão entre o estoque de C do solo em cada área sob diferente manejo, e o ILC, a razão entre a labilidade do C do solo em cada área de uso agrícola e o solo-referência da área preservada. Esses índices, obtidos através COT indicam perda de qualidade devido ao manejo com riscos para a sustentabilidade do sistema produtivo, conforme apontado Dieckow et al. (2009).

Este trabalho teve como objetivo determinar e avaliara resposta de diferentes indicadores de qualidade do solo em áreas de Caatinga preservada e antropizada, bem como caracterizar esses indicadores por meio da FTIR. Objetivou-se ainda buscar relações direta entre os espectros obtidos e alterações qualitativas da MOS do solo bem como a relação dessas alterações com as mudanças de manejo.

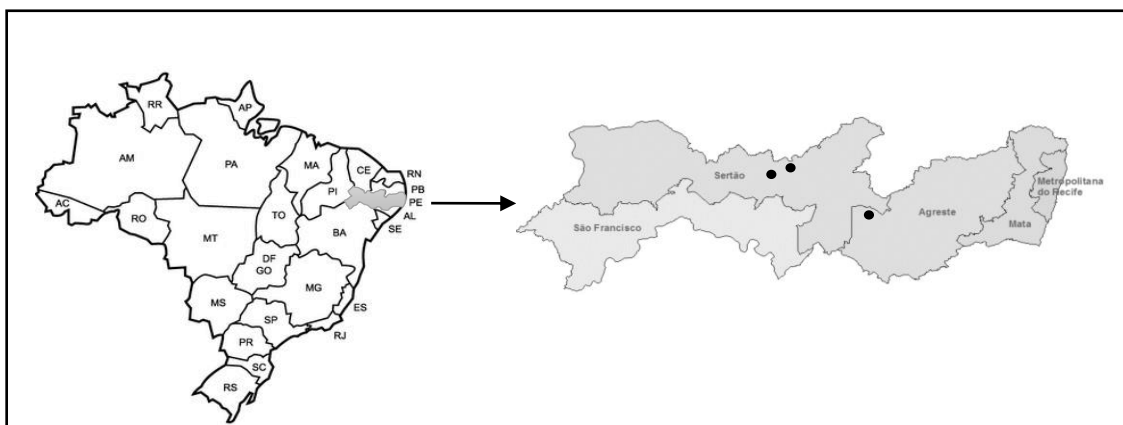
## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Descrição dos locais de estudo e sistemas agrícolas**

As coletas foram conduzidas em áreas de bioma da Caatinga situadas nas margens das unidades de conservação de ecorregiões da Depressão Sertaneja do Estado de Pernambuco, na região Nordeste do Brasil, nos municípios de Buíque (BQ) e Serra Talhada (ST). Entretanto a área de Serra Talhada foi dividida em duas áreas, incluindo assim a Mata da Pimenteira. Todas foram subdivididas em área de cobertura de Caatinga preservada (P) e área de uso agrícola (U).

Os locais de coleta foram: BQ-P ( $08^{\circ} 31'17.6''S$ ,  $037^{\circ} 15'11.7''W$ ), BQ-U ( $08^{\circ} 31'18.1''S$ ,  $037^{\circ} 15'11.7''W$ ); ST-P ( $07^{\circ} 56'11.7''S$ ,  $038^{\circ} 18'0.09''W$ ); ST-U ( $07^{\circ} 56'11.7''S$ ,  $038^{\circ} 18'12''W$ ); MP-P ( $07^{\circ} 54'39.3''S$ ,  $038^{\circ} 17'55.5''W$ ); MP-U ( $07^{\circ} 54'38.2''S$ ,  $038^{\circ} 17'58.8''W$ ).

**Figura 1:** Mapa representativo dos locais de amostragem, as amostras foram coletadas no Brasil, estado de Pernambuco nas regiões de Sertão e Agreste.



Em Serra Talhada a coleta foi realizada no Parque Estadual Mata da Pimenteira com 887,24 ha, mantida pelo Decreto Estadual 37.823, de 30 de janeiro de 2012, o qual está inserido em uma propriedade do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), denominada Fazenda Saco, inserido no sertão central Pernambucano, microrregião do Pajeú. Apresenta como vegetação típica a Caatinga hiperxerófila, de fisionomia arbustivo-arbórea a arbórea e composição florística característica da Floresta Estacional Caducifólia Espinhosa na qual foram registradas 16 espécies de anfíbios, 46 espécies de aves (FERRAZ et al., 1998). O relevo é predominantemente suave-ondulado, cortado por vales estreitos, com vertentes dissecadas e ciclos intensos de erosão que atingiram grande parte do sertão nordestino. O clima é o semiárido com temperatura média anual em torno de  $37^{\circ} C$  e precipitação na faixa de 400 a 800 mm anuais (IBAMA, 2015).

O Município de Buíque com área de 62.300 ha, mantida pelo Decreto Estadual Decreto 913/12 (2002) como uma Unidade de Proteção Integral. A região do Catimbau está inserida na bacia hidrográfica do rio São Francisco e ocupa parte dos municípios de Buíque, Arcoverde e Tupanatinga, no Estado de Pernambuco, sendo considerada área núcleo da Reserva da Biosfera da Caatinga há ocorrência de numerosos sítios de pinturas e gravuras rupestres localizados. A região está classificada no Domínio morfológico de Coberturas Sedimentares do Nordeste Oriental com o predomínio da Unidade de Relevo dos Tabuleiros do Recôncavo/ Tucano/ Jatobá, apresentando solos arenoquartzolos profundos. A área caracteriza-se pela presença de grandes serras areníticas, com diversas denominações locais. A altitude varia entre 1000 a 600 metros. A vegetação exibe grande diversidade de espécies e de estrutura, estão presentes na área espécies de cerrado, de campos rupestres, de mata atlântica e de restinga (Ambiente Brasil, 2016).

Entretanto, no momento da coleta, as áreas de uso agrícola de BQ e ST foram encontradas em desuso e estão em fase de reestabelecimento da mata natural por sucessão ecológica inicial, verificamos solo com cobertura vegetal descontínua caracterizado apenas por vegetação herbácea de baixo a médio porte e gramíneas em BQ, ST e MP.

## **2.2 Amostragem do solo**

As coletas foram realizadas outubro de 2015. Cada área foi dividida em solo com área de cobertura de Caatinga preservada (P) e área de uso agrícola (U), além dos municípios de coleta Buíque (BQ) e Serra Talhada (ST), e dentro do município de Serra Talhada também houve coleta na Mata da Pimenteira (MP), resultando em (BQ-P), (BQ-U), (ST-P), (ST-U), (MP-P) e (MP-U), totalizando 3 áreas de coleta com 2 manejos cada. Foram coletadas 15 amostras simples deformadas, retiradas em caminhamento por transectos, na camada de 0-5 cm em minitrincheiras, totalizando três amostras compostas (as repetições).

## **2.3 Análise química e granulométrica das áreas**

As caracterizações químicas das amostras de solo seguiram os métodos descritos no manual da EMBRAPA (2011), com pH em água (1:2,5); determinação dos cátions trocáveis cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e alumínio trocável ( $\text{Al}^{+3}$ ), extraídos com KCl 1,0 mol L<sup>-1</sup>; K<sup>+</sup> extraídos com Mehlich-1; H+Al<sup>+3</sup> extraída com acetato de cálcio 1 mol

L<sup>-1</sup> a pH 7,0. A partir dos valores de acidez potencial, bases trocáveis e alumínio trocável, calculou-se a capacidade de troca de cátions (CTC) efetiva e a saturação por bases (SB). (Tabelas 1 e 2)

**Tabela 1:** Atributos químicos de solo nas áreas de Buíque (BQ), Serra Talhada (ST) e Mata da Pimenteira (MP) com cobertura de Caatinga (P) e área de uso agrícola (U). Amostragem nos períodos seco (1C e 4C) e chuvoso (2C e 3C) da Caatinga no semiárido pernambucano

Áreas/ Manejos	pH água	K	Ca+Mg	H+Al	Al	CTC	SB
BQ-P	5,01 (0,14)	0,03 (0,01)	1,63 (0,22)	1,86 (0,47)	0,08 (0,03)	2,02 (0,09)	1,94 (8,42)
BQ-U	5,27 (0,16)	0,03 (0,01)	1,53 (0,20)	0,48 (0,18)	0,05 (0,02)	1,84 (0,03)	1,79 (7,47)
ST-P	7,21 (0,16)	0,75 (0,009)	7,26 (0,57)	1,21 (0,23)	0,00 (0,00)	8,34 (0,04)	8,27 (3,22)
ST-U	7,47 (0,12)	0,75 (0,009)	4,40 (0,35)	0,60 (0,33)	0,00 (0,00)	5,42 (0,06)	5,37 (3,97)
MP-P	6,69 (0,43)	0,21 (0,01)	4,70 (0,69)	1,32 (0,22)	0,06 (0,01)	5,17 (0,56)	5,10 (4,31)
MP-U	6,12 (0,14)	0,29 (0,02)	3,83 (0,58)	2,80 (0,59)	0,05 (0,04)	4,38 (0,11)	4,33 (4,07)

\*Valores entre parênteses referem-se ao erro-padrão da média.

