

POLLYANNA FERREIRA VILAR

**ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DE UM ARGISSOLO AMARELO CULTIVADO
COM ADUBOS VERDE E DE UM LATOSSOLO HÚMICO APÓS APLICAÇÃO
DE CALCÁRIO**

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
FEVEREIRO – 2013

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

**ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DE UM ARGISSOLO AMARELO CULTIVADO
COM ADUBOS VERDE E DE UM LATOSSOLO HÚMICO APÓS APLICAÇÃO
DE CALCÁRIO**

POLLYANNA FERREIRA VILAR

**SOB ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR
GUSTAVO PEREIRA DUDA**

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
FEVEREIRO - 2013

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

**ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DE UM ARGISSOLO AMARELO CULTIVADO
COM ADUBOS VERDE E DE UM LATOSSOLO HÚMICO APÓS APLICAÇÃO
DE CALCÁRIO**

POLLYANNA FERREIRA VILAR

GARANHUNS
PERNAMBUCO - BRASIL
FEVEREIRO - 2013

Ficha Catalográfica

Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Setorial UFRPE/UAG

V719a Vilar, Pollyanna Ferreira
Atributos bioquímicos de um argissolo amarelo
cultivado com adubos verde e de um latossolo húmico
após aplicação de calcário/ Pollyanna Ferreira Vilar
._Garanhuns, 2013.
109 f.

Orientador: Gustavo Pereira Duda
Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco-Unidade
Acadêmica de Garanhuns, 2013.

Inclui bibliografias

CDD: 631.4

1. Leguminosas
2. Leguminosas - indicadores biológicos
3. Ácidos orgânicos
- I. Duda, Gustavo Pereira
- II. Título

**ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DE UM ARGISSOLO AMARELO CULTIVADO
COM ADUBOS VERDE E DE UM LATOSSOLO HÚMICO APÓS APLICAÇÃO
DE CALCÁRIO**

POLLYANNA FERREIRA VILAR

APROVADO EM: 28 DE FEVEREIRO DE 2013



Dr. Karina Marie Kamimura



Dr. Rodrigo Gomes Pereira



Dr. Priscila V. Queiroz de Medeiros



Dr. Gustavo Pereira Duda (Orientador)

*Aos meus pais, Severino e Valdenize,
Aos meus irmãos Neto e Hermano,
Aos meus sobrinhos Arthur e Gabriella
e aos meus amigos e familiares.....*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me dado forças e iluminando meu caminho para que pudesse concluir mais esta etapa da minha vida.

Aos meus pais, pessoas as quais devo tudo. Pelo sustento e luta pela minha educação, por estarem sempre ao meu lado quando precisava, me apoiando e incentivando constantemente com dicas e conselhos. Pelo amor, carinho, compreensão e companheirismo.

Aos meus irmãos, amigos e familiares pelo carinho e pela compreensão nos momentos em que a dedicação aos estudos foi exclusiva.

Aos meus sobrinhos Arthur e Gabriella, por cada sorriso e carinho principalmente nos momentos em que mais precisei afastar o cansaço e o estresse.

À UAG-UFRPE e a CAPES pela concessão da bolsa de pós-graduação, apoio na realização das análises e aporte financeiro. Ao programa de Pós Graduação em Produção Agrícola na Unidade Acadêmica de Garanhuns e CENLAG, pela disponibilidade no uso de equipamentos e utensílios para realização das análises.

Ao Professor Gustavo Pereira Duda pela oportunidade, orientação, confiança, paciência e compreensão.

A todos os professores com os quais tive a oportunidade de adquirir conhecimentos, entre eles, Edilma Pereira, Érika Valente, Jeandson Viana, José Romualdo, Mácio Farias e Marcelo Metri.

Aos demais professores do Programa de Pós-graduação em Produção Agrícola, que por ventura eu tenha me esquecido de citar. Aos técnicos e demais funcionários da Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG-UFRPE), que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho.

Aos membros da banca Dra. Karina Marie Kamimura, Dra. Priscila Vanúbia Queiroz de Medeiros e Dr. Rodrigo Gomes Pereira pela contribuição com sugestões e críticas construtivas.

A Fazenda Alagoinha em nome dos seus proprietários Seu José Ivan, Dona Nega e Stenyo, que disponibilizaram a área para a realização do experimento.

Aos colegas do grupo de pesquisa, Aline Oliveira, Uemeson José e Raquel Barros, pela paciência, ajuda, companheirismo, amizade e colaboração na realização

deste trabalho, obrigada por tudo, sem vocês não teríamos obtido este resultado. Em especial a minha amigona Érica, por esta sempre ao meu lado me aguentando, aconselhando e incentivando, te adoro amiga, obrigada por tudo! A todos os meus amigos e companheiros: Karol, Clarissa, Camila, Cataliny, Patricia Maia, Sueli, Carol, Jamilly, Wendson, Junior, Alison, Jessica, Maria Rita e Luiz.

A todas as pessoas que por ventura não tenha sido citado, mas que de alguma forma me ajudaram, deixo aqui meu agradecimento.

BIOGRAFIA

POLLYANNA FERREIRA VILAR, filha de Severino Guedes Vilar e Valdenize Ferreira Vilar, nascida em 06 de Setembro de 1981, em Garanhuns-PE.

Em 2005, ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns – UAG/UFRPE, graduando-se em 2010. Em março de 2011 iniciou no curso de Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola na mesma Instituição, submetendo-se a defesa pública de dissertação em Fevereiro de 2013.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	13
INTRODUÇÃO GERAL	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

CAPITULO I

PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM LEGUMINOSAS UTILIZADAS COMO ADUBO VERDE EM ARGISSOLO AMARELO

RESUMO.....	22
ABSTRACT.....	23
1. INTRODUÇÃO.....	24
3.1. Massa verde e seca da parte aérea.....	30
3.2. Análise química do material vegetal.....	32
3.3. Química do solo	35
4. CONCLUSÕES.....	38
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

CAPITULO II

INDICADORES BIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE UM ARGISSOLO AMARELO CULTIVADO COM DIFERENTES ESPÉCIES DE LEGUMINOSAS

RESUMO.....	44
ABSTRACT.....	45
1. INTRODUÇÃO.....	46
2. MATERIAL E MÉTODOS	47
2.1. Descrição do experimento	47
2.2. Análise do solo	50
2.3. Análises Estatísticas	51

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
3.1. Indicadores biológicos do solo.....	52
3.2. Indicadores bioquímicos do solo	55
4. CONCLUSÕES	57
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

CAPITULO III

FRAÇÕES DE CARBONO OXIDÁVEIS E ÁCIDOS ORGÂNICOS DE BAIXO PESO MOLECULAR EM UM ARGISSOLO AMARELO CULTIVADO COM DIFERENTES ADUBOS VERDES

RESUMO.....	64
ABSTRACT.....	65
1. INTRODUÇÃO.....	66
2.1. Descrição do experimento	67
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
3.1. Frações de carbono oxidáveis	72
3.2. Ácidos orgânicos.....	76
4. CONCLUSÕES	80
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

CAPITULO IV

EFEITO DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO NOS ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS DE UM LATOSSOLO HÚMICO

RESUMO.....	87
ABSTRACT.....	88
1. INTRODUÇÃO.....	89
2. MATERIAIS E MÉTODOS	90

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
3.1. Química do solo.....	93
3.2. Indicadores biológicos	96
3.3. Ácidos orgânicos.....	100
4. CONCLUSÕES	104
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	104

RESUMO GERAL

O objetivo do trabalho foi avaliar as alterações bioquímicas ocorridas em um Argissolo Amarelo cultivado com adubos verdes e em um Latossolo Húmico após a aplicação de calcário. No experimento com adubo verde foi utilizado delineamento experimental de blocos ao acaso com esquema de parcela em faixa com 5 tratamentos (Crotalária; Soja perene; Guandu anão; Calopogônio e Vegetação espontânea) e 4 repetições. Foi realizada a caracterização química, atributos biológicos e bioquímicos, identificação e quantificação de ácidos orgânicos no solo após a aplicação dos tratamentos. O guandu anão apresentou as maiores produção de massa seca e verde, maior acumulo de N, P, K e C. A soja perene apresentou maiores teores de P e K. A crotalária apresentou maiores teores de N, e o guandu anão maiores teores de C em sua massa seca. Os adubos verdes apresentaram menor relação C/N. O carbono da biomassa microbiana apresentou maior valor no tratamento com feijão guandu anão (578,12 mg de C-CBM Kg⁻¹). A respiração basal microbiana foi influenciada com a utilização das leguminosas crotalária e soja perene. Os maiores teores de carbono orgânico total foram observados nos tratamentos com soja perene, calopogônio e crotalária. O tratamento que apresentou maior teor de carbono solúvel em água foi o guandu anão (109,34 mg de C Kg⁻¹ solo seco). A utilização de leguminosas promoveu o aumento da atividade enzimática no solo. O tratamento com feijão guandu contribuiu com o maior teor de fração leve livre da matéria orgânica. O tratamento com calopogônio foi o que obteve maior teor de C na fração F4, correspondendo a 34% do COT. O IMC foi maior no solo com cultivo com guandu anão, demonstrando que o resíduo vegetal desta leguminosa promoveu a manutenção dos estoques de carbono. Em todos os tratamentos foi observada apenas a presença do ácido acético, com maior concentração no solo após o cultivo da soja perene. No experimento com Latossolo foi utilizado delineamento experimental em bloco inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5, com 4 repetições, sendo o primeiro fator representado pelos tratamentos SC (sem aplicação de calcário) e CC (com aplicação de calcário), e o segundo fator os 5 períodos de avaliação (7, 14, 30, 45 e 60 dias). A dose de calcário nos tratamentos CC foi de 3,35 t ha⁻¹. Foi realizada a caracterização química, atributos biológicos, identificação e quantificação de ácidos orgânicos no solo após a aplicação dos tratamentos. A aplicação de calcário aumentou o pH do solo e os teores de cálcio, além de reduzir a acidez potencial do solo. O teor de fósforo foi maior no período de 30 dias após a aplicação de calcário (3,50 mg kg⁻¹). Os maiores teores de sódio foram observados no período de 60 dias, nos tratamentos com e sem a aplicação de calcário. O maior teor de nitrogênio foi obtido aos 45 dias após a aplicação de calcário. O teor do carbono da biomassa microbiana foi maior aos 7 dias no solo onde não houve a aplicação de calcário, com 383,68 mg de C-CBM Kg⁻¹. A maior quantidade de carbono orgânico total foi observada aos 14 dias no tratamento sem aplicação de calcário. A maior atividade respiratória foi observada no solo onde não houve a aplicação de calcário nos períodos de 30 e 60 dias. Para os tratamentos com a aplicação de calcário, foi detectada a presença do ácido acético em todos os períodos avaliados, apresentando o período de 30 dias a maior concentração, com 16,21 mg kg⁻¹. Apenas no período de 7 dias no tratamento sem aplicação de calcário foi observada a presença do ácido acético.

Palavras-chave: leguminosas, indicadores biológicos, ácidos orgânicos.

GENERAL ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the biochemical changes occurring in an Ultisol planted with green manure and an Oxisol Humic after liming. In the experiment with green manure was used randomized complete blocks with plot scheme on track with 5 treatments (Crotalaria; Soybean perennial; Guandu dwarf; Calopogonio and spontaneous vegetation) and 4 replications. We performed the chemical, biochemical and biological attributes, identification and quantification of organic acids in soil after application of the treatments. The dwarf pea had the highest dry matter production and green, higher accumulation of N, P, K and C. The perennial soybean showed higher levels of P and K. The sunnhemp higher concentrations of N, and dwarf pea higher C content in its dry mass. Green manures had lower C / N ratio. The microbial biomass carbon showed higher value in the treatment dwarf pigeonpea (578.12 mg kg CBM-C-1). The microbial respiration was influenced by the use of perennial legume sunn hemp and soy. The highest levels of total organic carbon were observed in treatments with perennial soybean, calopo and crude. The treatment showed the highest content of water-soluble carbon was the dwarf pigeonpea (109.34 mg kg-C 1solo dry). The use of legumes promoted the increased enzyme activity in the soil. Treatment with pigeonpea contributes to higher levels of free light fraction organic matter. Treatment with calopo was what had higher C content in fraction F4, corresponding to 34% of TOC. BMI was higher in the soil with cultivation of pigeonpea dwarf, demonstrating that this legume plant residue promoted the maintenance of carbon stocks. In all treatments was observed only the presence of acetic acid, with the highest concentration in the soil after cultivation of perennial soybean. In the experiment with dystrophic experimental design used was completely randomized block in a 2x5 factorial arrangement with four replications, with the first factor represented by the SC treatments (without liming) and CC (with lime application), and the second factor 5 evaluation periods (7, 14, 30, 45 and 60 days). The liming treatments CC was 3.35 t ha⁻¹. We performed the chemical, biological attributes, identification and quantification of organic acids in soil after application of the treatments. Liming increased soil pH and calcium, in addition to reducing the potential acidity of the soil. The phosphorus content was higher 30 days after the application of limestone (3.50 mg kg⁻¹). The highest levels of sodium were observed within 60 days in treatments with and without liming. The higher nitrogen content was obtained 45 days after lime application. The content of the microbial biomass was higher at 7 days in the ground where there was liming with 383.68 mg C kg-CBM-1. The largest amount of total organic carbon was observed at 14 days in water without liming. The higher respiratory activity was observed in the soil where no lime application in periods of 30 and 60 days. For treatments with lime application, detected the presence of acetic acid in all periods, with a period of 30 days at the highest concentration, with 16.21 mg kg⁻¹. Only in the period of 7 days in the treatment without lime application was observed the presence of acetic acid.

Keywords: legumes, biological indicators, organic acids.

INTRODUÇÃO GERAL

A preocupação com o avanço do processo de degradação dos solos brasileiros, aliada à baixa fertilidade natural, tem conduzido à necessidade do uso de práticas de adição de matéria orgânica ao solo, destacando-se a adubação verde. A utilização desta prática pode alterar significativamente as condições físicas, químicas e biológicas do solo no curto prazo, alterações estas que não seriam alcançadas somente com fertilizantes químicos (LOSS et al., 2009; ALCÂNTARA et al., 2000).

Várias espécies de plantas são cultivadas para fins de adubo verde, dentre elas se destacam as pertencentes à família das leguminosas, pelo fato de formarem associações simbióticas com bactérias fixadoras de nitrogênio, tornando esse nutriente disponível as culturas. Além disso, atua na mobilidade e disponibilidade de nutrientes, diminuição dos teores de alumínio, tendo papel na diversidade e dinâmica dos microrganismos (ALMEIDA et al., 2008; PERIN et al., 2004; FONTANETTI, et al., 2004).