**Tabela 2:** Caracterização física de solo de Caatinga, nas áreas de Buíque (BQ), Serra Talhada (ST) e Mata da Pimenteira (MP) com cobertura de Caatinga (P) e área de uso agrícola (U). A classificação textural de solo foram baseada no triângulo de classificação (Lemos & Santos, 1984)

Áreas/ Manejos	Argila	Areia	Silte	Textura
BQ-P	20,43	951,06	28,51	Arenosa
BQ-U	27,38	933,54	39,08	Arenosa
ST-P	107,91	800,95	91,15	Areia franca
ST-U	94,08	842,29	63,63	Areia franca
MP-P	81,01	792,89	126,10	Franco-arenosa
MP-U	60,98	860,45	78,58	Areia franca

### 2.3 Fracionamento físico da matéria orgânica: frações de matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica ligada aos minerais (MOM)

Para o fracionamento físico as amostras do solo foram obtidas pela granulometria, no qual as amostras foram peneiradas em peneira de 0,53 mm, segundo segundo Cambardella & Elliott (1992), tendo-se obtido as frações: matéria orgânica particulada (MOP >53 µm, material retido na peneira) e a matéria orgânica associada a minerais

(MOM <53  $\mu\text{m}$ , material peneirado), posteriormente secas em estufa a 105°C por 24 h, maceradas em pistilo e gral de ágata.

Para determinação do COT foi analisado segundo o método descrito por Yeomans & Bremner (1988). Antes da determinação de COT pela digestão de 0,5 g de solo com 10 ml de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,0667 mol  $\text{L}^{-1}$ , por 5 minutos, em chapa de aquecimento. Após o resfriamento em temperatura ambiente, foram adicionados 80 ml de água destilada mais adicionados 2 ml de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  P.A. e titulados com  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  0,1 mol  $\text{L}^{-1}$ , utilizando-se como indicador a solução ácida de difenilamina 1%.

O IL é calculado da seguinte forma:  **$\text{IL} = \text{L uso agrícola} / \text{L referência}$** . Em que: L = Labilidade da MOS no tratamento avaliado (área de uso agrícola), L de cobertura de Caatinga preservada = Labilidade da MOS na área de referência. O L é calculado pela expressão apresentada a seguir:  $\text{L} = \text{EstMOP} / \text{EstMOM}$ . No qual, EstMOP = estoque de COT na fração particulada da MOS e EstMOM = estoque de COT na fração associada a silte + argila da MOS.

O índice de manejo de carbono  $\text{IMC} = \text{IEC} \times \text{IL} \times 100$ , o IEC = índice de estoque de carbono; IL = índice de labilidade. A estimativa do IMC foi realizada com base na soma dos valores médios e, como condição natural, o solo sob Caatinga preservada foi utilizado como referência (IMC = 100). O IEC, por sua vez, foi calculado pela expressão:  $\text{IEC} = \text{COT área de uso agrícola} / \text{COT referência}$ . No qual, COT tratamento = estoque de COT no tratamento avaliado (área de uso agrícola) e COT referência = estoque de COT no tratamento da área preservada.

A obtenção do índice de manejo de carbono (IMC) foi baseada nas metodologias descritas por Blair et al, (1995) e Rossi et al, (2012) utilizando o COT em substituição das frações de carbono oxidável. A labilidade (L) da MOS foi determinada pela relação entre os estoques de matéria orgânica particulada (MOP) e os estoques de matéria orgânica associada aos minerais no silte e argila (MOM). O índice de labilidade (IL), calculado pela relação entre a L da área de solo com uso agrícola e da área de cobertura de Caatinga. O IMC de cada área foi obtido pela multiplicação entre o IEC e o IL por 100.

## 2.5 Fracionamento químico das substâncias húmicas do Solo

O fracionamento químico das substâncias húmicas do solo (SH) de acordo com os métodos proposto por Benites et al. (2003). Foram pesados 1,0 g de TFSA, transferidos

para tubo de centrífuga e adicionar 20 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup>, após agitação e permaneceu em repouso por 24 h. Em seguida, a suspensão foi centrifugada a 5.000 g por 30 min. Novamente foram adicionados 20 mL de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> nas amostras, as quais foram agitadas manualmente até o desprendimento e ressuspensão do precipitado e permaneceram em repouso por 1 h, e novamente centrifugados a 5.000 g por 30 min, posteriormente a parte sólida e sobrenadante foram reservados. Para constituírem, respectivamente, o extrato alcalino de pH 13,0, sendo ajustado para pH 1,0 ( $\pm 0,1$ ), pela adição da solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 20%, a solução decantou por 18 h, a qual foi novamente centrifugada por 5 min. Posteriormente as amostras foram fracionadas em soluções de ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, e humina. O sobrenadante e ao resíduo foram adicionados 30 ml e 20 ml de NaOH e água destilada até atingir o volume final de 50 ml, ao resíduo foi transferido para placa de petri e seco em estufa de aeração forçada a 65°C até secagem depois foi macerado para analisar a humina.

Foram transferidos 5 mL da solução de ácido húmico ou fúlvico e 0,5 g de humina para tubos de digestão com 1 mL de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0,042 mol L<sup>-1</sup> e 5 mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado e aquecido em bloco digestor pré-aquecido a 150°C e deixar por 30 min, em seguida o conteúdo foi transferido quantitativamente para erlemeyers, o volume completado para 80 ml e adicionou-se 3 gotas da solução indicadora de ferroin para titulação com sulfato ferroso amoniacal 0,0125 mol L<sup>-1</sup> sob agitação.

Os cálculos resultantes das amostras de solo seco e líquidas foram calculadas as relações entre os teores de C das frações ácido fúlvico e ácido húmico (C-FAF/ C-FAH) e a relação entre as frações solúveis do extrato alcalino (C-EA/C-HUM), em que C-EA (C do extrato alcalino e/ou espectro) é C-EA= C-FAF + C-FAH. Os teores de cada fração das substâncias húmicas, foi calculada a relação FAH/FAF e a relação entre as frações (EA = FAF + FAH) e humina (HUM), tendo-se obtido a relação EA/HUM (Benites et al., 2003).

## **2.6 Caracterização da matéria orgânica por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)**

As amostras submetidas ao FTIR foram de COT obtido em TFSA, MOP, MOM. As frações da matéria orgânica do solo obtidas por seu fracionamento físico da granulometria, na qual as amostras foram peneiradas em peneira de 0,53 mm, segundo



Cambardella & Elliott (1992), tendo-se obtido as frações: matéria orgânica particulada (MOP >53  $\mu\text{m}$ ) e a matéria orgânica associada a minerais (MOM <53  $\mu\text{m}$ ).

Para análise das pastilhas de MOP, MOM e KBr (branco), as amostras e o padrão foram secos em estufa a 105°C por 24 h. Em seguida, foram pesadas 30 mg de amostra e 300 mg de KBr, ambos macerados com pistilo e gral de ágata. Posteriormente, secos em estufa a 105°C para confecção da pastilha com KBr foi usado em pastilhador semi-automático, no qual receberam pressão direcionada de 8 t por cinco minutos para obtenção de uma pastilha lisa e espelhada e analisadas no espectrômetro de FTIR (espectrômetro de Infravermelho com Transformada de Fourier da marca SHIMADZU IRPrestige-21). As medidas foram feitas com 20 varreduras e os espectros foram obtidos na faixa de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$  com resolução de 4  $\text{cm}^{-1}$ , repetiu-se em duplicata o procedimento para todas frações do solo, tanto para os padrões brancos das amostras foram estabelecidos por amostra de KBr pura.