Condições edafoclimáticas da região, manejo, características químicas do material e atuação dos microrganismos se encontram entre os fatores que estão relacionados com a decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos vegetais (PERIN et al., 2004).

Além da utilização de resíduos vegetais visando a disponibilidade de nutrientes e melhoria dos atributos biológicos, também se deve levar em consideração a acidez predominante no solo. A aplicação de calcário proporciona a elevação do pH do solo, aumentando os teores de Ca e Mg, influenciando na disponibilidade de outros nutrientes ao solo, acarretando no aumento da produção de fitomassa das culturas levando a uma maior adição de matéria orgânica, incrementando assim a atividade microbiana e a estabilidade dos agregados (ALBUQUERQUE et al., 2003). Condições favoráveis de umidade e temperatura, juntamente com maiores teores de matéria orgânica, favorecem a maior atividade microbiana, com possíveis reflexos do efeito da calagem nos solos (COSTA et al., 2004).

A microbiota de um solo é considerada a principal responsável pela decomposição dos compostos orgânicos, ciclagem de nutrientes, fluxo de energia do solo e estocagem de carbono. O carbono da biomassa microbiana (CBM) e sua atividade têm sido apontados como a característica mais sensível as alterações na

qualidade do solo, causadas, por exemplo, pela utilização da adubação verde (DEBOSZ et al., 2002; TRANNIN et al., 2007; GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008). Segundo Pavanelli e Araújo (2010), a biomassa microbiana é a fração viva da matéria orgânica do solo e contém de 1 a 4% de carbono e de 3 a 5% de nitrogênio, representando um reservatório de nutrientes para as plantas.

Além da avaliação do CBM para determinação da qualidade do solo, outros indicadores biológicos devem ser considerados para uma resposta mais precisa, sendo eles: a respiração basal microbiana (RBM) e a atividade enzimática (MATSUOKA et al., 2003). A atividade enzimática indica mudanças ocorridas na microbiota do solo sem, entretanto, relacioná-las a algum grupo específico de organismo (MATSUOKA et al., 2003; ANDRADE e SILVEIRA, 2004). Já a RBM representa a quantidade de carbono liberado, estando este carbono na forma lábil ou prontamente metabolizável do solo (CUNHA et al., 2012).

Através da deposição de resíduos de plantas é possível aumentar a quantidade de matéria orgânica no solo, juntamente com formas de carbono solúveis, sendo os mesmos quantificados pelos teores de carbono orgânico total (COT) e carbono solúvel em água (CSA), respectivamente (MENDONÇA e MATOS, 2005; PORTUGAL et al., 2008). O COT pode ser estratificado em quatro frações, de acordo com graus decrescentes de oxidação, estando estas frações associadas com a disponibilidade de nutrientes, formação de macroagregados e compostos com maior estabilidade química (LOSS et al., 2009; MAIA et al., 2007; RANGEL et al., 2008; GUARESCHI et al., 2012).

Considerados uma fonte lábil de carbono, os ácidos orgânicos são produtos provenientes dos exsudados radiculares e da atuação dos microrganismos, atuando no fornecimento de nutrientes para o solo (SOUZA E CARVALHO, 2001; SILVA et al., 2002). Dentre os mais comuns destacam-se: acético, fórmico, cítrico, oxálico, glucônico, láctico e malato (GUPPY et al., 2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações bioquímicas ocorridas em um Argissolo Amarelo cultivado com adubos verdes e em um Latossolo Húmico após a aplicação de calcário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 27, p.799-806, 2003.

ALCÂNTARA, F. A. de; FERREIRA NETO, A. E.; PAULA, M. B. de; MESQUITA, H. A. de; MUNIZ, J. A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um latossolo vermelho escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 277-288, fev. 2000.

ALMEIDA, M. C.; TRINDADE, A. V.; MAIA, I. C. S.; MARQUES, M. C. Influências dos diferentes sistema de manejo no comportamento da microbiota do solo em áreas sob cultivo de mamão na região de Cruz das Almas, BA. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, p. 67-75, 2008.

ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D. Biomassa e atividade microbianas do solo sob influência de chumbo e da rizosfera da soja micorrizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1191-1198, 2004.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; FONTOURA, S. M. V. Calagem e as propriedades eletroquímicas e físicas de um latossolo em plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, p.281-284, 2004.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A.D.;& MOREIRA, J.A.A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.56-63, 2012.

DEBOSZ, K.; PETERSEN, S. O.; KURE, L.K.; AMBUS, P. Evaluating effects of sewage sludge and household compost on soil physical, chemical and microbiological properties. **Applied Soil Ecology**, v.19, p. 237-248, 2002.

FONTANÉTTI, A.; CARVALHO, G. J.; MORAIS, A. R.; ALMEIDA, K.; DUARTE, W. F. Adubação verde no controle de plantas invasoras nas culturas de alface americana e de repolho. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, p. 967- 973, 2004.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa Microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 2008. Cap. 11, p. 159-170.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Oxidizable carbon fractions in Red Latosol under different management systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, p.242-250, 2012.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W.; BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, v.43, p.189-202, 2005.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; FERREIRA, E. P.; SANTOS, L. L.; BEUTLER, S. J.; JUNIOR, A. S. L. F. Frações oxidáveis do carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistema de Aleias. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.33, p.867-874, 2009.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S. O.; MENDONÇA, E. S.; FILHO, J. A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 71, p.127-138, 2007.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.425-433, 2003.

MENDONÇA, E.S. e MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107 p.

PAVANELLI, L.; ARAUJO, F. F. Parâmetros químicos e biológicos indicadores de qualidade de solo sob cultivo de braquiárias e soja no oeste paulista. **Revista Ceres**, vol.57, n.1, pp. 118-124, 2010.

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; ZONTA, E. Cobertura do solo e estoque de nutrientes de duas leguminosas perenes, considerando espaçamentos e densidades de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.28, pp. 207-213, 2004.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2091-2100, 2008.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARAES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência e agrotecnologia**, vol.32, n.2, p. 429-437, 2008

SILVA, F. A. M. S.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P.T.G.; GODINHO, A.; MALTA, M. R. Determinação de ácidos orgânicos de baixo peso Molecular na rizosfera de cafeeiro por Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). **Ciência e agrotecnologia**, Edição Especial, p.1391-1395, 2002.

SOUZA, R.S.; CARVALHO, L. R. F. Origem e implicações dos ácidos carboxílicos na atmosfera. **Química Nova**, v. 24, p.60-67, 2001.

TRANNIN, I.C. de B.; SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M. de S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de biossólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira do de Ciência Solo**, v.31, p.1173-1184, 2007.

CAPITULO I**PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM
LEGUMINOSAS UTILIZADAS COMO ADUBO VERDE EM ARGISSOLO
AMARELO**

RESUMO

A adubação verde é uma prática de manejo agrícola em que as plantas são cultivadas e o resto vegetal dessas plantas pode ser incorporado ou não ao solo, em rotação, sucessão ou consorciação com as culturas, contribuindo com a melhoria dos seus atributos químicos, físicos e biológicos. O objetivo foi avaliar o desempenho de leguminosas na produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes na parte aérea e disponibilidade de nutrientes ao solo. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 5 tratamentos: Crotalária (*Crotalaria spectabilis*); Soja perene (*Neonotonia wightii*); Guandu anão (*Cajanus cajan*); Calopogônio (*Calopogonio mucunoides*) e Vegetação espontânea. A coleta do material vegetal foi realizada 180 dias após a semeadura das leguminosas e a coleta do solo 90 dias após o corte das leguminosas. Foi observada a produtividade de massa seca e verde das leguminosas, além das análises química do material vegetal e do solo. O guandu anão apresentou as maiores produção de massa seca e verde, com 106,82 e 26,93 t ha⁻¹. A soja perene apresentou maiores teores de P e K em sua massa seca, com 2,73 e 24,58 g kg⁻¹. A crotalária apresentou maiores teores de N, com 25,58 g kg⁻¹, e o guandu anão maiores teores de C, com 435,00 g kg⁻¹ em sua massa seca. O guandu anão foi a leguminosa que acumulou maiores teores de N, P, K e C. Os adubos verdes apresentaram menor relação C/N comparadas à vegetação espontânea, sendo a menor relação observada na crotalária (5,62). No tratamento com calopogônio foi observado maior teor de P no solo, porém esse tratamento foi o que apresentou menores teores de N no solo. Os maiores teores de carbono no solo foram observados no tratamento com soja perene.

Palavra-chave: massa seca, teor, decomposição.

ABSTRACT

Green manure is a crop management practice in which plants are grown and the rest of these vegetable plants can be incorporated into the soil or not, in rotation, succession or intercropping with crops, been contributing to the improvement of their chemical properties, physical and biological. The objective was to evaluate the performance of legumes in biomass production, nutrient accumulation in shoots and availability of nutrients to the soil. The experimental design was a randomized block with 5 treatments: Crotalaria (*Crotalaria spectabilis*), Soybean (*Neonotonia wightii*); Guandu dwarf (*Cajanus cajan*); Calopogônio (*Calopogonio mucunoides*) and spontaneous vegetation. The collection of the plant material was performed 180 days after sowing of legumes and collecting soil 90 days after cutting the vegetables. We observed the production of dry mass and green legumes, and chemical analysis of the plant material and soil. The dwarf pea had the highest dry matter production and green, with 106,82 and 26.93 t ha⁻¹. The perennial soybean had higher levels of P and K in his dry, with 2,73 and 24,58 g kg⁻¹. The sunn showed higher levels of N, with 25.58 g kg⁻¹, and dwarf pea higher levels of C, with 435,00 g kg⁻¹ dry mass in her. The dwarf pea legume that was accumulated higher levels of N, P, K and C. The green manure had lower C / N ratio compared to spontaneous vegetation, with the smallest ratio observed in Crotalaria (5,62). Treatment with calopogonio was observed higher P content in the soil, but this treatment showed the lowest levels of N in the soil. The highest levels were observed in the carbon treatment with perennial soybean.

Key word: dry matter, content, decomposition.

1. INTRODUÇÃO

A adubação verde é uma prática de manejo agrícola em que as plantas são cultivadas e o resto vegetal dessas plantas pode ser incorporado ou não ao solo, em rotação, sucessão ou consorciação com as culturas, contribuindo com a melhoria dos seus atributos químicos, físicos e biológicos (ALCÂNTARA et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2010). A magnitude em que a cultura utilizada como adubo verde contribui para aumentar o metabolismo dos seus resíduos deixados na superfície do solo depende da relação C/N, composição e quantidade de seus restos culturais (LANNA et al., 2010).

As leguminosas são muito utilizadas como adubo verde por apresentarem uma rápida decomposição dos resíduos vegetais, provocada pela relação C/N inferior a 20, além de promoverem a incorporação de nitrogênio, o qual é fixado através da associação simbiótica de suas raízes com bactérias fixadoras de nitrogênio (ROSOLEM et al., 2003). Além do seu efeito na produtividade das culturas comerciais, o uso das leguminosas para a cobertura do solo pode, potencialmente, resultar na melhoria da qualidade ambiental em comparação a sistemas tradicionais, devido ao fato de promover o aumento no teor de matéria orgânica do solo, promovendo a diversidade e dinamismo da atividade dos microrganismos (ALCÂNTARA et al., 2000; AMABILE et al., 2000; AMADO et al., 2001)

A partir do uso da adubação verde tem se observado uma tendência no acúmulo de nutrientes, especialmente de cálcio, magnésio, potássio e fósforo nas camadas mais superficiais do solo, visto que, verifica-se um acúmulo de nutrientes no tecido das plantas cultivadas, com posterior decomposição e liberação desses nutrientes nas camadas superficiais (PAVINATO e ROSOLEM, 2008; FRANCHINI et al., 1999). A adição de resíduos vegetais, além de liberarem gradativamente nutrientes ao solo, também promovem a redução de processos como lixiviação, fixação e volatilização de nutrientes, isso a depender da taxa de decomposição, a qual é controlada pelas condições edafoclimáticas e composição química do material vegetal utilizado (SILVA et al., 2009).

Neste contexto, para avaliar a eficiência de uma planta a ser utilizada como adubação verde deve-se observar se a mesma produz grande quantidade de biomassa e se recicla elevada quantidade de nutrientes. A maior produtividade de biomassa verde

promove aumento na cobertura do solo e, em contrapartida, também maior teor de matéria orgânica, proporcionando benefícios como maior infiltração e armazenamento de água no solo, drenagem, aeração e interferência direta na resistência mecânica do solo (SUZUKI e ALVES, 2006; CAVALCANTE et al., 2012). Diante disto, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de leguminosas na produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes na parte aérea e disponibilidade de nutrientes ao solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição do experimento

O trabalho foi conduzido na Fazenda Alagoinha, pertencente a um agricultor familiar no Município de Brejão – Pernambuco (09° 01' 49'' S e 36° 34' 07'' W), o qual possui, pela classificação de Köppen, um clima As (tropical chuvoso, com verão seco). O solo da área é um Argissolo Amarelo (coeso distrófico) conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2006), que era mantido sob cultivo de pastagem. Foram coletadas amostras de solo para realização da análise química antes da instalação do experimento, sendo a mesma realizada de acordo com metodologia da Embrapa (2009), o qual apresentou as seguintes características químicas: pH em água (5,75), P (0,35 mg kg⁻¹), K (0,14 cmol_c dm⁻³), Mg (1,9 cmol_c dm⁻³), Na (0,01 cmol_c dm⁻³), Ca (1,1 cmol_c dm⁻³), Al (0,05 cmol_c dm⁻³), H+Al (1,32 cmol_c dm⁻³), soma de bases (3,13 cmol_c dm⁻³), capacidade de troca catiônica (4,47 cmol_c dm⁻³) e saturação por bases (70,3%).

No período de julho de 2010 a agosto de 2011, foi instalado na área um experimento com plantas de pinhão-manso consorciadas com girassol e leguminosas, sendo estas leguminosas utilizadas como adubo verde. O pinhão manso foi semeado no espaçamento de 2m x 1m e o girassol no espaçamento de 1m x 0,4m intercaladas com os tratamentos constituídos pelas leguminosas, as quais foram plantadas em quatro sulcos de 4 m, com distância de 0,5 m entre si. Neste primeiro ensaio foram realizadas avaliações nas plantas de girassol e leguminosas, bem como nos solos das áreas onde as mesmas foram cultivadas. Após a retirada das plantas de girassol e leguminosas foi realizada uma limpeza geral da área experimental, deixando apenas as plantas de

pinhão-manso, sendo então semeadas novamente as leguminosas, mantendo cada espécie nas áreas onde haviam sido cultivadas anteriormente. Este novo ensaio experimental, caracterizado pela consorciação entre as plantas de pinhão manso e leguminosas, serviram de avaliação para o presente trabalho, o qual ocorreu durante o período de agosto de 2011 a maio de 2012.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com esquema de parcela em faixa com 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 parcelas. Os tratamentos foram: Crotalária (*Crotalaria spectabilis*); Soja perene (*Neonotonia wightii*); Guandu anão (*Cajanus cajan*); Calopogônio (*Calopogonio mucunoides*) e Vegetação espontânea (Figura 1).

As leguminosas foram plantadas nas entrelinhas do pinhão-manso, em quatro fileiras com 4 m de comprimento cada uma, em sulcos de aproximadamente 1 cm de profundidade, com taxas de sementes descritas na Tabela 1. Cada parcela tinha uma área de 20 m², sendo constituídas por três fileiras de pinhão manso com 5 plantas cada uma e 8 fileiras com leguminosas.

Tabela 1. Densidade de sementeira para as espécies de coberturas utilizadas nos experimentos. Brejão – PE, 2011.

ESPÉCIES	NC	DENS (kg ha ⁻¹)	HC
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu Anão	35	Anual
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calopogônio	10	Perene
<i>Crotalaria spectabilis</i>	Crotalária	15	Anual
<i>Neonotonia wightii</i>	Soja Perene	6	Perene

* Fonte: Piraí Sementes. (2012). NC= Nome Comum, DENS.= densidade, HC= Hábito de Crescimento.

A coleta do material vegetal foi realizada 180 dias após o plantio das leguminosas, utilizando um quadrado vazado com dimensões de 0,2 x 0,2 m (0,04 m²), jogado na parcela útil. Foi observada na área de vegetação espontânea a predominância de picão roxo (*Ageratum conyzoides* L.), capim alho (*Cyperus rotundus*) e carrapicho (*Cenchrus echinatus*).

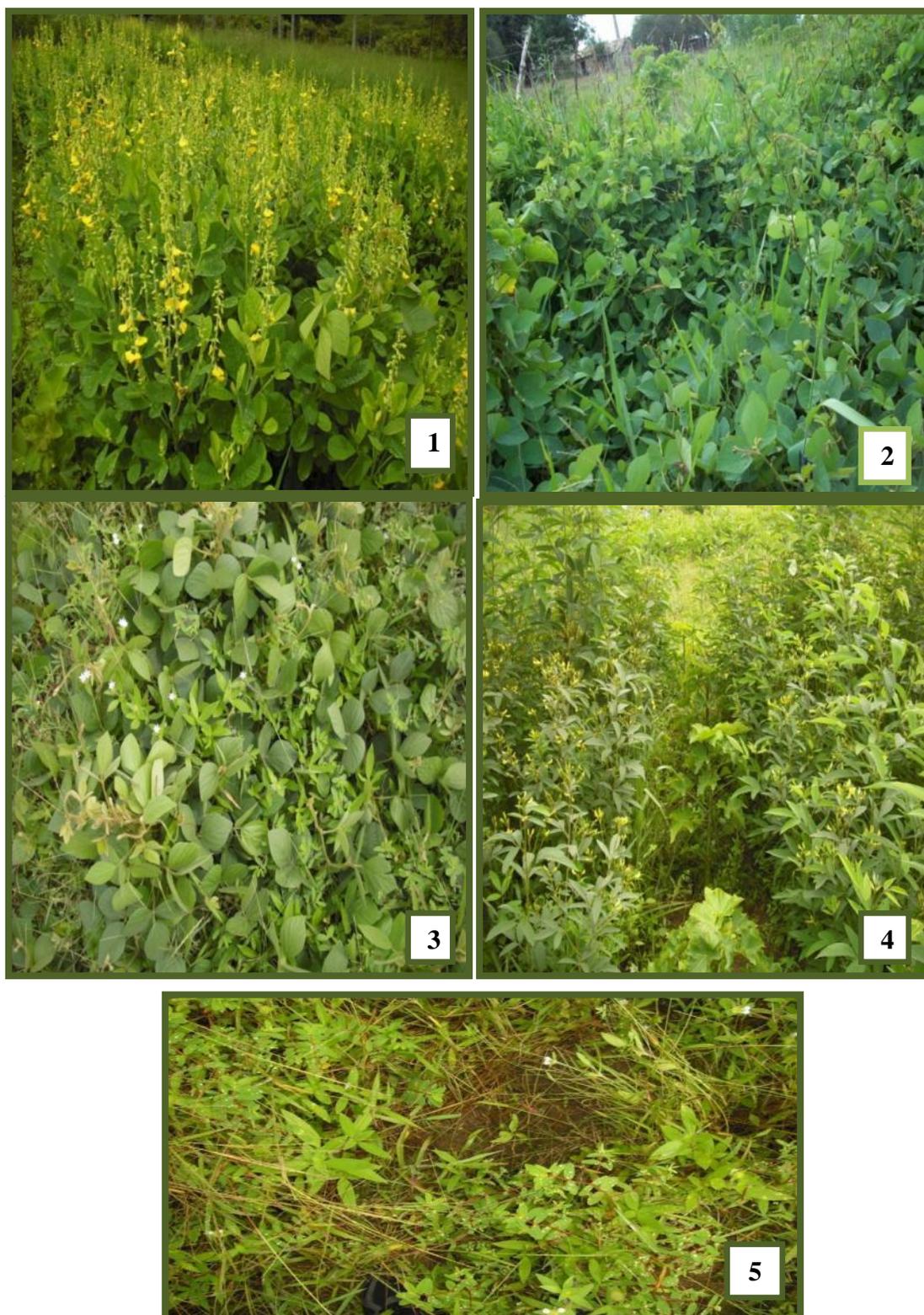


Figura 1. Leguminosas utilizadas como adubo verde em Argissolo Amarelo no município de Brejão – PE, 2012. 1. Crotalária; 2. Soja Perene; 3. Calopogônio; 4. Guandu Anão e 5. Vegetação Espontânea.

A coleta do material vegetal foi realizada 180 dias após o plantio das leguminosas, utilizando um quadrado vazado com dimensões de 0,2 x 0,2 m (0,04 m²), jogado na parcela útil. Foi observada na área de vegetação espontânea a predominância de picão roxo (*Ageratum conyzoides* L.), capim alho (*Cyperus rotundus*) e carrapicho (*Cenchrus echinatus*).

As amostras de material vegetal foram identificadas e pesadas para a determinação da massa fresca e, em seguida, foram colocadas em saco de papel tipo craft e colocadas para secar em estufa de circulação de ar forçado, a uma temperatura de 65° C até peso constante, obtendo-se assim o peso seco das leguminosas. Após a determinação do peso seco, as amostras foram moídas em moinho tipo Wiley com peneira de 20 mesh e armazenadas para posterior análise.

No mesmo dia em que foi coletado o material vegetal, as leguminosas foram cortadas rente ao solo e deixadas sob a superfície de cada parcela (Figura 2). Decorridos três meses, foram realizadas amostragens de solos na profundidade de 0-10 cm em cada parcela. Duas sub-amostras foram coletadas em cada parcela e uniformizadas, formando uma amostra composta, por parcela, sendo o solo seco e peneirado (peneira com malha de 2 mm) para serem realizadas as análises. Foram analisadas a produção de massa seca e verde da parte aérea das leguminosas, os teores dos nutrientes da planta e a química do solo após a deposição das leguminosas na superfície do solo. As análises foram realizadas no CENLAG (Centro de Laboratórios de Garanhuns) localizado na UAG/UFRPE.



Figura 2. Leguminosas deixadas na superfície do solo. Brejão – PE, 2012.

2.2. Análise do material vegetal

Para realização da análise química do material vegetal, foi pesado 200 mg do material vegetal que foi seco e moído, sendo o mesmo colocado em tubos de teflon PFA (perfluoro alquóxi etileno), onde passaram por digestão úmida com aquecimento por micro-ondas (marca CEM Mars-Xpress). As amostras foram digeridas com a mistura de 5 mL de ácido nítrico (70%) e 3 mL de peróxido de hidrogênio (30%), seguindo uma programação de aquecimento proposta por Almeida (2007). Posteriormente a digestão, as amostras foram aferidas com água destilada em um balão volumétrico de 25 mL

O fósforo foi determinado por colorimetria, no comprimento de onda de 725nm e o sódio e potássio dosados por fotometria de chama (EMBRAPA, 2009).

O nitrogênio (N) e carbono total (C) foram determinados via combustão a uma temperatura de 925° C em analisador elementar CHNS-O (Perkin Elmer PE-2400). Para realização da análise foi utilizado de 2 a 3 mg do material vegetal que já se encontrava previamente seco e moído, sendo o mesmo pesado em microbalança acoplada ao equipamento. O padrão de referência utilizado foi a acetonitrila (C= 71,09%, H= 6,71%, N= 10,36%) sendo o equipamento padronizado numa razão de um padrão a cada vinte amostras (EMBRAPA, 2009).

2.3. Análise química do solo

As análises químicas realizadas foram: pH, fósforo (P), potássio (K), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), carbono total (C) e nitrogênio total (N).

O pH foi determinado em água (1:2,5). O P, Na e K foram extraído Mehlich 1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹), sendo o P determinado por colorimetria (comprimento de onda 725 mm) o K por fotometria de chama. O Al foi extraído com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e a H+Al com CH₃COO₂Ca 0,5 mol L⁻¹, sendo determinados por titulometria com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹. As análises laboratoriais foram realizadas de acordo com Embrapa (2009).

O nitrogênio (N) e carbono (C) total foram determinados via combustão a uma temperatura de 925° C em analisador elementar CHNS-O (Perkin Elmer PE-2400). Para realização da análise foi utilizado de 2 a 3 mg do solo, que já se encontrava previamente

seco e peneirado, sendo o mesmo pesado em microbalança de precisão acoplada ao equipamento. O padrão de referência utilizado foi a acetonitrila (C= 71,09%, H= 6,71%, N= 10,36%) sendo o equipamento padronizado numa razão de um padrão a cada vinte amostras.

2.4. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias dos dados separados pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade. As análises foram realizadas pelo programa computacional Sistema para Análise de Variância - SISVAR (FERREIRA, 2000).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Massa verde e seca da parte aérea

Os rendimentos de massa verde e seca das espécies estudadas foram diferentes entre si, como pode ser observado na tabela 2. O tratamento com guandu anão apresentou valor significativamente superior quando comparado com os demais tratamentos, onde o mesmo obteve valor de massa verde de 106,82 t ha⁻¹. Suzuki e Alves (2006) obtiveram valores semelhantes de massa verde de crotalária, na região de Selvíria (MS), o qual obteve uma produtividade de 46,00 t ha⁻¹.

Tabela 2. Massa verde e seca das leguminosas utilizadas como adubos verdes em Argissolo Amarelo. Brejão – PE, 2012.

Tratamentos	Massa verde	Massa seca
	t ha ⁻¹	
Crotalária	45,71 b	12,09 b
Soja Perene	10,24 c	3,16 d
Guandu Anão	106,82 a	26,93 a
Calopogônio	10,55 c	4,72 c
Vegetação espontânea	10,77 c	3,54 d
CV (%)	3,77	3,54

*Valores seguidos de letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-Knott (p < 0,05).

Nos tratamentos com soja perene, calopogônio e vegetação espontânea foram observados os menores valores de rendimento de massa verde, onde os mesmos apresentaram, respectivamente, 10,24; 10,55 e 10,77 t ha⁻¹ e não diferiram estatisticamente entre si. O fato da soja perene e calopogônio não terem diferido estatisticamente da vegetação espontânea com relação à massa verde pode ser pelo motivo das espécies locais apresentarem maior adaptação às condições do ambiente. Outro fator é que, as leguminosas foram semeadas nas linhas enquanto que a vegetação espontânea se desenvolveu de forma natural, ocupando toda a área útil.

O guandu anão também foi a leguminosa que apresentou os maiores valores de massa seca, diferindo estatisticamente de todos os outros tratamentos, obtendo um valor de 26,93 t ha⁻¹ de massa seca. A leguminosa que obteve a segunda maior massa seca foi a crotalária, com 12,09 t ha⁻¹, seguida do calopogônio, o qual apresentou uma massa seca cinco vezes menor quando comparado com o guandu anão. Os tratamentos que apresentaram as menores produtividades de massa seca foram a soja perene (3,16 t ha⁻¹) e a vegetação espontânea (3,54 t ha⁻¹), não diferindo estatisticamente entre si. Suzuki e Alves (2006), ao verificarem a produção de massa verde e seca da mucuna-preta, milho, crotalária, feijão guandu e vegetação espontânea, observaram uma maior produção de massa seca com a crotalária, resultado este que difere do presente trabalho.

O guandu anão apresentou os maiores rendimentos de massa verde e seca quando comparado aos demais tratamentos, podendo isto ter ocorrido devido ao fato do mesmo possuir um hábito de crescimento arbustivo e apresentar maior porte, obtendo, conseqüentemente, maior massa verde. A crotalária, mesmo apresentando também a característica de crescimento arbustivo, obteve rendimento de massa verde e seca inferiores ao guandu anão, podendo esse fato estar relacionado a uma maior adaptabilidade do guandu anão às condições edafoclimáticas da região na qual foi realizado o presente estudo.

A produtividade de massa seca e verde é muito influenciada pelas condições edafoclimáticas de cada região e pelo manejo dado às culturas em desenvolvimento. Como exemplos de variações nas produtividades de massa verde e seca de acordo com cada região pode-se citar a produtividade obtida no Vale do Submédio São Francisco, região semiárida de Pernambuco, por Silva et al. (2005), onde os autores observaram valores de 3,47 t ha⁻¹, 5,4 t ha⁻¹ e 2,65 t ha⁻¹ para as espécies calopogônio, crotalária e

guandu anão, respectivamente. Cavalcante et al. (2012), observaram uma massa seca de 7,2 t ha⁻¹, 2,5 t ha⁻¹ e 4,0 t ha⁻¹ para vegetação espontânea, crotalária e guandu anão, respectivamente, na região agreste alagoano. Já Teodoro et al. (2011), na região de caatinga de Minas Gerais, obtiveram para espécie calopogônio uma produtividade de 2,71 t. ha⁻¹ de massa seca.

3.2. Análise química do material vegetal

Na Tabela 3 encontram-se os teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), e carbono (C), da parte aérea das leguminosas e da vegetação espontânea, onde houve diferença significativa para os teores avaliados nos diferentes adubos verdes.

Tabela 3. Teor de nutrientes na parte aérea de leguminosas utilizadas como adubação verdes em Argissolo Amarelo. Brejão – PE, 2012.