Conforme sugerido por Freixo et al. (2002); Ellerbrock et al, (2005); Dores-Silva et al. (2013), com adaptação do método foram utilizadas as bandas obtidas nesse trabalho para o cálculo dos índices de hidrofobicidade (IH) e índice de condensação (IC). Para o cálculo do IH das frações de MOP e MOM, as bandas representativas de C-H alifático e C=O aromático, com relação entre as absorvâncias das determinadas bandas. Dessa forma, a relação entre as absorvâncias para MOP de 2.922 e em 1526  $\text{cm}^{-1}$  e para MOM de 2924 e 1223  $\text{cm}^{-1}$  (relação entre grupos apolares e polares). Enquanto a relação entre as absorvâncias entre 2 922 e 1 610  $\text{cm}^{-1}$  para MOP e 1 624 e 2918  $\text{cm}^{-1}$  para MOM, os quais correspondem ao IC.

Seguindo a método descrito por Primos & Menezes (2011) e Silva et al (2014), a análise de espectroscopia foram realizadas nas soluções de AH e AF, utilizadas para a realização das medidas da razão  $E_4/E_6$  (absorvância a 465 nm/absorvância a 665 nm).

## **2.7 Análise estatística**

As amostras nas camadas de 0-5 cm foram analisadas pelo teste de Tukey e teste  $r$  para correlação simples.

## **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### 3.1 Frações de matéria orgânica particulada (MOP) e matéria orgânica associada aos minerais de silte e argila (MOM)

C-MOP e C-MOM (Tabela 3), ressalta-se que o somatório das frações MOP e MOM equivalem, aproximadamente, ao COT. O C-MOP apresentou valores até 70 vezes maior que o C-MOM. Os maiores estoques de C-MOP, podem ser resultado das variações. Assim, os resultados mostram que o C-MOP constitui um indicador mais sensível aos efeitos dos sistemas de manejo do solo (Tomazi, 2008; Conte et al., 2011).

**Tabela 3.** Teores de carbono orgânico total (COT), carbono ligado à matéria orgânica particulada (C-MOP) e C da matéria orgânica associado à fração mineral (C-MOM) de solos sob cobertura de Caatinga preservada uso agrícola, nas áreas de Buíque, Serra Talhada e Mata da Pimenteira

Áreas/ Manejos	COT (TSFA)	C-MOP	
		g kg <sup>-1</sup>	
BQ-P	4,02 a	3,95 a	0,07 b
BQ-U	3,23 a	3,01 a	0,21 a
ST-P	7,27 a	6,41 a	0,85 a
ST-U	2,99 b	2,57 b	0,41 b
MP-P	3,26 b	3,21 b	0,04 b
MP-U	5,20 a	4,55 a	0,65 a

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna comparam médias entre si dentro das áreas e manejos pelo teste de t a 5%.

A menor proporção do COT está ligada aos minerais do solo (C-MOM) com valores entre 0,04 a 0,85 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 3). De modo geral, alterações no manejo de solos, resultaram em pequenas alterações nos teores de matéria orgânica associada aos minerais do solo. Esse padrão pode ser atribuído ao avançado no estágio de humificação da matéria orgânica, que se torna altamente estável (estabilidade química) (Conte et al., 2011).

Resultados obtidos por Santos et al. (2011), em Argissolo Vermelho com textura arenosa, nas camadas de 0,00-0,025 m das frações leve e livre e fração leve oclusa, as quais são sinônimos das frações analisadas de MOP e MOM obtidas pelo fracionamento físico, ao analisar os COT das frações encontraram valores semelhantes. O potencial em aportar resíduos orgânicos na superfície do solo é atribuído à natureza física e química da serapilheira e de materiais menos susceptíveis à decomposição, devido à maior

quantidade de lignina e tanino em relação às plantas forrageiras, comparando floresta com pastagem foram observados maior incremento do carbono para áreas de floresta nativa.

No entanto, destacam-se os teores de C-MOP, mesmo quando apresentada em menor quantidade pois é considerada uma fração dinâmica no solo e exerce importante papel na agregação das partículas e nos ciclos biológicos do solo (Conte et al., 2011). As frações MOP e MOM têm acréscimo ou decréscimo relacionados a inúmeros fatores ambientais, dentre os quais pode-se destacar a entrada e saída anual de carbono e a textura do solo (Tivet et al., 2013).

Rossi et al. (2012) destacam que a sensibilidade apresentada pela MOP da MOS, demonstra que este compartimento pode ser usado como um bom indicador da qualidade do solo para avaliação de sistemas de manejo recentes, nos quais as alterações no COT do solo ainda não tenham sido de grande magnitude. Fator que pode ser enquadrado em solo de Caatinga com alta sensibilidade aos fatores climáticos. Entretanto, estes estudos são relacionados a solos com textura média, argilosa e siltosa, sendo contrário do deste trabalho, com solos de textura arenosa a areia-franca, com baixa retenção de água, lixiviação rápida e não heterogeneidade dos perfis, além de baixos teores de C na fração MOM, fração mais estável e humificada (Rossi et al., 2012).

O processo de decomposição dos resíduos vegetais gera a estabilização do COT, sendo o principal mecanismo de sequestro de C a longo prazo, além de proteger os compostos complexos com a enzimáticas, atividade microbianas e reduzir a taxa de mineralização em solos de clima temperado (Balesdent et al., 2000) e subtropicais (Bayer et al., 2002). Assim, solos arenosos possuem uma menor estabilização dos agregados, resultando numa baixa acumulação de COT. O menor valor encontrado de COT na TSFA foi  $3,23 \text{ g kg}^{-1}$ , enquanto os valores mínimos de MOP e MOM, foram respectivamente, de  $3,01$  e  $0,21 \text{ g kg}^{-1}$  para BQ-U. Portanto, maior ênfase deve ser dada às alterações quantitativas dos grupos funcionais no mecanismo de estabilização, e as contribuições do uso da terra para o sequestro de COT (Tivet et al., 2013).

Os resultados verificados todas as áreas exibem baixas quantidades de COT, os valores numéricos não diferem entre si, pois todas as áreas trabalhadas independentes do manejo exibem solos com baixa cobertura vegetal, típica de mata de Caatinga ou apenas gramíneas (pastos nativos). As causas dessa alteração estão ligadas ao uso do solo, o cultivo agrícola diminui o armazenamento e aumenta a liberação de C na atmosfera (Warne et al., 2013; Beza & Assen, 2016). Em áreas dos cultivadas o plantio pode reduzir de 20 a 50%, a taxa de C, enquanto em regiões temperadas esta perda pode atingir média

de 30% (Anderson-Teixeira et al., 2009). A influência do tipo de ecossistema submetido a modificações no sistema de cultivo escolhido para gerenciá-lo possui diversos efeitos sobre o C (Ogle et al., 2005).

As frações são sensíveis a ações edafoclimática de longo, médio e curto prazo impostas ao solo sobre diferentes manejos. Na tabela 4 são apresentados os dados de labilidade do C (LC), índice de labilidade do C (ILC), índices de estoque de C e índice de manejo de C (IEC).

**Tabela 4.** Labilidade (L), índice de labilidade (IL), índices de estoque de carbono (IEC), índice de manejo do carbono (IMC) para as frações de MOP (matéria orgânica particulada) e MOM (matéria orgânica associadas aos minerais) nas áreas de coletas Buíque (BQ), Serra Talhada (ST) e Mata da Pimenteira (MP) com cobertura de Caatinga (P) e área de uso agrícola (U).

Áreas/ Manejos	C-MOP/C-MOM		C-MOP		C-MOM	
	L	IL	IEC	IMC	IEC	IMC
BQ-P	54,23 a	4,09 a	1,21 a	100	0,28 b	100
BQ-U	13,89 b	0,25 b	1,08 a	108,48	3,88 a	32,39
ST-P	7,50 a	1,20 a	2,86 a	100	2,39 a	100
ST-U	6,22 a	0,83 a	0,35 b	29,33	0,42 b	35,39
MP-P	54,94 a	8,30 a	1,00 a	100	0,11 b	100
MP-U	7,27 b	0,13 b	1,18 a	18,29	8,56 a	118,22

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna comparam médias entre si dentro das áreas e manejos pelo teste de t a 5%.

Neste experimento, a LC foi elevada em todas as áreas com manejo preservado, assim como o ILC. No entanto, o IEC exibiu diferenças entre áreas e manejos, além de diferenças entre as frações de MOP e MOM mostrando menor capacidade de acúmulo de C. Já o IMC, usado para expressar a qualidade do sistema de manejo preservado, indica que os tratamentos de MOP apresentaram valores bem menores quando comparados com as áreas de referência (preservadas), o que foi inversamente proporcional quando analisamos o IMC para MOM, no qual os tratamentos BQ-U e MP-U exibiram valores maiores que o IMC da área preservada, no entanto ST-U exibiu valor 35,39%, sendo inferior aos demais.

O aumento no C lábil é um fator relevante para a qualidade do solo, pois, segundo Christensen (1992), esta é a fração mais dinâmica do C do solo, sendo usada como fonte de energia para o sistema solo-planta, retroalimentando os processos químicos, físicos e biológicos e favorecendo as interações entre os componentes do sistema solo,

contribuindo assim para a expressão das propriedades emergentes do sistema (Tomazi, 2008).

Analisando os dados do C-MOM verificamos que nas áreas de uso agrícola os valores são inferiores entre 18 e 30% do esperado, estes fatores para a cultura podem ser alterados facilmente pela correção do solo. Entretanto, para a região semiárida do Nordeste, onde a correção de solo baseada em dados consistente e analisados por profissionais é escassa e a agricultura de subsistência ainda é muito usada, os baixos índices de C podem exibir seu esgotamento no solo que favorece tanto a baixa fertilidade gerando abandono da área como agrava problemas ambientais como a desertificação, o qual é afetado diretamente pela textura arenosa do solo.

### 3.2 Fracionamento Químico das Substâncias Húmicas do solo

Foram verificados valores baixos para o C-AF e C-AH (Tabela 5). Os valores de C-AF não exibiram significância para as áreas ST e MP, enquanto C-AH para BQ e MP. Apresentou diferença significativa para C-AF em Buíque entre os diferentes manejos (P e U) com 0,28 e 0,07 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente, como C-AH para MP-P com 0,15 g kg<sup>-1</sup> e MP-U com 0,24 g kg<sup>-1</sup>.

**Tabela 5:** Caracterização das Substâncias Húmicas (SH) dos solos pela extração líquida a base de NaOH temos o Carbono dos ácidos fúlvicos (C-AF), carbono dos ácidos húmicos (C-AH), relação do extrato alcalino dos ácidos fúlvicos e húmicos (EA) e relação (E4/E6) nas áreas de coletas Buíque (BQ), Serra Talhada (ST) e Mata da Pimenteira (MP) com cobertura de Caatinga (P) e área de uso agrícola (U)

Áreas/ Manejos	C-AF	C-AH	EA/HUM	E4/E6	
	mg C. g <sup>-1</sup>			AF	AH
BQ-P	0,28 a	0,30 a	0,93 a	7,74	4,24
BQ-U	0,07 b	0,26 a	0,27 b	3,81	3,57
ST-P	0,25 a	0,16 a	1,57 a	4,01	3,14
ST-U	0,19 a	0,13 a	1,41 a	6,01	2,48
MP-P	0,30 a	0,15 b	1,99 a	5,36	4,36
MP-U	0,27 a	0,24 a	1,11 b	4,33	3,92

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna comparam médias entre si dentro das áreas e manejos pelo teste de t a 5%.

A relação das frações AH/AF no extrato alcalino (EA = FAH/FAF) e indica o grau de conversão do carbono orgânico insolúvel do solo a frações solúveis. Em geral, os

valores de EA são maiores nos solos arenosos, em razão da perda seletiva da fração mais solúvel (Martins et al., 2009). OS resultados não exibem diferença significativa entre as áreas ST, entretanto para as áreas BQ e MP apresentou diferença entre seus manejos com a área preservada contendo maior índice BQ-P (0,93) e MP-P (1,99).

A razão  $E_4/E_6$  pode ser usada para avaliar o grau de maturação das substâncias húmicas. Quanto menor  $E_4/E_6$  maior grau de condensação da amostra, além de estarem associadas ao grau de humificação das SHs. Observamos que os valores não diferiram entre as áreas e seus manejos, entretanto percebemos uma tendência em BQ-P e BQ-U, 7,74 e 3,81 respectivamente, apontando para um maior grau de humificação da MOS em BQ-P.

Silva et al, (2014) e Guareschi et al., (2013) relatam que os menores valores da razão  $E_4/E_6$  dos AH indicam que nos substratos, a matéria orgânica encontra-se predominantemente em formas mais humificadas. Resultado similar foi encontrado em nosso trabalho, entretanto, a margem de diferença observada pelos autores em relação à nossa indica que as  $E_4/E_6$  dos AH e AF não diferem entre si. Análises comprovam que o aumento da humificação da matéria orgânica nos substratos é de suma importância, pois vários processos fisiológicos das plantas podem ser modulados pelo material húmico, entre eles, os grandes sistemas de transdução de energia das membranas celulares das plantas e as bombas de prótons. Além disso, fito-hormônios têm sido associados à bioatividade das SH, bem como a ativação da  $H^+$ -ATPase e bombas vacuolares (Zandonadi et al., 2013).

### **3.3 Caracterização da matéria orgânica por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR)**

O espectro de FTIR da MOS em solos da Caatinga pernambucana de textura arenosa apresentou as principais bandas de absorção associadas a MOS com bandas intermediárias que exibem valores característicos dos ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina, mas devido aos fatores utilizados no estudo como tipo de solos, áreas, clima, manejo, verificamos o deslocamento e supressão de bandas específicas comumente utilizados para identificação. Todos esses fatores foram analisados nas frações de MOP e MOM, as quais são diretamente proporcionais ao COT disponível no solo.

Nos espectros para MOP (tabela 6) verificamos a associação de compostos orgânicos: banda larga centrada suave em  $3.400\text{ cm}^{-1}$ , devido a H ligados a alongamento

nos grupos OH; bandas de 2922 e 2852  $\text{cm}^{-1}$  atribuídas ao carbono alifático assimétrico e simétrico com estiramento em C-H; pico suave em 1.610  $\text{cm}^{-1}$  associados a uma vibração estrutural na aromático C assimétrico C=O de COO estiramento C; um pico a 1526  $\text{cm}^{-1}$  de C-O ésteres e amida II. Enquanto nas amostras de MOM exibebandas 3.418 a 3.407  $\text{cm}^{-1}$ ; 2.224 e 2918  $\text{cm}^{-1}$ ; 2 80 e 2854  $\text{cm}^{-1}$ , e 1 624 e 1 633  $\text{cm}^{-1}$ .

Nos espectros de MOP, as principais características associadas aos homólogos inorgânicos foram: as bandas nítidas cerca de 3.697  $\text{cm}^{-1}$ , atribuídos a grupos de OH a partir da superfície Al-OH e Si-OH dos minerais do interior da camada de caulinita, gibsitita; bandas entre 2 005 a 1 790  $\text{cm}^{-1}$ , designado a grupos Al-O da superfície da argila mineral, e um ombro suave em 1 680  $\text{cm}^{-1}$  devido a grupos de estrutura mineral; pico fino em torno de 888  $\text{cm}^{-1}$  associados a grupos de superfície estrutura do mineral. Entretanto nos espectros de MOM observamos bandas nas faixas de 3 697  $\text{cm}^{-1}$ ; 1 994 e 1 880  $\text{cm}^{-1}$ ; 1 621  $\text{cm}^{-1}$ ; e 864  $\text{cm}^{-1}$ .

**Tabela 6:** MOP (matéria orgânica particulada do solo) nas áreas de coleta de Buíque (BQ), Serra Talhada (ST) e Mata da Pimenteira (MP), solo Caatinga preservada (P) e área de uso agrícola (U), no semiárido pernambucano

MOP						Referencial Teórico
Abs (n. ondas em cm <sup>-1</sup> )						Grupo funcional
BQ	ST	MP	SH	AH	AF	
3 694	3 697	3 697	3 696	3 380	3 400	H <sub>2</sub> O
3 651	3 622	3 622	3 646	3 346	3 419	OH alongamento dos grupos hidroxila no exterior e de caulinita no interior da superfície
3 619	3 442	3 424	3 621	3 396	3 228	
2 922			3 394	2 929	2 940	OH alongamento do grupo hidroxilo interior da camada de caulinita, gibsita no plano e fora do plano OH
2 852			3 440		2 840	
			3 526			Alongamento dos gibsita
			2 922			
			2 852			Alifático assimétrica C/H estiramento
						Alifático simétrica C/H estiramento
2 000	1 630	2 005	1 632	1 716	1 634	Vibrações aromático C-C e vibrações C-O de íons de ácidos carboxílicos
1 925	1 217	1 871	1 404	1 722		
1875		1 799	1 092	1 712		Alifático C \ H deformação do CH <sub>2</sub> e CH <sub>3</sub> dobra, C \ OH deformação da COOH, estiramento simétrico COO-
1 790		1 624	1 030	1 634		
1 681		1 525	1 006	1 625		-Si/O modo de alongamento em minerais de argila e Si/O/Si de quartzo
1 610		1 257		1 635		
1 526				1 533		-Si/O/Si no plano modo de alongamento de caulinita, OH vibrações de gibsita e C/O alongamento de polissacáridos quartzo
1 267				1 447		
				1 249		- Si \ O \ Si no plano que se estende modos de caulinita
				1 126		
				1 035		- Si \ O \ Si no plano que se estende modos de caulinita
900	888	876	914	900		- Si \ O \ Si no plano que se estende modos de caulinita
802	760	797	798	800		
760	405	696	750			Água e Ruídos (impurezas)
694		643	672			
550		580	538			
410						

O espectro de FTIR para a fração MOM (Tabela 7), apresenta um padrão típico de MO humidificada com um pico a 1 790 e 1 799 cm<sup>-1</sup> devido a -C = O alongamento de -COOH; em ombros suaves em 1 450 – 1 420 cm<sup>-1</sup>, atribuídas ao C Alifático e sua ligação C-H deformação do CH<sub>2</sub> e CH<sub>3</sub> dobrados, C-OH deformação da COOH e estiramento simétrico COO-; um pico a 1 217, 1 257, 1 200 cm<sup>-1</sup>, devido ao alongamento e deformação de OH, -COOH, -C-OH flexão de fenóis e de álcool terciário assimétrico -C-O; e um ombro a e 1.193 cm<sup>-1</sup> atribuído a simétrica -C-OH alongamento dos alifáticos.