Tratamentos	N	P	K	C
	-----g kg ⁻¹ -----			
Crotalária	75,25 a	1,98 c	20,59 c	427,37 d
Soja Perene	27,00 d	2,73 a	24,58 a	435,00 c
Guandu Anão	34,75 c	2,23 b	14,71 d	469,75 a
Calopogônio	56,50 b	2,35 b	22,17 b	450,60 b
Vegetação espontânea	15,60 e	2,39 b	15,88 d	420,95 e
CV (%)	7,90	7,80	4,20	0,91

*Valores seguidos de letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Para os teores de N, os valores encontrados nas leguminosas foram superiores ao da vegetação espontânea, o que comprova a importância das leguminosas em fixar N atmosférico, resultado este semelhante aos obtidos por Silva et al. (2002); Duarte Júnior e Coelho (2008); Silva et al. (2009) e Teixeira et al., (2005). A espécie que se destacou foi a crotalária, com 75,25 g kg⁻¹, diferindo dos demais tratamentos. O guandu anão, mesmo não se destacando com relação aos valores N em sua massa seca, pode vim a disponibilizar esse nutriente em maior quantidade devido ao fato de ter apresentado maior massa seca (26,93 t ha⁻¹). Entre as leguminosas, a que apresentou o menor teor de N foi a soja perene, com 27,00 g kg⁻¹.

Em relação ao P, nota-se que a soja perene foi a leguminosa que apresentou maiores teores quando relacionada às demais leguminosas, demonstrando a capacidade dessa espécie em incorporar teores significativos desse nutriente. O guandu anão e o

calopogônio não diferiram com relação ao tratamento controle. A crotalária foi a espécie que apresentou o menor teor de P.

Verifica-se na tabela 2 que o teor de K na soja perene foi maior em relação às outras espécies estudadas, apresentando média de 24,58 g kg⁻¹, apesar de esta espécie ter apresentado baixa quantidade de matéria seca em relação às demais leguminosas.

Houve diferença entre todos os tratamentos com relação ao teor de C nas plantas, sendo observados maiores teores no guandu anão (469,75), podendo estar relacionado com a maior produtividade de massa seca desta cultura. O calopogônio apresentou o segundo maior teor de C, com 450,60 g kg⁻¹, seguido pela soja perene (435,00), crotalária (427,37) e vegetação espontânea (420,95).

A grande variação dos teores dos nutrientes das leguminosas sofre interferência da fertilidade do solo, pois a eficiência da reciclagem de nutrientes das plantas de cobertura depende da fertilidade e do manejo dado ao solo antes do cultivo das mesmas. Outro fator que também interfere na disponibilidade de nutrientes das plantas ao solo tem haver com época na qual o material vegetal será cortado e incorporado, sendo a melhor fase quando as plantas estão no florescimento (CAVALCANTE et al., 2012; SUZUKI et al., 2008).

A taxa de liberação de N e do C está intimamente relacionada, tendo a relação C/N grande contribuição na regulação do processo de decomposição da biomassa vegetal, onde baixa relação C/N implica na rápida decomposição dos tecidos das plantas (COSTA et al., 2008). Diante disso, pode-se afirmar que, dentre as leguminosas estudadas, a crotalária é a que apresenta uma decomposição mais rápida, devido ao fato de ter apresentando a menor relação C/N (5,62) (Figura 3), seguida pelo tratamento com calopogônio, o qual apresentou relação C/N de 8,00. O guandu anão e a soja perene apresentaram as relações C/N mais altas, 13,66 e 16,11, respectivamente, favorecendo assim a deposição de resíduos de degradação mais lenta. Segundo Ceretta et al. (2002), condições onde ocorre um acúmulo de resíduo com relação C/N alta tenderá a ocorrer uma redução na disponibilidade de N, devido a uma decomposição mais lenta da sua biomassa.

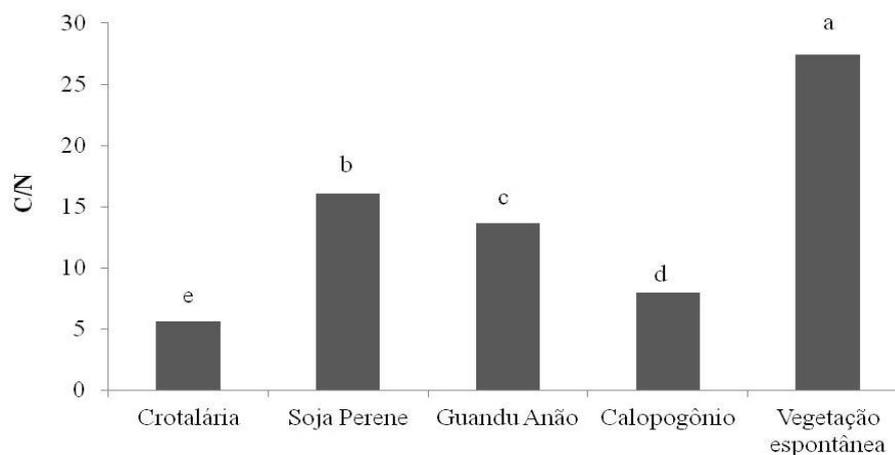


Figura 3. Relação C/N de leguminosas utilizadas como adubação verde em Argissolo Amarelo. *Valores seguidos de letras iguais, na mesma data, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Os teores dos nutrientes têm sido utilizados como indicadores do estado nutricional da planta, podendo-se, com eles e com a massa seca, calcular-se a eficiência nutricional das espécies de leguminosas utilizadas como adubo verde.

Encontram-se dispostos na tabela 4 os conteúdos dos nutrientes da parte aérea das espécies estudadas. De acordo com os mesmos, observa-se que a crotalária e o guandu anão não apresentaram diferença estatística com relação ao conteúdo de N, se destacando quando comparados aos demais tratamentos. Os maiores acúmulos de N nestes tratamentos pode ser atribuído ao fato dos mesmos também terem apresentado os maiores rendimentos de massa seca, fato este que corrobora com os observados por Favero et al. (2000), ao avaliar o crescimento e o acúmulo de nutrientes pela parte aérea de leguminosas utilizadas como adubos verdes.

O tratamento com guandu anão foi o que apresentou os maiores conteúdos de P, K e C, em comparação com os demais tratamentos. Segundo Faria et al. (2004), o desempenho do guandu anão em extrair maior quantidade de nutrientes é devido ao fato dele apresentar um sistema radicular mais profundo.

A soja perene, calopogônio e a vegetação espontânea foram os tratamentos que apresentaram os menores conteúdos de P, não diferindo estatisticamente entre si. Cavalcante et al. (2012), não observou diferença nos conteúdos de P entre a crotalária e o guandu anão, diferindo do presente trabalho, onde o guandu anão apresentou um acúmulo de 2,5 vezes superior deste nutriente quando comparado com a crotalária.

Tabela 4. Conteúdo de nutrientes na parte aérea de leguminosas utilizadas como adubação verdes em Argissolo Amarelo. Brejão – PE, 2012.

Tratamentos	N	P	K	C
	-----kg ha ⁻¹ -----			
Crotalária	922,46 a	23,88 b	249,23 b	5169,92 b
Soja Perene	85,70 c	8,64 c	77,78 d	1376,89 d
Guandu Anão	929,14 a	60,29 a	396,37 a	12645,79 a
Calopogônio	267,26 b	11,11 c	104,82 c	2130,66 c
Vegetação espontânea	54,41 c	8,45 c	56,22 e	1489,56 d
CV (%)	10,36	9,96	6,16	2,43

*Valores seguidos de letras iguais não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ($p < 0,05$).

Todos os tratamentos diferiram entre si com relação ao acúmulo de K, o qual seguiu a seguinte ordem de liberação desse nutriente: guandu anão > crotalária > calopogônio > soja perene > vegetação espontânea. Já com relação ao conteúdo de C nos diferentes tratamentos, o guandu anão apresentou maior acúmulo e diferiu estatisticamente dos demais, apenas a leguminosa soja perene não diferiu da vegetação espontânea com relação a este conteúdo.

3.3. Química do solo

Para os diferentes tratamentos, a análise de variância demonstrou que houve diferença significativa para as variáveis P, K e H + Al, ao nível de 5% de probabilidade. Com relação às variáveis pH e Al, não houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade para os diferentes tratamentos avaliados (Tabela 5).

O pH do solo não foi influenciado pelos tratamentos, onde o mesmo não apresentou diferença significativa ao se comparar as diferentes espécies estudadas. Resultado diferente foi observado por Nascimento et al. (2003), onde estes autores constataram o aumento do pH do solo após o cultivo de doze leguminosas, quando comparado com a testemunha (vegetação espontânea), indicando efeito positivo do cultivo das leguminosas nas condições de estudo do experimento.

Tabela 5. Características químicas de solos cultivados com leguminosas em um Argissolo Amarelo no município de Brejão-PE, 2012.

Tratamentos	pH (1:2,5)	P mg kg ⁻¹	K ----- cmol _c dm ⁻³	Al -----	H+ Al -----	N -----g kg ⁻¹ -----	C
Crotalária	6,75 a	8,61 b	0,07 a	0,05 a	1,48 b	18,50 a	3,26 b
Soja Perene	7,00 a	4,42 c	0,06 b	0,05 a	1,87 a	18,56 a	4,55 a
Guandu Anão	6,75 a	3,11 d	0,06 b	0,05 a	1,48 b	18,10 a	3,45 b
Calopogônio	7,00 a	12,27 a	0,03 c	0,05 a	1,43 b	16,56 b	3,27 b
Vegetação espontânea	7,00 a	4,04 c	0,03 c	0,05 a	1,04 c	18,20 a	3,53 b
CV (%)	4,58	8,95	10,33	0,00	7,15	4,26	6,55

* Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

O maior teor de P no solo foi observado após a aplicação do tratamento com calopogônio, onde o mesmo apresentou um teor de 12,27 mg kg⁻¹, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. A disponibilidade de nutrientes ao solo pelas plantas está relacionada com a época na qual o material vegetal será cortado e incorporado, sendo a melhor fase quando as plantas estão no florescimento (CAVALCANTE et al., 2012; SUZUKI et al., 2008).

Com relação aos resultados de K, observou-se valores médios variando de 0,03 a 0,07 cmol_c dm⁻³, tendo o tratamento com crotalária apresentado o maior teor desse nutriente no solo, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. Os tratamentos com soja perene e guandu anão apresentaram o mesmo teor de K, já o tratamento com calopogônio foi o único que não diferiu estatisticamente do controle ao se avaliar o teor médio deste nutriente no solo. Segundo Borkert et al. (2003), no processo de decomposição dos resíduos ocorre a liberação rápida e total do K, devido ao fato desse nutriente se apresentar predominantemente na forma iônica K⁺, sendo também considerado o nutriente mais abundante no tecido vegetal. Assim, pode-se considerar a liberação de K proveniente dos resíduos vegetais como 100%, porém devem ser consideradas as perdas por lixiviação dependendo do tipo de solo (CALONEGO et al., 2005).

Em relação ao teor de Al do solo, embora constatado efeito não significativo pela análise, ressalta-se que o teor deste elemento foi mantido em nível baixo, com valor de 0,05 cmol_c dm⁻³ em todos os tratamentos. Resultado semelhante ao observado

por Nascimento et al. (2003), que avaliando o efeito do cultivo de doze espécies de leguminosas nas características químicas de um Luvissole degradado, concluiu que não houve diferença significativa com relação ao teor de alumínio, o qual apresentou valores variando de 0,05 a 0,12 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Com relação à acidez potencial, o tratamento com soja perene diferiu estatisticamente dos outros tratamentos, apresentando valor médio de 1,87 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Já as demais espécies avaliadas apresentaram valores médios variando de 1,04 a 1,48 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, tendo o tratamento controle apresentado o menor valor e diferindo estatisticamente das demais. Segundo Miyazawa et al. (2000), a capacidade de neutralização da acidez do solo por materiais vegetais está associada aos teores de cátions e carbono orgânico solúveis, que normalmente são maiores em materiais vegetais de cobertura, sendo também esse efeito atribuído à adsorção de H e Al na superfície do material, à troca de ânions entre o OH⁻ terminal de óxidos de Fe e Al e a complexação de Al e outros metais por ácidos orgânicos. Teixeira et al. (2003) também verificou neutralização da acidez potencial após a adição de restos orgânicos ao solo.

Para o N total do solo, não houve diferença significativa entre a crotalária, soja perene, guandu anão e vegetação espontânea, onde todos estes tratamentos apresentaram valores significativamente superiores ao tratamento com calopogônio. Coelho (2009), não observou diferença significativa ao quantificar o C total do solo cultivado com quatro espécies de leguminosas em relação a vegetação espontânea.

Os valores do C total do solo variaram de 3,27 a 4,55 g kg^{-1} , onde o solo cultivado com a soja perene foi o que apresentou o maior teor, diferindo estatisticamente de todos os outros tratamentos. Lovato et al. (2004) observaram que, após a introdução de leguminosas em sistemas de rotação de culturas houve uma contribuição na adição de N e C ao solo, fato este que não ocorreu no presente estudo, onde apenas uma leguminosa diferiu da testemunha com relação aos teores de C, e os teores de N total foram semelhantes a vegetação espontânea.

4. CONCLUSÕES

1. O guandu anão apresentou a maior produtividade de massa verde, massa seca e maior conteúdo de N, P, K e C na parte aérea da planta, se destacando entre as espécies estudadas.
2. A crotalária foi a espécie que apresentou maior velocidade de decomposição e liberação dos nutrientes absorvidos.
3. A utilização das leguminosas como adubo verde melhoraram as características químicas do solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, F.A.; FURTINI NETO, A.E.; PAULA, M. B. DE; MESQUITA, H.A.; MUNIZ, J.A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.277-288, 2000.

ALMEIDA, E. L. **Desenvolvimento de Feijão-de-Porco [Canavalia ensiformis (L.) D.C.] na presença de chumbo**. Instituto Agrônômico – IAC, 2007. 67p. Dissertação de Mestrado.

AMABILE, R. F.; FRANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. Comportamento de espécies de adubação verde em diferentes épocas de semeadura e espaçamento na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35,p.47-54, 2000.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 25, p.189-197, 2001.

BORKERT, C.M. et al. Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.143-153, 2003.

CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio da palha de plantas de cobertura em diferentes estádios de senescência após a dessecação química. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 29, p. 99-109, 2005.

CAVALCANTE, V. S.; SANTOS, V. R.; SANTOS NETO, A. L.; SANTOS, M. A. L.; SANTOS, C. G. & COSTA, L. C. Biomassa e extração de nutrientes por plantas de cobertura. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.521–528, 2012.

CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M.J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural**, v.32, p.49-54, 2002.

COELHO, M. S. **Adubos verde na quantidade e qualidade da Matéria orgânica do solo de cafezais em sistema de cultivo orgânico**. Viçosa- MG, 2009. 52f. Dissertação de Mestrado.

COSTA, F.S.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.323-332, 2008.