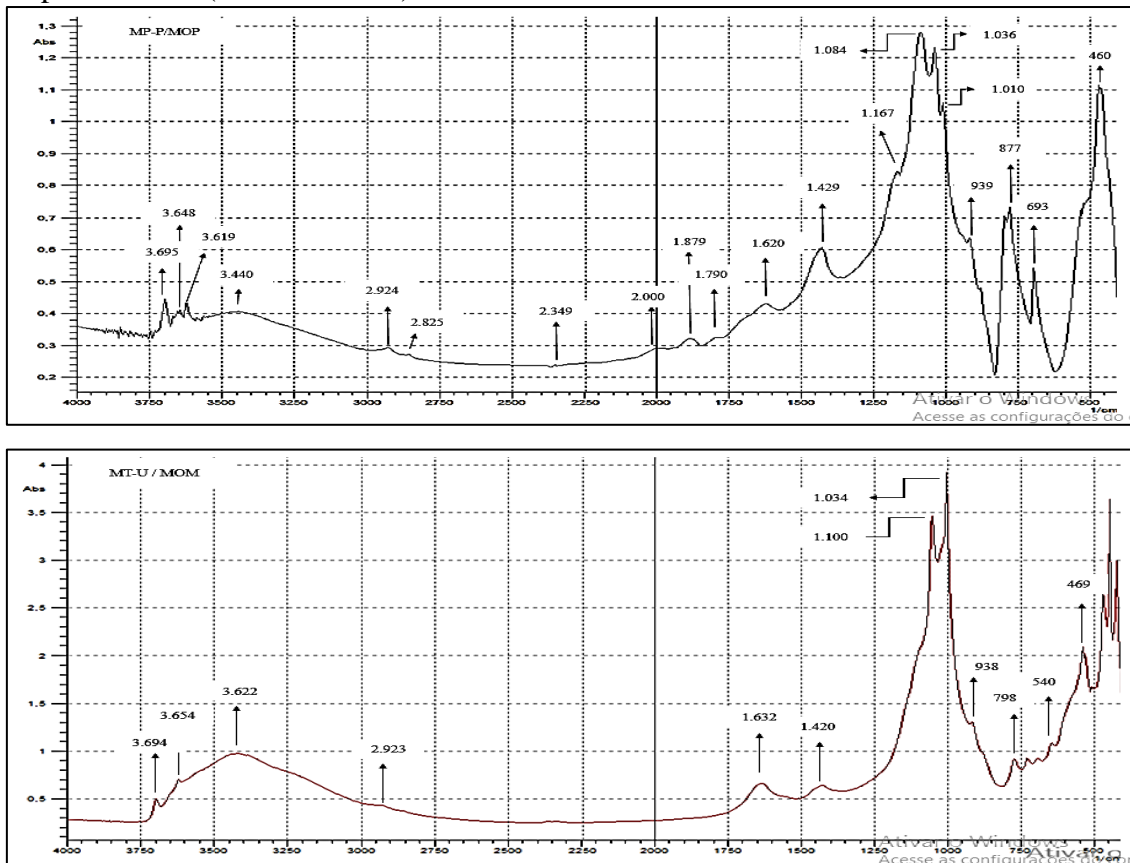
**Tabela 7:** MOM (matéria orgânica associada aos minerais de silte e argila) nas áreas de coleta de Buíque (BQ), Serra Talhada (ST) e Mata da Pimenteira (MP), solo Caatinga preservada (P) e área de uso agrícola (U), no semiárido pernambucano

						Referencial Teórico
MOM			Absorbância (n. ondas em $\text{cm}^{-1}$ )			Grupo funcional
BQ	ST	MP	SH	AH	AF	
3 697	3 692	3 674	3 696	3 380	3 400	H <sub>2</sub> O
3 645	3 616	3 657	3 646	3 346	3 419	OH alongamento dos grupos hidroxila no exterior e de caulinita no interior da superfície
3 622	3 407	3 639	3 621	3 396	3 228	
3 418		3 388	3 394	2 929	2 940	
2 924		2 918	3 440		2 840	
2 860		2 854	3 526			OH alongamento do grupo hidroxilo interior da camada de caulinita, gibsita no plano e fora do plano OH
			2 922			
			2 852			
						Alongamento dos gibsita
						Alifático assimétrica C/H estiramento
						Alifático simétrica C/H estiramento
1 994	1 633	1 994	1 632	1 716	1 634	Vibrações aromático C-C e vibrações C-O de íons de ácidos carboxílicos
1 871	1 193	1 880	1 404	1 722		
1 624		1 793	1 092	1 712		Alifático C \ H deformação do CH <sub>2</sub> e CH <sub>3</sub> dobra, C \ OH deformação da COOH, estiramento simétrico COO- -Si/O modo de alongamento em minerais de argila e Si/O/Si de quartzo
1 200		1 257	1 030	1 634		
		1 621	1 006	1 625		
				1 635		
				1 533		
				1 447		
				1 249		
				1 126		-Si/O/Si no plano modo de alongamento de caulinita, OH vibrações de gibsita e C/O alongamento de polissacáridos quartzo
				1 035		
						- Si \ O \ Si no plano que se estende modos de caulinita
911	864	876	914	900		- Si \ O \ Si no plano que se estende modos de caulinita
803	783	806	798	800		
748			750			
701			672			
675			538			Água e Ruídos (impurezas)
600						

As bandas dos espectros de absorção FTIR indicam todas as características químicas de MO em MOP e MOM (Figura2), no qual MOP representa a parte mais lábil, enquanto MOM assemelha-se a parte mais humificada. Usando a similaridade como parâmetro de identificação, MOP relaciona-se com AF e AH, enquanto humina está relacionada com o MOM, segundo a avaliação dos grupos funcionais reativos semelhantes. Ao analisarmos as áreas em relação ao manejo, observamos as sobreposições dos espectros são comuns, pois os grupos funcionais específicos e de compostos puros são comuns na constituição do solo (hemicelulose, celulose). Por isso

encontramos deslocados ao longo de um intervalo de números de onda (Silva et al., 2014; PADILHA et al., 2014).

**Figura 2:** Espectros de Infravermelho com Transformada de Fourier das frações de MOP (Matéria Orgânica Particulada) e MOM (Matéria Orgânica associadas aos minerais), das áreas da Mata da Pimenteira nos manejos de área preservada e Uso agrícola, respectivamente (MP-P e MP-U)



Dick et al. (2003), em após a remoção da MOS quando o conteúdo C diminuiu de 22,4 (amostra não tratada) a 8,9 g kg<sup>-1</sup> após a extração SHs e 3,8 g kg<sup>-1</sup> após a oxidação, verificou-se alteração nos espectros formados a partir de DRITF (diamante de refletância no infravermelho de Transformada de Fourier), com bandas menos proeminentes. A redução ou menor quantidade de MO no solo pode alterar, suprimir ou deformar os bandas do espectro; no trabalho supracitado apresentou 260 g de argila kg<sup>-1</sup>, enquanto o presente estudo foi realizado com solos arenosos possuindo 20,40 a 107,91 g de argila kg<sup>-1</sup> devido as características físicas exibem menores conteúdos de MO.

Nos estudos de Vergnoux et al., (2011) para a identificação de AF, AH e fração não humificada, em Cambissolos do ecossistema mediterrâneo situado nas Montanhas

de Maures no Sudeste da França, analisando o efeito das queimadas na MOS em profundidades de 0-10 cm, utilizando TSFA. Ao comparando os dados das bandas similares as amostras de MOP podem ser consideradas como AF e AH. Em relação as bandas da fração não humificada foram encontradas nos espectros de ambos os estudos podendo ser consideradas como a composto inorgânicos. Os espectros de AH e AF apresentam muitas analogias e também algumas diferenças, principalmente no caso das intensidades relativas das bandas.

Webster et al., (2016), analisando o comportamento da biomassa microbiana em solos de floresta úmida, verificou bandas de abundância relativa para polissacarídeos ( $1\ 030\ \text{cm}^{-1}$ ); ligninas, C aromáticos e carboxilatos ( $1\ 622\ \text{cm}^{-1}$ ); lipídeos e gorduras simétricos ( $2\ 851\ \text{cm}^{-1}$ ) e assimétricos ( $2\ 920\ \text{cm}^{-1}$ ); e celulose ( $3\ 310\ \text{cm}^{-1}$ ), os compostos são componentes estruturais da biomassa vegetal depositada no solo em forma de serapilheira ou resíduos de colheitas. O polissacarídeo e lignina, aromáticos ou carboxilatos no solo refletem a remoção de substratos no chão da floresta, que podem ocasionar uma redução na eficiência metabólica das comunidades microbianas (Schimel et al., 2007). Em nossas amostras verificamos os bandas  $2\ 923$ ,  $2\ 825$ ,  $1\ 620$  e  $1\ 034\ \text{cm}^{-1}$  ou similares muito próximos ao valor observado, entretanto não verificamos os bandas  $3\ 310\ \text{cm}^{-1}$  característico da celulose, por ser um composto complexo e de mineralização lenta em solos arenosos na região semiárida podem ser imperceptíveis dentro das amostras analisadas.

Analisando o trabalho de Santos et al., (2011) em Argissolo Vermelho com textura arenosa, nas camadas de 0,00-0,025 m das frações leve e livre e fração leve oclusa obtidas pelo fracionamento físico. Visualizou os bandas  $3\ 266$ ,  $2\ 920$ ,  $2\ 850$ ,  $1\ 720$ ,  $1\ 630$ ,  $1\ 540$ ,  $1\ 380$ ,  $1\ 250$  e  $1\ 072\ \text{cm}^{-1}$  para todos os sistemas de cultivo analisados (Floresta homogênea de eucalipto, Sistema agrossilvipastoril na entrelinha e Campo nativo) em FTIR. Observamos que apenas alguns bandas são idênticos, todos ligados a matéria lábil os bandas entre  $1\ 500$  e  $1\ 200$  do espectro não foram visualizadas em todas as condições de tratamento, este fato pode ser explicado pela diferença entre serapilheira, uso do solo, local, clima e precipitação, os quais influenciam diretamente a MOS dos solos.

O uso da metodologia de FTIR proporciona uma informação molecular e funcional encontrada com base para o conhecimento essencial sobre o impacto da diferentes práticas agrícolas sobre a dinâmica das substâncias húmicas (Tatzber et al., 2007). Com isso podemos verificar a alteração no formato e deslocamento dos picos, os quais fornecem índices para a avaliação da degradação da MOS e a influência o sistema

de gestão. (Ceccanti et al., 2007). Pois poucos fatores correlacionando os efeitos sobre qualidade da MOS em solos de regiões semiáridas (Arada et al., 2011). Além de ser utilizado para verificação dos minerais do solo,

Spence e Robinson (2013) teve seus resultados corroborados por Madejová et al, (2010) ao analisar as propriedades minerais dos solos de textura arenosa (55%) e liofilizados, verificaram bandas sem relação a adsorção de íons cádmio dissolvidos a montmorilonita na presença de bactérias do solo (biomassa microbiana). Foram observados os bandas 523, 468, 917, 844 e 1 637  $\text{cm}^{-1}$ . Ao relacionarmos nosso estudo com bandas citadas, obtivemos bandas similares em 540  $\text{cm}^{-1}$  (Si-O-Al) e 469  $\text{cm}^{-1}$  (Si-O-Si) são atribuídos às vibrações estruturais. As vibrações desdobramento em 938  $\text{cm}^{-1}$  (Al-OH-Al) e 877  $\text{cm}^{-1}$  (Al-Mg-OH), as quais sugerem quando o Al é parcialmente substituído com Mg nas folhas octaédricos de montmorilonita. Um pequeno pico que aparece perto de 1 632  $\text{cm}^{-1}$  é devida à O-H vibrações de alongamento de H-O-H, e implica a adsorção de uma pequena quantidade de água para o mineral de argila (Fig. 2).

As bandas entre 1 632 e 469  $\text{cm}^{-1}$  estão diretamente ligados a textura arenosa do solo, por isso são verificados nos dois espectros. Entretanto verificamos maiores valores de absorbância e definição dos picos, demonstram a ligação entre com o processo de fracionamento da MO, expondo a divisão proporção das partículas atuam sobre o conteúdo de MO no solo.

Todos os espectros possuem basicamente as mesmas bandas, diferindo apenas pelo tipo de amostra MOP e MOM. Segundo Santos et al., (2010) alguns resultados de estudos químicos e espectros, as bandas mostraram que, em geral, as SH de condicionadores orgânicos (resto de matérias de vegetais em estados diferentes de decomposição) diferem pela quantidade de agrupamentos aromáticos e carboxílicos.

A relação de IH para MOP apresentou valores mais elevados para áreas com manejo de uso agrícola, enquanto MOM exibiu comportamento indiferente ao tipo de manejo (Tabela 6). O IC para MOP mostrou diferenças entre área e manejos para BQ e MP, entretanto para MOM os valores expõe diferença apenas em BQ (P e U). O IC exibiu valores maiores que IH, entretanto para MOP e MOM apenas BQ (P e U) apresentou diferenças para os dois fatores analisados. Quanto maior o valor maior do índice de IH a resistência à degradação microbiana (Tinti et al., 2015). Observamos que os valores os maiores em MOP com 0,55 e 0,73, para BQ (P e U).

**Tabela 6:** Parâmetros dos índices de hidrofobicidade (IH) e de condensação (IC) para MOP e MOM, nas áreas de coletas Buíque (BQ), Serra Talhada (ST) e Mata da Pimenteira (MP) com cobertura de Caatinga (P) e área de uso agrícola (U).

Áreas/Manejo	IH		IC	
	MOP	MOM	MOP	MOM
BQ-P	0,55 b	0,10 b	1,67	3,15 a
BQ-U	0,73 a	0,14 a	0,56	2,41 b
ST-P	0,52 b	0,22 a	1,93	1,83 a
ST-U	0,59 a	0,21 a	1,58	1,76 b
MP-P	0,40 b	0,18 a	2,34	2,08 a
MP-U	0,63 a	0,18 a	1,45	2,03 b

\* Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna comparam médias entre si dentro das áreas e manejos pelo teste de t a 5%.

Apenas da área preservada da mata da pimenteira, em Serra Talhada, foram observadas correlações entre o índice de condensação da MOP com a relação E4/E6 dos ácidos fúlvicos (0,95\*), confirmando a predominância dos componentes mais lábeis dos ácidos húmicos na definição da matéria orgânica particulada desses solos.

O Teste de correlação para as variáveis de Uso agrícola em Buíque o MOP se correlacionou com a relação E4/E6 dos ácidos fúlvicos (0,9962\*\*), e MOM com E4/E6 dos ácidos húmicos (-0,9773\*). Nas Variáveis de Serra Talhada, foram observadas correlações positivas entre os valores de COT com o índice de condensação da MOP (IC-MOP) (-0,9953\*), enquanto IC-MOP correlaciona com E4/E6 dos ácidos húmicos (0,9999\*). Já a MOM teve correlação significativa com índice de Condensação de MOM com E4/E6- AH de (0,9706\*). Na Mata da Pimenteira, MOM e E4/E6-AH (0,9953\*\*). As correlações confirmam das frações químicas e físicas da matéria orgânica estão acessando os mesmos compartimentos, mais ou menos lábeis, (Tabela 5 e 6). Os mesmos compartimentos podem também ser observados nas bandas mais MOP e MOM (figura 2).

Os solos da Caatinga com textura arenosa que possuem várias limitações como baixa retenção de água e alta taxa de infiltração, textura, baixa húmus e teores de argila e perda de nutrientes via lixiviação ou percolação profunda (El-Saied et al., 2016). Este tipo de solo foi encontrado nas áreas estudadas, indicando as baixas taxas encontradas nesses solos.