DUARTE JÚNIOR, J. B.; COELHO, F. C. Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto. **Bragantia**, v.67, p.723-732, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Brasília, Produção de informação; Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 306p., 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 628p.

FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M. M.; LEÃO, P. C. S. Adubação verde com leguminosas em videira no Submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.641-648, 2004.

FAVERO, C.; JUCKSCH, I.; COSTA, L. M.; ALVARENGA, R. C.; NEVES, J. C. L. Crescimento e acúmulo de nutrientes por plantas espontâneas e por leguminosas utilizadas para adubação verde. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.171-177, 2000.

FERREIRA, D. F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 2000. (SISVAR 4. 1. pacote computacional).

FRANCHINI, J. C. J.C.; E. MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.23, p.533-542, 1999.

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

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.175-187, 2004.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M.A. & FRANCHINI, J.C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Inf. Agron.**, 92:1-8, 2000.

NASCIMENTO, J.T.; SILVA, I.F.; SANTIAGO, R.D. & SILVA NETO, L.F. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **R. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.457-462, 2003.

OLIVEIRA, F. L.; GOSCH, C. I. L.; GOSCH, M. S.; MASSAD, M.D. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e decomposição de leguminosas utilizadas para adubação verde. **Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.5, n.4, p.503-508, 2010.

PAVINATO, P. S. e ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, p. 911-920, 2008.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palhada de espécies de cobertura de acordo com a quantidade de chuva aplicada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 355-362, 2003.

SILVA, B. S.; TANURE, L. P. P.; SANTOS, S. R.; JUNIOR, P. S. R. Sintomas visuais de deficiências nutricionais em pinhão-manso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.392-397, 2009.

SILVA, J. A. A.; VITTI, G. C.; STUCHI, E. S.; SEMPIONATO, O. R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja-pêra. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.24, p.225-230, 2002.

SILVA, M. S. L.; GOMES, T. C. A.; MACHADO, J. C.; SILVA, J. A. M.; CARVALHO, N. C. S.; SOARES, E. M. B. Produção de fitomassa de espécies vegetais para adubação verde no Submédio São Francisco. **Instruções Técnicas da Embrapa Semi-Árido**. EMBRAPA. Petrolina-PE. 2005.

SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, v.65, p.121-127, 2006.

SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; RODRIGUES, R. A. F. Fitomassa de plantas de cobertura sob diferentes sistemas de cultivo e sucessão de culturas em Selvíria - MS. **Científica**, v.36, p.123-129, 2008.

TEIXEIRA, C. M.; CARVALHO, G. J.; FURTINE NETO, A. E.; ANDRADE, M. J. B.; MARQUES, E. L. S. Produção de biomassa e teor de macronutrientes do milheto, feijão de porco e guandu anão em cultivo solteiro e consorciado. **Ciência e Agrotecnologia**, v.29, p.93-99, 2005.

TEIXEIRA, I. R.; SOUZA, C. M. de; BORÉM, A.; SILVA, G. F. da. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Bragantia**, v.62, p.119-126, 2003.

TEODORO, R. B.; OLIVEIRA, F. L.; SILVA, D. M. N.; FÁVERO, C. & QUARESMA, M. A. L. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 35, p. 635-643, 2011.

CAPITULO II

**INDICADORES BIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE UM ARGISSOLO
AMARELO CULTIVADO COM DIFERENTES ESPÉCIES DE LEGUMINOSAS**

RESUMO

Dentre os aspectos da fertilidade do solo que são incrementados com a utilização da adubação verde podem ser citados o aumento no teor de matéria orgânica do solo e modificação da microbiota do solo, atuando na interação entre os microrganismos e as partículas deste solo, sendo responsável por processos bioquímicos e biológicos que garantem a sustentação do ecossistema. O objetivo do trabalho foi avaliar os indicadores biológicos e a atividade enzimática de um Argissolo Amarelo após o cultivo de diferentes espécies de leguminosas utilizadas como adubo verde. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 5 tratamentos: Crotalária (*Crotalaria spectabilis*); Soja perene (*Neonotonia wightii*); Guandu anão (*Cajanus cajan*); Calopogônio (*Calopogonio mucunoides*) e Vegetação espontânea. A coleta do solo aconteceu 90 dias após o corte das leguminosas. O carbono da biomassa microbiana apresentou maior valor no tratamento com feijão guandu anão, obtendo uma média de 578,12 mg de C-CBM Kg⁻¹. A respiração basal microbiana foi influenciada com a utilização das leguminosas crotalária e soja perene, sendo observadas médias de 1,30 e 1,40 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹, respectivamente. O carbono orgânico total do solo foi maior nos tratamentos com soja perene, calopogônio e crotalária, respectivamente, 9,22, 8,91 e 8,89 g de C Kg⁻¹ de solo. O tratamento que apresentou maior teor de carbono solúvel em água no solo foi o guandu anão, com valor médio de 109,34 mg de C Kg⁻¹ solo seco. A utilização da crotalária como adubo verde promoveu uma maior atividade da fosfatase ácida, com 4,22 mg PNF g solo⁻¹ h⁻¹. A utilização das leguminosas promoveu um aumento da atividade da fosfatase alcalina. A atividade da urease foi incrementada com a utilização da calopogônio, soja perene e crotalária, com atividade de 14,04; 13,75 e 12,83 µg N-NH₄ g⁻¹ dwt 2h⁻¹ no solo, respectivamente.

Palavras-chave: biomassa microbiana, carbono orgânico total, carbono solúvel em água, atividade enzimática.

ABSTRACT

Among the aspects of soil fertility are increased with the use of green manures can be mentioned the increase in organic matter content and soil modification of soil microbes, acting in the interaction between microorganisms and particles of this soil, accounting for biological and biochemical processes that ensure the sustainability of the ecosystem. The aim of this study was to evaluate biological indicators and enzymatic activity of an Ultisol after cultivation of different species of legumes used as green manure. The experimental design was a randomized block with 5 treatments: *Crotalaria* (*Crotalaria spectabilis*), Soybean (*Neonotonia wightii*); Guandu dwarf (*Cajanus cajan*); Calopogonio (*Calopogonio mucunoides*) and spontaneous vegetation. The collection of soil happened 90 days after cutting the vegetables. The microbial biomass carbon showed higher treatment with pigeonpea dwarf, obtaining an average of 578,12 mg C kg-CBM⁻¹. The basal microbial respiration was influenced by the use of legumes and soy sunn perennial, with averages of 1,30 and 1,40 mg C-CO₂ kg⁻¹ soil hour⁻¹, respectively. The total soil organic carbon showed higher levels in treated soybean perennial calopo and sunn, with, respectively, 9,22; 8,91 and 8,89 g C kg⁻¹ soil. The treatment showed the highest content of water-soluble carbon in the soil was the dwarf pea, with an average of 109,34 mg C kg⁻¹ solo dry. The use of sun hemp as green manure promoted greater acid phosphatase activity, with 4,22 mg PNF g soil⁻¹ h⁻¹. The use of legumes promoted an increase in alkaline phosphatase activity. The urease activity was increased with the use of calopo, perennial soybean and sunn, with activity of 14,04 ; 13,75 and 12,83 mg N-NH₄ g⁻¹ dwt 2h⁻¹ soil, respectively.

Key words: microbial biomass, total organic carbon, water-soluble carbon, enzymatic activity.

1. INTRODUÇÃO

A adubação verde é uma prática de manejo agrícola em que as plantas são cultivadas e posteriormente acamadas ou incorporadas sobre o solo, com a finalidade de assegurar ou aumentar o seu conteúdo de matéria orgânica, proporcionando diversos benefícios ao solo, favorecendo o crescimento e rendimento das culturas econômicas em sucessão (PERIN et al., 2004; CARNEIRO et al., 2009).

Dentre os aspectos da fertilidade do solo que são incrementados com a utilização da adubação verde podem ser citados o aumento no teor de matéria orgânica do solo e a produção de ácidos orgânicos, além de contribuírem na modificação da microbiota do solo, atuando na interação entre os microrganismos e as partículas deste solo, sendo responsável por processos bioquímicos e biológicos que garantem a sustentação do ecossistema (ALCÂNTARA et al., 2000; AMABILE et al., 2000; MARCHIORI JUNIOR e MELO, 2000).

É uma prática fundamental para recuperar solos de baixa fertilidade e elevar a produtividade de várias culturas, sendo as plantas mais comuns para utilização como cobertura do solo as leguminosas. Essas plantas produzem grande volume de biomassa verde e tem a capacidade de acumular nutrientes das camadas mais profundas do solo, promovendo um processo de reciclagem dentro do ciclo biogeoquímico, possuindo também um sistema radicular pivotante, que atua como descompactador dos solos. Na sua maioria, são tolerantes a seca e se adaptam às diversas condições edofoclimáticas do país (SANTOS et al., 2003; PERIN et al., 2004).

O monitoramento das alterações decorrentes do uso da adubação verde pode ser avaliado através da observação das propriedades biológicas e bioquímicas do solo. Dentre essas propriedades se encontram: a taxa de respiração, a atividade enzimática, a diversidade e a biomassa microbiana, as quais funcionam como indicadores sensíveis para orientar o planejamento e a avaliação das práticas de manejo utilizadas (MATSUOKA et al., 2003). Estas propriedades são dependentes das condições do solo, principalmente do conteúdo de matéria orgânica, os quais se constituem nas principais fontes de carbono à microbiota e têm influência nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (VARGAS e SCHOLLES, 2000; COSTA et al., 2003).

O presente trabalho objetivou avaliar os indicadores biológicos e a atividade enzimática de um Argissolo Amarelo após o cultivo de diferentes espécies de leguminosas utilizadas como adubo verde.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição do experimento

O trabalho foi conduzido na Fazenda Alagoinha, pertencente a um agricultor familiar no Município de Brejão – Pernambuco (09° 01' 49'' S e 36° 34' 07'' W), o qual possui, pela classificação de Köppen, um clima As (tropical chuvoso, com verão seco). O solo da área é um Argissolo Amarelo (coeso distrófico) conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2006), que era mantido sob cultivo de pastagem. Foram coletadas amostras de solo para realização da análise química antes da instalação do experimento, sendo a mesma realizada de acordo com metodologia da Embrapa (2009), o qual apresentou as seguintes características químicas: pH em água (5,75), P (0,35 mg kg⁻¹), K (0,14 cmol_c dm⁻³), Mg (1,9 cmol_c dm⁻³), Na (0,01 cmol_c dm⁻³), Ca (1,1 cmol_c dm⁻³), Al (0,05 cmol_c dm⁻³), H+Al (1,32 cmol_c dm⁻³), soma de bases (3,13 cmol_c dm⁻³), capacidade de troca catiônica (4,47 cmol_c dm⁻³) e saturação por bases (70,3%).

No período de julho de 2010 a agosto de 2011, foi instalado na área um experimento com plantas de pinhão-manso consorciadas com girassol e leguminosas, sendo estas leguminosas utilizadas como adubo verde. O pinhão manso foi semeado no espaçamento de 2m x 1m e o girassol no espaçamento de 1m x 0,4m intercaladas com os tratamentos constituídos pelas leguminosas, as quais foram plantadas em quatro sulcos de 4 m, com distância de 0,5 m entre si. Neste primeiro ensaio foram realizadas avaliações nas plantas de girassol e leguminosas, bem como nos solos das áreas onde as mesmas foram cultivadas. Após a retirada das plantas de girassol e leguminosas foi realizada uma limpeza geral da área experimental, deixando apenas as plantas de pinhão-manso, sendo então semeadas novamente as leguminosas, mantendo cada espécie nas áreas onde haviam sido cultivadas anteriormente. Este novo ensaio experimental, caracterizado pela consorciação entre as plantas de pinhão manso e

leguminosas, serviram de avaliação para o presente trabalho, o qual ocorreu durante o período de agosto de 2011 a maio de 2012.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com esquema de parcela em faixa com 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 parcelas. Os tratamentos foram: Crotalária (*Crotalaria spectabilis*); Soja perene (*Neonotonia wightii*); Guandu anão (*Cajanus cajan*); Calopogônio (*Calopogonio mucunoides*) e Vegetação espontânea (Figura 1).

As leguminosas foram plantadas nas entrelinhas do pinhão-mansão, em quatro fileiras com 4 m de comprimento cada uma, em sulcos de aproximadamente 1 cm de profundidade, com taxas de sementes descritas na Tabela 1. Cada parcela tinha uma área de 20 m², sendo constituídas por três fileiras de pinhão manso com 5 plantas cada uma e 8 fileiras com leguminosas.

Tabela 1. Densidade de sementeira para as espécies de coberturas utilizadas nos experimentos. Brejão – PE, 2011.

ESPÉCIES	NC	DENS (kg ha ⁻¹)	HC
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu Anão	35	Anual
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calopogônio	10	Perene
<i>Crotalaria spectabilis</i>	Crotalária	15	Anual
<i>Neonotonia wightii</i>	Soja Perene	6	Perene

* Fonte: Piraí Sementes. (2012). NC= Nome Comum, DENS.= densidade, HC= Hábito de Crescimento.

Foi observada na área de vegetação espontânea a predominância de picão roxo (*Ageratum conyzoides* L.), capim alho (*Cyperus rotundus*) e carrapicho (*Cenchrus echinatus*).