Dias et al, (2009) trabalharam com as frações leves-livres e intra-agregado com Latossolo, as quais são sinônimos de MOP e MOM, respectivamente, verificaram que a

diferença no manejo apresentou diferenças significativas para os índices abordados. Com os índices das frações leves intra-agregado superaram aqueles das frações leves-livres.

Dias et al., (2009) descrevem que áreas de mata possuem a fração de ácido húmico com elevada quantidade de C-alifático, exibindo maior IH. Contudo não é MOS com alto grau de condensação, em razão do baixo valor de IC medido. Entretanto, nosso estudo para solos com textura arenosa apresentou menores valores de IH e maiores de IC sendo resultado da fácil degradação do c lábil pelos microrganismos em relação a ação a parte mais humificada da MOS implicando numa diminuição da atividade microbiana e menor agregação do solo (Capriel et al., 1995). Embora a capacidade de retenção de água do solo é comprometida pela baixa disponibilidade de frações orgânicas hidrofílicas (Ellerbrock et al., 2005).

Ao analisamos o processo de degradação e construção das SH ou qualquer composto orgânico verificamos um conjunto de processos dinâmicos e interligados. Na formação das substâncias polares são mais facilmente degradáveis quando comparadas com moléculas orgânicas apolares, sendo assim, materiais com alto grau de estabilização tendem a apresentar maior quantidade de substâncias apolares em sua constituição química.

Considerando que a parcela de material mais lábil é rapidamente consumida, logo, um maior índice de hidrofobicidade indica que o material em questão se encontra mais “estabilizado” do que as matrizes iniciais e compostadas, o inverso se observa para o índice de condensação, dados que corroboram com os demais resultados do trabalho fazendo um paralelo da textura de solo e sua influência sobre a MOS, (Tabela 5 e Tabela 2), verificamos os baixos valores de IH em relação a IC. Vale ressaltar que tais índices só trazem alguma informação se comparados entre as mesmas áreas variando apenas o tempo de análise e os processos de estabilização; áreas diferentes apresentam constituições químicas diferentes, o que acaba por impossibilitar uma comparação efetiva (Freixo et al., 2002; Dores-Silva et al., 2013).

#### **4. CONCLUSÕES**

Foi possível verificar pelos espectros relação das frações de MOP com AF e AH, enquanto MOM está relacionado com humina.

A avaliação da intensidade, distribuição e sobreposição das bandas pode-se verificar a relação na estrutura do solo com MO, SH e minerais, além do grau de humificação.

O uso das bandas do infravermelho para calcular os IH e IC, demonstra baixa degradação microbiana e humificação da MO do solo, especialmente nas camadas superficiais.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMBIENTE BRASIL,  
[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/unidades\\_de\\_conservacao/parques\\_nacionais/parque\\_nacional\\_de\\_catimbau.html](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/unidades_de_conservacao/parques_nacionais/parque_nacional_de_catimbau.html). Acessado em Maio de 2016.
- ANDERSON-TEIXERA, K.J., DAVIS, S.C., MASTER, M.D., DULUCIA, E.H. Changes in soil organic carbon under biofuel crops. **GCB Bioenergy**, v.1, p. 75-96. 2009.
- ARANDA, V., M.J. AYORA-CAÑADA, A. DOMÍNGUEZ-VIDAL, J.M. MARTÍN-GARCÍA, J. CALERO, R. DELGADO. Effect of soil type and management (organic vs. conventional) on soil organic matter quality in olive groves in a semi-arid environment in Sierra Mágina Natural Park (S Spain). **Geoderma**, 2011.
- ARAÚJO, A.E; KER, J.C; NEVES, J.C.L; LANI, J.L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**. v.5, n.1. 2012.
- ARTZ, R.R.E; CHAPMAN, S.J; ROBERTSON, A.H.J; POTTS, J.M; LAGGOUN-DEFARGE, F., GOGO, S; COMONT, L; DISNAR, J.R; FRANCEZ, A.J. FTIR spectroscopy can be used as a screening tool for organic matter quality in regenerating cut-over peatlands. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 40 (2), p. 515-527, 2008.
- BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. **Organic Geochemistry**, v. 31, n. 07/08, p. 697-710, 2000.

- BALESDENT, J.; CHENU, C.; BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and tillage**. v. 53, n. 3, p. 215-230, 2000.
- BAYER, C. et al. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **PlantSoil**, v. 238, n. 01, p. 133-140, 2002.
- BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.677-683, 2004.
- BENITES, V.M.; MADARI, B.; MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. **EMBRAPA Solos**, P. 7. 2003.
- BEZA, S; ASSEN, M.A. Soil carbon and nitrogen changes under a long period of sugarcane monoculture in the semi-arid East African Rift Valley, Ethiopia. **Journal of Arid Environments**, V.132, p. 34-41. 2016.
- BLAIR, G.J; LEFROY, R.D.B; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index, for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural**, v. 46. p. 1459-1466, 1995.
- BORNEMANN, L; WELP, G; AMELUNG, W. Particulate organic matter at the field scale: rapid acquisition using mid-infrared spectroscopy. **Soil Science Society of America Journal**. v. 74, p 4, P. 1147–1156. 2010.
- BOURDON, S., LAGGOUN-DE FARGE, F., DISNAR, J.-R., MAMAN, O., GUILLET, B., DERENNE, S., LARGEAU, C. Organic matter sources and early diagenetic degradation in a tropical peaty marsh (*Tritrivakely*, Madagascar). Implications for environmental reconstruction during the Sub-Atlantic. **Organic Geochemistry**. v. 31, p. 421–438. 2000.
- CALDERÓN, F. M; HADDIX, R; CONANT, K; MAGRINI-BAIR, E.; PAUL, A. Diffuse-Reflectance Fourier Transform Mid-Infrared Spectroscopy as a method of characterizing changes in soil organic matter. **Soil Science Society of America Journal**. v. 77, p. 1591–1600. 2013.



- CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic matter change across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v.56, p.777-783, 1992.
- CANELLAS, L.P. SANTOS, G.A. Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. UENF, P. 309. 20005
- CAPRIEL, P., BECK, T., BORCHERT, H., GRONHOLZ, J., ZACHMANN, G. Hydrophobicity of the organic-matter in arable soils. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 27, n. 11, P. 1453–1458. 1995.
- CELI, L; SCHNITZER, M; NEGRE, M. Analysis of carboxyl groups in soil humic acids by a wet chemical method, Fourier-transform infrared spectrophotometry, and solution-state carbon-13 nuclear magnetic resonance. **Soil Science**, V. 162 (3), P. 189–197. 1997.
- CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. *Adv. Soil Science*.v. 20. p. 1-90, 1992.
- composting of municipal solid waste: Properties and significance. **Acta Hydrochim. Hydrobiol**. V. 26. P. 172–179. 1998.
- CONTE, O.; WESP; C.L; ANGHINONI, I; CARVALHO, P.C.F; LEVIEN, R; NABINGER, C. Densidade, agregação e frações de carbono de um argissolo sob pastagem natural submetida a níveis de ofertas de forragem por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**,v. 35, p. 579-587, 2011.
- DIAS, B.O; SILVA, C.A; SOARES, E.M.B; BETTIOL, W; GUERREIRO, M.C; BELIZÁRIO, M.H. infravermelho na caracterização de ácidos húmicos de latossolo sob efeito de uso contínuo de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p. 885-894, 2009.
- DICK, D.P.; SANTOS, J.H.Z. & FERRANTI, E.M. Chemical characterization and infrared spectroscopy of soil organic matter from two Southern Brazilian soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 29-39, 2003.

- DIECKOW, J.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; ZANATTA, J.A.; MARTIN-NETO, L.; MILORI, D.M.B.P.; SALTON, J.C.; MACEDO, M.C.M.; MIELNICZUK, J. & HERNANI, L.C. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**. v. 60, p. 240-249, 2009.
- DORES-SILVA, P.R; LANDGRAF, M.D; REZENDE, M.O.O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química nova**. v. 36, n. 5, p. 640-645, 2013.
- ELLERBROCK, R.H., GERKE, H.H., BACHMANN, J., GOEBEL, J.-O. Composition of organic matter fractions for explaining wettability of three forest soils. **Soil Science Society of America Journal**. v. 69, p. 57–66. 2005
- EL-SAIED, H; EL-HADY, O.A; BASTA A.H; EL-DEWINY, C.Y; SALAH, A; ABO-SEDERA, A. Bio-chemical properties of sandy calcareous soil treated with rice straw-based hydrogels. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v. 15, p. 188–194, 2016.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Produção da Informação; Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2011.
- FERRARESI, T.M.; SILVA, W.T.L; MARTIN-NETO, L.; SILVEIRA, P.M.; MADARI, B.E. Espectroscopia de infravermelho na determinação da textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.1769-1777, 2012.
- FERRAZ, E. M. N.; RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B., PEREIRA, R. C. A. Composição florística em trechos de vegetação de Caatinga e brejo de altitude na região do Vale do Pajeú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 21, n. 1, p. 7-15, 1998.
- FONTANA, A.; BRITO, R.J; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BENITES, V. M. caracterização de substâncias húmicas da camada superficial do solo sob diferentes coberturas vegetais. **Magistra**. v. 22, n. 1, p. 49-56. 2011.