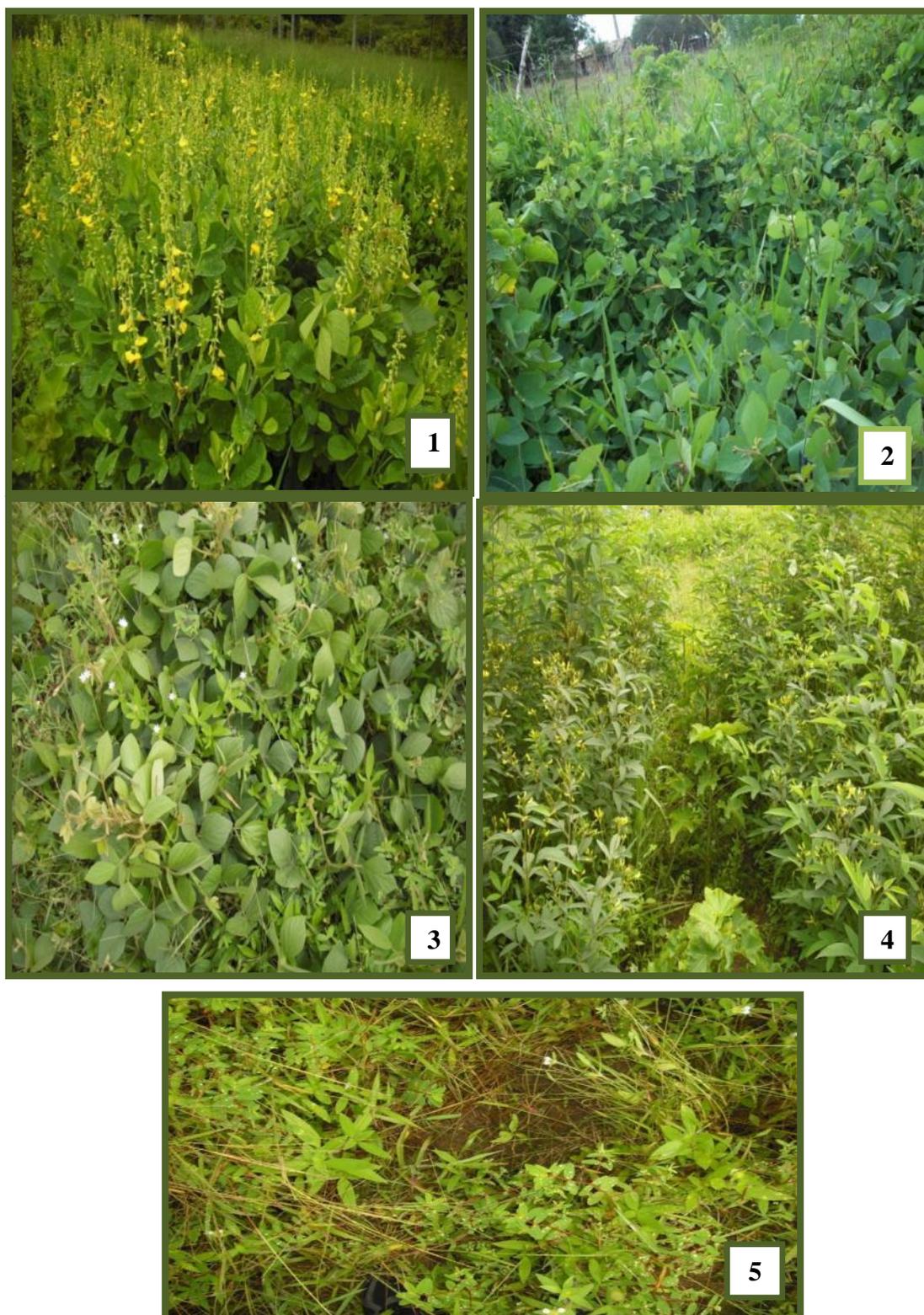


Figura 1. Leguminosas utilizadas como adubo verde em Argissolo Amarelo no município de Brejão – PE, 2012. 1. Crotalária; 2. Soja Perene; 3. Calopogônio; 4. Guandu Anão e 5. Vegetação Espontânea.

Aos 180 dias após a semeadura foi realizado o corte das leguminosas, sendo o material vegetal deixado sobre o solo (Figura 2). Decorridos três meses, foram realizadas amostragens de solos na profundidade de 0-10 cm em cada parcela. Duas sub-amostras foram coletadas e uniformizadas formando uma composta, por parcela, sendo, uma parte do solo refrigerada a 4° C para realização da análise das atividades enzimáticas, e outra parte do solo foi colocada para secar e peneirado (peneira com malha de 2 mm) para análise dos indicadores biológicos.

As análises foram realizadas no CENLAG (Centro de Laboratórios de Garanhuns) localizado na UAG/UFRPE.



Figura 2. Leguminosas deixadas na superfície do solo. Brejão – PE, 2012.

2.2. Análise do solo

As avaliações dos indicadores biológicos do solo foram realizadas através da determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), da respiração basal (RB), do carbono orgânico total (COT), do carbono solúvel em água (CSA), do quociente metabólico (qCO_2) e do quociente microbiano ($qMIC$).

Para determinar o carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) foi realizado o processo de irradiação-extração conforme Mendonça e Matos (2005). A quantificação do CBM foi feita pela metodologia de Bartlett e Ross (1988), utilizando permanganato de potássio como agente oxidante e leitura das amostras em espectrofotômetro.

A respiração basal microbiana (RBM) foi quantificada pelo CO₂ evoluído a partir de 30 g de solo, incubado durante 72 horas, extraído com solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹ e titulado com HCl 0,05 mol L⁻¹ segundo metodologia descrita por Mendonça e Matos (2005).

O Carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio na presença de ácido sulfúrico concentrado (Walkley-Black) e titulação com sulfato ferroso amoniacal, como descrito por Mendonça e Matos (2005).

Para determinar o carbono solúvel em água (CSA) utilizou-se uma amostra de 10 g de solo de cada tratamento em 20 mL de H₂O, agitando-se em seguida a suspensão por 10 min em agitador horizontal, centrifugada a 1500 g por 10min e, posteriormente, filtrada em papel de filtro quantitativo. A determinação do carbono foi feita por colorimetria (BARTLETT e ROSS, 1988).

A partir dos dados obtidos foram calculados os índices: quociente metabólico (qCO₂), determinado pela razão C-CO₂ liberado / biomassa microbiana (Anderson e Domsch, 1993) e o quociente microbiano (qMIC), determinado pela expressão (CBM/COT)/10 (SPARLING, 1992).

A avaliação dos indicadores bioquímicos do solo foi através da atividade das enzimas urease, fosfatase alcalina e ácida, sendo as mesmas estimadas pelo método do diacetato de fluoresceína (CHEN et al.1988). As atividades das fosfatases (ácida e alcalina) foram determinadas por espectrofotometria (l = 400 nm), quantificando o p-nitrofenol liberado após incubação de 1 g de solo em 0,2 mL de tolueno, 4 mL de tampão universal modificado (MUB) e 1 mL de solução de p-nitrofenil fosfato (0,025 M), a 37°C, por 1 h, segundo metodologia de Evazi e Tabatabai (1977).

A atividade da urease, enzima do ciclo do N foi estimada segundo Kandeler e Gerber (1988), sendo quantificada após incubação de 5g de solo por 2 horas à 37° C.

2.3.Análises Estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas por meio do teste de Scott-Knott (P<0,05), realizada pelo programa SISVAR (Ferreira, 2000).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Indicadores biológicos do solo

Houve diferença estatística para todas as variáveis dos indicadores biológicos do solo, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Scott-Knott (tabela 2).

O carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) apresentou maior valor no tratamento com feijão guandu anão, obtendo uma média de 578,12 mg de C-CBM kg⁻¹ solo seco, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. A crotalária e a soja perene não diferiram entre si com relação aos valores do CBM, apresentando médias de 409,77 e 464,21 mg de C-CBM kg⁻¹ solo seco, respectivamente. Os tratamentos que apresentaram menores valores de CBM foram os com calopogônio e a vegetação espontânea, os quais não diferiram entre si.

Tabela 2. Indicadores biológicos de solos cultivados com diferentes leguminosas utilizadas como adubos verdes no município de Brejão – PE, 2012.

Tratamentos	CBM	RBM	COT	CSA	qCO ₂	qMIC
Crotalária	409,77 b	1,30 a	8,89 a	51,25 e	0,0032 a	4,61 b
Soja Perene	464,21 b	1,40 a	9,22 a	98,11 b	0,0031 a	5,05 b
Guandu Anão	578,12 a	0,65 b	8,64 b	109,34 a	0,0010 c	6,68 a
Calopogônio	253,59 c	0,80 b	8,91 a	92,32 c	0,0032 a	2,87 c
Vegetação espontânea	287,98 c	0,60 b	6,99 c	80,72 d	0,0021 b	4,15 b
CV (%)	11,96	14,12	6,37	5,54	19,32	13,74

*CBM = Carbono da biomassa microbiana (mg de C-CBM g⁻¹ solo seco); RBM = respiração basal microbiana (mg C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹); COT = Carbono orgânico total do solo (g kg⁻¹); CSA = Carbono solúvel em água (mg de C Kg⁻¹ solo seco); qCO₂ = Quociente metabólico (mg C-CO₂ mg⁻¹ C-CBM dia⁻¹); qMIC = Quociente microbiano (%). Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

A biomassa microbiana é responsável pela quase totalidade da atividade biológica e processos bioquímicos do solo, exercendo a função de reserva de nutrientes, através da imobilização destes, ou de fonte, através da mineralização. Essa biomassa é

sensivelmente influenciada pelas condições impostas pelo meio, principalmente em relação à qualidade e quantidade dos resíduos vegetais depositados sobre o solo, os quais podem alterar consideravelmente sua população microbiana (SILVEIRA et al., 2006; SOUZA et al., 2008; GAMA-RODRIGUES et al., 2008).

Segundo Carneiro et al. (2008), o aumento no CBM condicionam um incremento na ciclagem de nutrientes no solo, pois, após a decomposição, esses nutrientes que estavam imobilizados na fitomassa são liberados para o solo, sendo esse CBM constituinte de uma reserva lábil de nutrientes também liberados rapidamente para o solo devido ao baixo tempo de vida dos microrganismos.

A respiração basal microbiana (RBM) representa a atividade biológica geral do solo, sendo considerada uma quantificação importante e que responde sensivelmente às mudanças de fatores ambientais, sendo dependente do manejo, cobertura vegetal, umidade, temperatura e aeração (SANTOS, et al., 2011; D'ANDREA et al., 2002). A RBM foi influenciada com a utilização das leguminosas crotalária e soja perene, sendo observadas médias de 1,30 e 1,40 mg C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹, respectivamente. O guandu anão, calopogônio e vegetação espontânea não diferiram entre si e apresentaram menores valores para a RBM. Pode-se observar que, mesmo não diferindo estatisticamente da vegetação espontânea (área de referência), a baixa taxa de RBM do guandu anão, aliada ao fato de apresentar maior valor de CBM, quando comparada com os demais tratamentos, pode indicar aspectos positivos na sua utilização, pois uma biomassa eficiente é a que apresenta menor taxa de respiração basal (GAMA-RODRIGUES et al., 2008; ANDRADE E SILVEIRA, 2004). Segundo Costa et al. (2008), sistemas de manejo com menor emissão de C-CO₂ por unidade de C em resíduos vegetais apresentam maior potencial de conservação de C no solo em comparação com sistemas onde houve maior emissão de C-CO₂ por unidade de C potencialmente disponível para oxidação microbiana.

Quando foi avaliado o carbono orgânico total do solo (COT), foram observados maiores valores para a soja perene, calopogônio e crotalária, com, respectivamente, 9,22, 8,91 e 8,89 g de C kg⁻¹ de solo, sendo esses valores estatisticamente iguais, enquanto que o tratamento com vegetação espontânea foi o que apresentou menor valor de carbono orgânico do solo, com média de 6,92 g de C kg⁻¹ de solo, diferindo dos demais tratamentos. Isso demonstra que a prática da adubação verde proporcionou o

aumento dos teores de COT no solo estudado. O carbono orgânico total (COT), por ter papel essencial na sustentabilidade do solo, é utilizado como indicador da qualidade do mesmo (SOUZA et al., 2008).

O carbono solúvel em água (CSA) representa a forma lábil do carbono, sendo a mais facilmente metabolizado pela biomassa microbiana, tendo o seu valor reduzido a medida que o processo de decomposição avança (MELO et al., 2008; PORTUGAL et al., 2008). Dentre os adubos verdes estudados, o que apresentou maior teor de CSA no solo foi o guandu anão, com valor médio de 109,34 mg de C kg⁻¹ solo seco, diferindo de todos os tratamentos. A crotalária foi a leguminosa que menos contribuiu em relação ao aporte de carbono no solo, apresentando uma quantidade de CSA 53,13% menor que o tratamento com guandu anão.

Com relação ao quociente metabólico (qCO_2), crotalária, soja perene e calopogônio foram os tratamentos que apresentaram maiores valores, não diferindo estatisticamente entre si, com taxa de 0,0032; 0,0031 e 0,0032 mg C-CO₂ mg⁻¹ C-CBM h⁻¹, respectivamente. O qCO_2 é representado pela razão (respiração basal)/(carbono da biomassa microbiana), relação entre o CO₂ acumulado e o total do CBM, a qual prediz que na medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente em utilizar os recursos do meio, menos C é perdido via respiração e uma fração considerável pode ser incorporado aos tecidos microbianos, colaborando para o aumento dos teores de C do solo (SANTOS et al., 2011). Maiores valores de qCO_2 indicam que a biomassa microbiana do solo está consumindo mais carbono oxidável para a sua manutenção, mineralizando a matéria orgânica muito rapidamente, levando a maiores perdas de CO₂ para a atmosfera resultando em diminuição progressiva da quantidade de resíduo orgânico no solo e afetando sua qualidade. (SOUZA et al., 2008). Ainda segundo estes mesmos autores, valores baixos de qCO_2 refletem um ambiente mais próximo do equilíbrio, mais estável, quando comparado a ambientes com valores maiores de qCO_2 , os quais indicam que o ecossistema está submetido a alguma condição de estresse ou de distúrbio. Diante dos resultados do presente trabalho, verifica-se que, o ambiente no qual houve o cultivo com guandu anão é considerado o mais estável, devido ao fato do mesmo ter apresentado menor valor de qCO_2 , maior teores de CBM e menor RBM, quando comparado aos demais tratamentos.

Os teores do quociente microbiano variaram entre 2,87 e 6,68%, sendo o maior valor obtido no guandu anão, o qual diferiu estatisticamente dos demais tratamentos. O quociente microbiano (qMIC) é uma medida derivada do C-BM que se refere a relação entre o C-BM/COT. Está diretamente relacionado com o acúmulo de carbono e qualidade da MOS, sugerindo, de acordo com Sampaio et al. (2008), que o carbono orgânico está disponível para a microbiota do solo, onde maiores qMIC indicam uma condição de matéria orgânica muito ativa e sujeita a transformações. Esta relação pode variar de 0,3% a 7% e depende do tipo e do manejo do solo, da cobertura e da época de amostragem (CARNEIRO et al. 2008; JAKELAITIS et al., 2008). O tratamento que apresentou menor valor de qMIC foi o com calopogônio, com 2,87%.

3.2. Indicadores bioquímicos do solo

Com relação aos indicadores bioquímicos do solo, pode-se observar que houve diferença estatística para todas as variáveis, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Scott-Knott (Tabela 3). O incremento de material vegetal sobre o solo foi eficaz na elevação e manutenção das células microbianas ativas no solo, principalmente quando se observa as atividades enzimáticas das leguminosas em comparação a vegetação espontânea, a qual é tida como testemunha.

Tabela 3. Atividades enzimáticas em Argissolo Amarelo cultivado com diferentes espécies de leguminosas no município de Brejão – PE, 2012.