- FREIXO, A.A.; CANELLA, L.P. & MACHADO, P.L.O.A. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve-intra-agregado de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:445-453, 2002.
- GRIFFITHS, B.S., SPILLES, A., BONKOWSKI, M. C:N:P stoichiometry and nutrient limitation of the soil microbial biomass in a grazed grasslands site under experimental P limitation or excess. **Ecological Processes**, 2012
- GUARESCHI, R.F. Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de mata atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. Tese de Doutorado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Ciência do Solo. Seropédica, Rio de Janeiro, 95 pp. 2013
- HABERHAUER, G; RAFFERTY, B; STREBL, F; GERZABEK, M.H. Comparison of the composition of forest soil litter derived from three different sites at various decompositional stages using FTIR spectroscopy. **Geoderma**. v. 83. n. 3–4, p. 331–342. 1998.
- IBAMA. **Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite - PMDBBS**, 2009. Disponível em: <<http://siscom.ibama.gov.br/monitorabiomas/index.htm>>. Acesso em: 24 Novembro 2014.
- KALLENBACH, C; A.S. GRANDY. Controls over soil microbial biomass responses to carbon amendments in agricultural systems: A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v. 144, p. 241–252. 2011.
- LEHMANN, J., KINYANGI, J., SOLOMON, D. Organic matter stabilization in soil microaggregates: implications from spatial heterogeneity of organic carbon contents and carbon forms. **Biogeochemistry**. v. 85, n. 1, p. 45–57. 2007.
- MADARI, B.E; REEVES, J.B; MACHADO, P; GUIMARAES, C.M; TORRES, E; MCCARTY, G.W. Mid- and near-infrared spectroscopic assessment of soil compositional parameters and structural indices in two Ferralsols. **Geoderma**, v. 136. n. 1–2, p. 245–259. 2006.

- MADEJOVÁ J; KE KÉŠ J; PÁLKOVÁ, H; KOMADEL, P. Identification of components in smectite/kaolinite mixtures. **Clay Miner**, v. 37, p. 377–388. 2010.
- MARGENOT, A.J; CALDERÓN, F. J; BOWLES, M. T; PARIKH, S.J; JACKSON, L.E. Soil Organic Matter Functional Group Composition in Relation to Organic Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Fractions in Organically Managed Tomato Fields, **Soil Science Society of America Journal**, 2015.
- OGLE, S.M; BREIDT, F.J; PAUSTIAN, K. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. **Biogeochemistry**, v.72, p. 87-121. 2005.
- PARIKH, S.J.; K.W. GOYNE, A.J; MARGENOT, F.N.D; MUKOME; F.J. CALDERÓN. Soil chemical insights provided through vibrational spectroscopy. In: D.L. Sparks, editor, *Advances in Agronomy*. **Academic Press, Waltham**, p. 1-148. 2014.
- PRIMOS, D.C; MENEZES, T.O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**. V, 7. 2011.
- QUIDEAU, S.A., CHADWICK, O.A., BENESI, A., GRAHAM, R.C.A direct link between forest vegetation type and soil organic matter composition. **Geoderma**, v.104, p. 41-60, 2014.
- ROSSI, C.Q; PEREIRA, M.G; GIÁCOMO, S. G; BETTA, B; POLIDORO, J.C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p. 38-46, 2012.
- SANTOS, D.C; PILLON, C.N; FLORES, C.A; LIMA, C.L.R; CARDOSO, E.M.C; PEREIRA, B.F; MANGRICH, A.S. Agregação e frações físicas da matéria orgânica de um argissolo vermelho sob sistemas de uso no bioma pampa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35. P. 1735-1744, 2011.
- SILVA, C. F; LOSS, A; CARMO, É. R; DA SILVA, E. M. R; MARTINS, M. A. Fertilidade do solo e substâncias húmicas em área de cava de extração de argila

revegetada com eucalipto e leguminosas no norte fluminense. **Ciência Florestal**, v.25, n. 3, p.547-561. 2015.

SILVA, F. DE A. S; AZEVEDO, C. A. V. DE. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, **Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2009.

SILVA, RR; LUCENA, GN; MACHADO, AF; FREITAS, GA; MATOS, AT; ABRAHÃO, WAP. Caracterização espectroscópica e elementar de substâncias húmicas em substratos orgânicos. **AmazonSoil – Ciência do Solo da Amazônia Oriental**, p. 52-63. 2014

SOLOMON, D; J. LEHMANN, J; KINYANGI, W. AMELUNG, I; LOBE, A. PELL. Long-term impacts of anthropogenic perturbations on dynamics and speciation of organic carbon in tropical forest and subtropical grassland ecosystems. **GlobalChangeBiology**. v. 13, p. 511–530. 2007.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; ANDRIGUETI, M; CAO, E. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 33:1829-1836, 2009.

SPENCE, A; ROBINSON, C. Spectro-chemical analysis of the speciation of cadmium on montmorillonite in the presence of soil microbial biomass. **Procedia Environmental Sciences**, v.18, p. 114 – 126. 2013

STEVENSON, B.A, SARMAH A.K, SMERNIK, R, HUNTER, W.F.D, FRASER, S. Soil carbon characterization and nutrient ratios across land uses on two contrasting soils: Their relationships to microbial biomass and function. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 97, p. 50-60. 2016.

TIVET, F; SÁ MORAES, J. C; LAL, R; BASTOS, D. M; MILORI, P; BRIEDIS; LETOURMY, P; PINHEIRO, L.A; BORSZOWSKI, R. HARTMAN, D.C. Assessing humification and organic C compounds by laser-induced fluorescence

and FTIR spectroscopies under conventional and no-till management in Brazilian Oxisols. **Geoderma**, v.207–208, p. 71-81. 2013.

TOMAZI, M. Estabilidade da matéria orgânica em Latossolos do Cerrado sob sistemas de uso e manejo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008. 108p. (Tese de Doutorado)

VERGNOUX, A.; ROCCO, DI. R; DOMEIZEL, M; GUILIANO, M; THÉRAULAZ, F. Effects of forest fires on water extractable organic matter and humic substances from Mediterranean soils: UV–vis and fluorescence spectroscopy. **Geoderma**, v. 160, p. 434-443. 2011.

VEUM, K; K. GOYNE, R; KREMER, R. MILES; K. SUDDUTH. Biological indicators of soil quality and soil organic matter characteristics in an agricultural management continuum. **Biogeochemistry**, v. 117, p. 81–99. 2014.

VISCARRA-ROSSEL, R.A; WALVOORT, T.D.J.J;McBRATNEY, A.B; JANIK, L.J; SKJEMSTAD, J.O. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. **Geoderma**, v. 131, p.59-75, 2006.

WARNER, E., INMAN, D., KUNSTMAN, B., BUSH, B., VIMMERSTEDT, L., PETERSON, S., MACKNICK, J., ZHANG, Y. Modeling biofuel expansion effects on land use change dynamics. **Environmental Research Letters**, v.8, p. 1-11, 2013.

WEBSTER, K.L; WILSON, S.A; HAZLETT, P.W; FLEMING, R. L; MORRIS, D. M. Soil CO<sub>2</sub> efflux and net ecosystem exchange following biomass harvesting: Impacts of harvest intensity, residue retention and vegetation control. **Forest Ecology and Management**. V.360. P. 181–194. 2016.

WIESMEIER, M.; HÜBNER, R.; SPEORLEIN, P.; GEU, U.; HANGEN, E.; REISCHL, A; SCHILLING, B; VON LÜTZOW, M; KEOGEL-KNABNER, I. Carbon sequestration potential of soil in southeast Germany derived from stable soil organic carbon saturation. **Global Change Biology**, v. 20, p. 653-665, 2014.

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

ZANDONADI, D.B.; SANTOS, M.P.; BUSATO, J.G.; PERS, L.E.P.; FAÇANHA, A.R. Plant physiology as affected by humified organic matter. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 25, p. 12-25, 2013.