Tratamentos	Fosfatase Ácida	Fosfatase Alcalina	Urease
	-----mg PNF g solo ⁻¹ h ⁻¹ -----		µg N-NH ₄ g ⁻¹ dwt 2h ⁻¹
Crotalária	2,31 b	3,12 a	12,83 a
Soja Perene	1,31 c	2,88 a	13,75 a
Guandu Anão	4,22 a	3,26 a	8,45 b
Calopogônio	2,69 b	3,14 a	14,04 a
Vegetação espontânea	2,94 b	2,10 b	5,27 c
CV (%)	13,61	13,95	17,90

* Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

O tipo de atividade bioquímica é influenciada pelo tipo de material vegetal adicionado ao solo, atuando ativamente em todo o sistema solo-planta-microbiota (MOREIRA E SIQUEIRA, 2006).

A máxima atividade da fosfatase ácida foi observada no tratamento com guandu anão, quando comparado aos demais tratamentos, apresentando uma atividade de 4,22 mg PNF g solo⁻¹ h⁻¹. O tratamento que apresentou menor atividade dessa enzima foi a soja perene, com 1,31 mg PNF g solo⁻¹ h⁻¹, apresentando 68% a menos com relação a atividade obtida com o guandu anão. Almeida et al. (2008), ao avaliar a atividade da fosfatase ácida em diferentes manejos de preparo de solo, encontraram maiores valores nos solos que receberam resíduos vegetais de feijão de porco e caupi. Segundo Conte et al. (2002), elevadas atividades de fosfatase ácidas tem sido observadas em solos sob mata nativa, devido ao fato destas áreas apresentarem alta disponibilidade de carbono orgânico de fácil decomposição.

A atividade da fosfatase ácida é favorecida pela baixa disponibilidade de P às plantas e aos microrganismos e pode ser inibida por altas concentrações de fosfato inorgânico no solo (TRANNNIN et al., 2007). Este fato condiz com o observado no presente trabalho, já que, no tratamento que apresentou a maior atividade da fosfatase ácida foi observado o menor teor de fósforo.

Os microrganismos são totalmente responsáveis pela atividade da fosfatase alcalina, já que a enzima não é sintetizada pelas plantas, sendo a mesma importante na mineralização do P orgânico (ANDRADE E SILVEIRA, 2004). Todos os tratamentos com leguminosas diferiram estatisticamente com relação à vegetação espontânea ao se avaliar a atividade da fosfatase alcalina (Tabela 3).

Ao avaliar a atividade da urease, observa-se que a utilização de cobertura do solo com calopogônio, soja perene e crotalária proporcionaram as maiores atividades ureolíticas do solo, com 14,04; 13,75 e 12,83 µg N-NH₄ g⁻¹ dwt 2h⁻¹ no solo, respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si. Buzinaro et al. (2009), observaram uma inibição de 39 a 45% na atividade da urease ao avaliarem o efeito da adubação verde com *Cajanus cajan*, *Crotalaria spectabilis* e *Brachiaria decumbens* em relação à braquiária em um pomar de laranja, diferindo do presente trabalho, onde foi constatada uma maior atividade ureolítica do solo com a adição de resíduos de leguminosas. Esses mesmo autores afirmaram que o crescimento dos microrganismos

no solo é limitado na ausência de fonte de carbono, podendo a adição de matéria orgânica influenciar no tamanho e na atividade da comunidade microbiana. Com isso, o fato da maior atividade da urease ter sido observada nos tratamentos com calopogônio, soja perene e crotalária pode estar relacionado com o resultado observado para o COT (Tabela 2), onde esses mesmos tratamentos foram os que obtiveram os maiores teores de carbono.

Segundo Lanna et al. (2010), a disponibilidade do resíduo vegetal como fonte energética e a sua facilidade de decomposição microbiológica irá determinar a intensidade da atividade da urease, sendo esta um indicativo do potencial do solo em converter o N orgânico em mineral, dando início ao processo de mineralização. Observa-se que, quando o solo foi exposto ao tratamento com vegetação espontânea apresentou 62,47% a menos da atividade da urease quando comparada com calopogônio, o qual apresentou a maior atividade desta enzima, a qual pode estar relacionada a uma maior disponibilidade de N orgânico oriundo de exsudados de raízes e dos próprios resíduos radiculares deixados por esta leguminosa.

4. CONCLUSÕES

1. O guandu anão contribuiu com a maior reserva lábil de carbono no solo, apresentando maior CBM, CSA e qMIC.
2. As leguminosas promoveram o aumento do teor de carbono orgânico total no solo.
3. A utilização das leguminosas como adubo verde promoveram o aumento das atividades enzimáticas no solo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, F.A.; FURTINI NETO, A.E.; PAULA, M. B. D.E.; MESQUITA, H.A.; MUNIZ, J.A. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.2, p.277-288, 2000.

ALMEIDA, M. C.; TRINDADE, A. V.; MAIA, I. C. S.; MARQUES, M. C. Influências dos diferentes sistema de manejo no comportamento da microbiota do solo em áreas sob cultivo de mamão na região de Cruz das Almas, BA. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n.1, p.67-75, 2008.

AMABILE, R. F.; FRANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. Comportamento de espécies de adubação verde em diferentes épocas de semeadura e espaçamento na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.47-54, 2000.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient (qCO_2) as a specific activity parameter to assess the effects of environment conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, p.393-395, 1993.

ANDRADE, S. A. L.; SILVEIRA, A. P. D. Biomassa e atividade microbianas do solo sob influência de chumbo e da rizosfera da soja micorrizada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1191-1198, 2004.

BARTLETT, R. J.; ROSS, D. S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society**, v.52, p.191-1192, 1988.

BUZINARO, T. N.; BARBOSA, J. C.; NAHAS, E. Atividade microbiana do solo em pomar de laranja em resposta ao cultivo de adubos verdes. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 408-415, 2009.

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

CHEN, W.; HOITINIK, A. J.; SCHMITTHENNER, A. F.; TOUVINEN, O. H.;
The role of microbial activity in suppression of damping-off caused by *Pythium*
ultimum. **Phytopathology**, v. 78, p.314-322, 1988.

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

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa
microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no
sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.925-930,
2002.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V. &
WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos
sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciências
do Solo**, v.27, p.527-535, 2003.

COSTA, F. S.; BAYER, C.; ZANATTA, J .A.; MIELNICZUK, J. Estoque de
carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por
sistemas de manejo no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.
32, p.323-332, 2008.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA.
Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de**

solos. 2.ed. Brasília, Produção de informação; Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 306p., 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 628p.

EVAZI, F.; TABATABAI, M. A. Phosphatase in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v.9, p.167-172, 1977.

FERREIRA, D. F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados**. Lavras: UFLA, 2000. (SISVAR 4. 1. pacote computacional).

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In. SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2º Ed.Porto Alegre: Metrópole, 2008.

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

MARCHIORI JÚNIOR, M. e MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.1177-1182, 2000.

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

LANNA, A. C.; SILVEIRA,P. M.da; SILVA, M. B. da; FERRARESI, T. M.; KLIEMANN, H. J. Atividade de urease no solo com feijoeiro influenciada pela

cobertura vegetal e sistemas de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa v. 34; p. 1933-1939, 2010.

MATSUOKA, M.; MENDES, I.C.; LOUREIRO, M.F. Biomassa microbiana e atividade enzimática em solos sob vegetação nativa e sistemas agrícolas anuais e perenes na região de Primavera do Leste (MT). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.425-433, 2003.

MELO, L.C.A.; SILVA, C.A.; DIAS, B.O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32, p.101-110, 2008.

MENDONÇA, E.S. & MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa. 107 p. 2005.

MOREIRA, F. M. S. & SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 729p. 2006.

PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; ZONTA, E. Cobertura do solo e estoque de nutrientes de duas leguminosas perenes, considerando espaçamentos e densidades de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa. v.28, p. 207-213, 2004.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2091-2100, 2008.

SANTOS, K.C.F.; SILVA, M.S.L.; SILVA, L.E.; MIRANDA, M.A.; FREIRE, M.B.G.S. Atividade biológica em solo salino sódico saturado por água sob cultivo de *Atriplex nummularia*. **Revista Ciência Agronômica**, n. 3, p. 619-627, 2011.

SANTOS, V. S.; CAMPELO JUNIOR, J. H. Influence of the meteorological elements in the production of green manures sown in different periods. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.91-98, 2003.

SILVEIRA R. B.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas em Itajuba/MG. **Cerne**, v.12, p.48-55, 2006.

SOUZA, E. D.; COSTA, S. E. V. G. A.; LIMA, C. V. S.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J., CARVALHO, P. C. F. Carbono orgânico e fósforo microbiano em sistema de integração agricultura-pecuária submetido a diferentes intensidades de pastejo em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa. v. 32, p. 1273-1282, 2008.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p. 195-207, 1992.

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Características biológicas do solo indicadoras de qualidade após dois anos de aplicação de bio sólido industrial e cultivo de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1173-1184, 2007.

VARGAS, L. K.; SCHOLLES, D. Biomassa microbiana e produção de C-CO₂ e N mineral de um Podzólico Vermelho-Escuro submetido a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.35-42, 2000.

CAPITULO III

FRAÇÕES DE CARBONO OXIDÁVEIS E ÁCIDOS ORGÂNICOS DE BAIXO PESO MOLECULAR EM UM ARGISSOLO AMARELO CULTIVADO COM DIFERENTES ADUBOS VERDES

RESUMO

Durante o processo de decomposição dos resíduos vegetais no solo ocorre a liberação de compostos orgânicos hidrossolúveis ou ácidos orgânicos de baixo peso molecular, sendo estes produtos secundários do metabolismo de compostos de alto peso molecular, como carboidratos, lipídeos e peptídeos. O tipo e quantidade de ácidos orgânicos produzidos dependem da quantidade e qualidade dos resíduos vegetais, estando assim, diretamente relacionadas às condições de estresse as quais as espécies vegetais utilizadas são submetidas e as condições predominantes do solo. O objetivo do trabalho foi avaliar as diferentes frações de carbono, o índice de manejo do carbono e a ocorrência de ácidos orgânicos presentes em solo cultivado com diferentes espécies de leguminosas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com 5 tratamentos: Crotalária (*Crotalaria spectabilis*); Soja perene (*Neonotonia wightii*); Guandu anão (*Cajanus cajan*); Calopogônio (*Calopogonio mucunoides*) e Vegetação espontânea. A coleta do solo aconteceu 90 dias após o corte das leguminosas. O tratamento com feijão guandu anão apresentou maior valor da fração F1, sendo assim, o tratamento que contribui com maior teor de fração leve livre da matéria orgânica. A utilização da crotalária como adubo verde proporcionou aumentos nos teores de C da fração F2 e F3, quando comparado aos demais tratamentos, apresentando teores de 2,87 e 1,77 g Kg⁻¹. O tratamento com calopogônio foi o que obteve maior teor de C na fração F4, com média de 3,07 g Kg⁻¹, correspondendo a 34% do carbono orgânico total. O índice de manejo do carbono foi maior no solo com cultivo com guandu anão, demonstrando que o resíduo vegetal desta leguminosa deixado sob o solo foi suficiente na manutenção dos estoques de carbono, já que o mesmo apresentou um índice de manejo do carbono de 146,26. Em todos os tratamentos foi observada apenas a presença do ácido acético, com maior concentração no solo após o cultivo da soja perene.

Palavra-chave: fração lábil, índice de manejo do carbono, ácido acético.

ABSTRACT

During the process of decomposition of plant residues occurring in soil the release of water soluble organic compounds or organic acids of low molecular weight, which are byproducts of the metabolism of high molecular weight compounds such as carbohydrates, lipids and peptides. The type and amount of organic acids produced depend on the quantity and quality of plant residues, and is thus directly related to the stress conditions to which the plant species used and are subjected prevailing soil conditions. The objective of this study was to evaluate the different fractions of carbon, the carbon management index and the occurrence of organic acids present in soil under different legume species. The experimental design was a randomized block with 5 treatments: Crotalaria (*Crotalaria spectabilis*), Soybean (*Neonotonia wightii*); Guandu dwarf (*Cajanus cajan*); Calopogonio (*Calopogonio mucunoides*) and spontaneous vegetation. The collection of soil happened 90 days after cutting the vegetables. Treatment with dwarf pigeonpea showed higher fraction F1, so the treatment that contributes to higher levels of free light fraction organic matter. The use of green manure Crotalaria as provided increases in levels of C fraction F2 and F3 compared to the other treatments, with levels of 2,87 and 1,77 g kg⁻¹. Treatment with calopogonio was what got higher C content in fraction F4, with an average of 3,07 g kg⁻¹, corresponding to 34% of total organic carbon. The carbon management index was higher in the soil with cultivation of pigeonpea dwarf, demonstrating that this legume plant residue left in the soil was sufficient to maintain carbon stocks, since it had a carbon management index of 146,26. In all treatments were only observed the presence of acetic acid, with the highest concentration in the soil after cultivation of perennial soybean.

Key word: fraction labile carbon management index, acetic acid.

1. INTRODUÇÃO

O aumento do custo dos fertilizantes químicos e a crescente poluição ambiental adquirida através do uso constante e irracional destes fazem da utilização de resíduos vegetais na agricultura uma alternativa visando à melhoria da qualidade do solo e do meio ambiente. Estes resíduos atuam como fontes de nutrientes e, ou, como condicionadores do solo, estando estas funções relacionadas com a espécie vegetal utilizada (MELO et al., 2008).

Durante o processo de decomposição dos resíduos vegetais no solo ocorre a liberação de compostos orgânicos hidrossolúveis ou ácidos orgânicos de baixo peso molecular, sendo estes produtos secundários do metabolismo de compostos de alto peso molecular, como carboidratos, lipídeos e peptídeos (SOUZA e CARVALHO, 2001; VAN HESS, et al., 2005; SILVA et al., 2002; FRANCHINI et al., 2001).

Os ácidos orgânicos podem atuar de forma direta, favorecendo a solubilidade de elementos como o fósforo e o potássio através de processos quelação e complexação, e de forma indireta, ao estimularem a atividade microbiana (SOUZA e CARVALHO, 2001; SILVA et al., 2002). Estes ácidos são importante fonte de carbono lábil para os microrganismos do solo, aumentando a biomassa microbiana e, conseqüentemente, diminuindo o tempo médio de residência desses compostos no solo (VAN HESS et al., 2005). Segundo Pavinato e Rosolem (2008), as concentrações dos ácidos orgânicos na solução do solo são bastante reduzidas, no entanto, em condições ambientais favoráveis, estes ácidos podem-se acumular até concentrações tóxicas para o crescimento de plantas.

Os métodos mais usados de separação dos ácidos orgânicos são a cromatografia gasosa (CG) e a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), porém ainda se observam dificuldades na escolha de um método eficiente capaz de identificar e quantificar todos esses compostos, principalmente com relação ao processo de extração (SILVA, et al., 2002; CHIARADIA, et al., 2008).

O carbono orgânico total (COT) pode ser estratificado em quatro frações (F1, F2, F3 e F4) com graus decrescentes de oxidação (LOSS et al., 2009). As frações F1 e F2 estão associadas com a disponibilidade de nutrientes e a formação de macroagregados. (MAIA et al., 2007; RANGEL et al., 2008; GUARESCHI et al., 2012).

Maiores teores de carbono na fração F1 tendem a ser encontrados em áreas onde há maior aporte de material vegetal ao solo via resíduos vegetais, sendo, principalmente, relacionados à fração leve livre da matéria orgânica do solo. (MAIA et al., 2007; ROSA et al., 2003; SOUZA et al., 2006). As frações F3 e F4 se originam a partir da decomposição e humificação da matéria orgânica do solo, estando associadas com os compostos de maior estabilidade química e maior peso molecular, sendo a F4 a fração mais resistente (CHAN et al., 2001; GUARESCHI et al., 2012).

A partir das frações de carbono e do COT é possível se obter o Índice de Manejo do carbono, o qual mede as alterações nos estoques de COT e leva em consideração aspectos da labilidade do CO do solo, permitindo assim, verificar se o sistema está tendendo à sustentabilidade ou a degradação (SOUZA et al., 2009; SILVA et al. 2011).

O objetivo do trabalho foi avaliar as diferentes frações de carbono, o índice de manejo do carbono e a ocorrência de ácidos orgânicos presentes em solo cultivado com diferentes espécies de leguminosas.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Descrição do experimento

O trabalho foi conduzido na Fazenda Alagoinha, pertencente a um agricultor familiar no Município de Brejão – Pernambuco (09° 01' 49'' S e 36° 34' 07'' W), o qual possui, pela classificação de Köppen, um clima As (tropical chuvoso, com verão seco). O solo da área é um Argissolo Amarelo (coeso distrófico) conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (EMBRAPA, 2006), que era mantido sob cultivo de pastagem. Foram coletadas amostras de solo para realização da análise química antes da instalação do experimento, sendo a mesma realizada de acordo com metodologia da Embrapa (2009), o qual apresentou as seguintes características químicas: pH em água (5,75), P (0,35 mg kg⁻¹), K (0,14 cmol_c dm⁻³), Mg (1,9 cmol_c dm⁻³), Na (0,01 cmol_c dm⁻³), Ca (1,1 cmol_c dm⁻³), Al (0,05 cmol_c dm⁻³), H+Al (1,32 cmol_c dm⁻³), soma de bases (3,13 cmol_c dm⁻³), capacidade de troca catiônica (4,47 cmol_c dm⁻³) e saturação por bases (70,3%).

No período de julho de 2010 a agosto de 2011, foi instalado na área um experimento com plantas de pinhão-manso consorciadas com girassol e leguminosas, sendo estas leguminosas utilizadas como adubo verde. O pinhão manso foi semeado no espaçamento de 2m x 1m e o girassol no espaçamento de 1m x 0,4m intercaladas com os tratamentos constituídos pelas leguminosas, as quais foram plantadas em quatro sulcos de 4 m, com distância de 0,5 m entre si. Neste primeiro ensaio foram realizadas avaliações nas plantas de girassol e leguminosas, bem como nos solos das áreas onde as mesmas foram cultivadas. Após a retirada das plantas de girassol e leguminosas foi realizada uma limpeza geral da área experimental, deixando apenas as plantas de pinhão-manso, sendo então semeadas novamente as leguminosas, mantendo cada espécie nas áreas onde haviam sido cultivadas anteriormente. Este novo ensaio experimental, caracterizado pela consorciação entre as plantas de pinhão manso e leguminosas, serviram de avaliação para o presente trabalho, o qual ocorreu durante o período de agosto de 2011 a maio de 2012.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso com esquema de parcela em faixa com 5 tratamentos e 4 repetições, totalizando 20 parcelas. Os tratamentos foram: Crotalária (*Crotalaria spectabilis*); Soja perene (*Neonotonia wightii*); Guandu anão (*Cajanus cajan*); Calopogônio (*Calopogonio mucunoides*) e Vegetação espontânea (Figura 1). As leguminosas foram plantadas nas entrelinhas do pinhão-manso, em quatro fileiras com 4 m de comprimento cada uma, em sulcos de aproximadamente 1 cm de profundidade, com taxas de semeaduras descritas na Tabela 1. Cada parcela tinha uma área de 20 m², sendo constituídas por três fileiras de pinhão manso com 5 plantas cada uma e 8 fileiras com leguminosas.

Tabela 1. Densidade de semeadura para as espécies de coberturas utilizadas nos experimentos. Brejão – PE, 2011.

ESPÉCIES	NC	DENS (kg ha ⁻¹)	HC
<i>Cajanus cajan</i>	Guandu Anão	35	Anual
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calopogônio	10	Perene
<i>Crotalaria spectabilis</i>	Crotalária	15	Anual
<i>Neonotonia wightii</i>	Soja Perene	6	Perene

* Fonte: Piraí Sementes. (2012). NC= Nome Comum, DENS.= densidade, HC= Hábito de Crescimento.

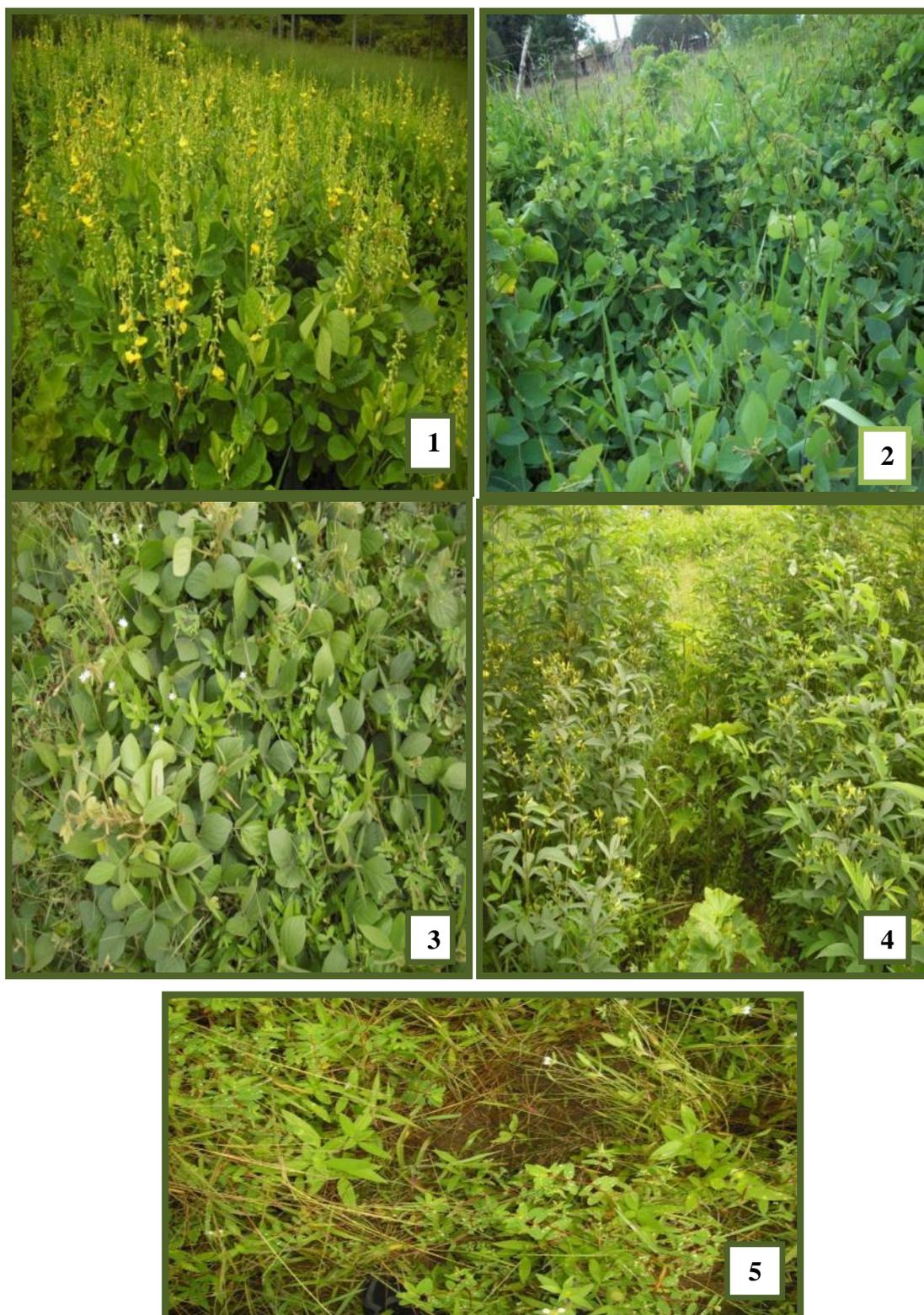


Figura 1. Leguminosas utilizadas como adubo verde em Argissolo Amarelo no município de Brejão – PE, 2012. 1. Crotalária; 2. Soja Perene; 3. Calopogônio; 4. Guandu Anão e 5. Vegetação Espontânea.

Foi observada na área de vegetação espontânea a predominância de picão roxo (*Ageratum conyzoides* L.), capim alho (*Cyperus rotundus*) e carrapicho (*Cenchrus echinatus*).

Aos 180 dias após a semeadura foi realizado o corte das leguminosas, sendo o material vegetal deixado sobre o solo (Figura 2). Decorridos três meses, foram realizadas amostragens de solos na profundidade de 0-10 cm em cada parcela. Duas sub-amostras foram coletadas e uniformizadas formando uma composta, por parcela, sendo, uma parte do solo refrigerada a 4° C para realização da análise das atividades enzimáticas, e outra parte do solo foi colocada para secar e peneirado (peneira com malha de 2 mm) para análise dos indicadores biológicos.

As análises foram realizadas no CENLAG (Centro de Laboratórios de Garanhuns) localizado na UAG/UFRPE.



Figura 2. Leguminosas deixadas na superfície do solo. Brejão – PE, 2012.

Para o fracionamento do C, foi utilizada a metodologia por graus de oxidação adaptado de Chan et al. (2001) e Freitas et al. (2004). Para isso, em erlenmeyer de 250 mL foi colocado 0,5 g de solo, a ele foi adicionado 10 mL de $K_2Cr_2O_7$, 0,167 mol L⁻¹ e quantidades crescentes de H_2SO_4 p.a., correspondentes às concentrações de 3, 6, e 9 mol L⁻¹. A oxidação foi realizada sem fonte externa de calor e a titulação dos extratos foi feita com uma solução de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 0,5 mol L⁻¹ (sal de Mohr), utilizando-se como indicador a solução indicadora de Ferroin, preparada a partir da mistura de

1,485 g o-fenantrona e 0,695 g de FeSO_4 , que foram dissolvidos em 100 mL de água destilada. O fracionamento do C produziu quatro frações, com graus decrescentes de oxidação: Fração 1 (F1): C orgânico oxidado por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido com 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 ; Fração 2 (F2): diferença do C orgânico oxidado por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido com 6 e 3 mol L^{-1} de H_2SO_4 ; Fração 3 (F3): diferença do C orgânico oxidado por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido com 9 e 6 mol L^{-1} de H_2SO_4 e Fração 4 (F4): diferença entre COT e C orgânico oxidado por $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ em meio ácido com 9 mol L^{-1} de H_2SO_4 .

O Carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio na presença de ácido sulfúrico concentrado (Walkley-Black) e titulação com sulfato ferroso amoniacal, como descrito por Mendonça e Matos (2005).

Com base na análise das frações de carbono oxidáveis e considerando a fração F1 como representante do carbono lábil do solo (CL), foram determinados: o Índice de Compartimento de Carbono (ICC), que refere-se as mudanças no COT entre um sistema agrícola e o sistema de referência ($\text{ICC} = \text{COT}_{\text{cultivo}}/\text{COT}_{\text{referência}}$); o carbono não lábil ($\text{CNL} = \text{COT} - \text{CL}$) a labilidade do C ($\text{L} = \text{CL}/\text{CNL}$); o Índice de Labilidade ($\text{IL} = \text{L}_{\text{cultivo}}/\text{L}_{\text{referência}}$) e o Índice de Manejo de Carbono (IMC), pela seguinte equação: $\text{IMC} = \text{ICC} \times \text{IL} \times 100$ (BLAIR et al.,1995). Foi considerada como sistema de referencia a vegetação espontânea.

Para extração e quantificação dos ácidos orgânicos foram utilizados 10g de solo e 20 mL de água Milli-Q (água purificada por destilação e deionizada em sistema Milli-Q da Millipore), sendo agitados em agitador horizontal por 15 min a 200 rpm, posteriormente, foram centrifugados a 1500 rpm por 10 min, em seguida, o sobrenadante foi filtrado em papel quantitativo lento e submetido a análise.

Foi utilizado cromatografo gasoso modelo GCMS – QP2010 Plus (Shimadzu) e coluna capilar Nukol, com dimensões de 30m, 0,32mm de diâmetro interno e 0,25 μm de espessura de filme (Supelco, USA). A temperatura inicial do forno foi de 60°C , mantida por 1 min, seguida com taxa de aumento de $5^\circ \text{C}/\text{min}$ até 200°C , sendo mantida nessa temperatura por 1 min. A temperatura do detector de chama (FID) e injetor foi de 200°C , e o volume de injeção de $2\mu\text{L}$, sendo as configurações foram feitas de acordo com o proposto por Aquino e Santiago-Silva (2006).

O gás hélio foi usado como gás de arraste, com vazão de 30 mL min⁻¹. O detector de ionização em chama foi alimentado por ar e hidrogênio, a uma vazão de 400 mL min⁻¹ e 30 mL min⁻¹, respectivamente. Para identificação utilizou-se comparação do tempo de retenção com padrões de alta pureza (>99%) obtidos da Sigma Aldrich (St.Louis, USA). A partir desses padrões foram preparadas soluções de trabalho contendo os ácidos, em concentrações de 500, 1000 e 10000 ppm, por diluição em água ultrapura. Os picos correspondentes a cada ácido foram identificados pelo tempo de retenção, utilizando-se como comparação os tempos de retenção dos padrões: Acético, Butírico, Propiônico, Succinico, Cítrico e Maleico. As concentrações de cada ácido nos tratamentos foram calculadas por meio da área referente à concentração de 10000 mg L⁻¹ de cada padrão analisado.

Os resultados referentes às frações de carbono oxidáveis e ao índice de manejo do carbono foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas por meio do teste de Scott-Knott (P<0,05), realizada pelo programa SISVAR. Os resultados referentes aos ácidos orgânicos não foram submetidos a análise de variância, sendo realizada apenas a identificação e quantificação da concentração dos ácidos nas amostras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Frações de carbono oxidáveis

Na tabela 2, pode-se observar que o tratamento com feijão guandu não apresentou maior valor da fração F1, sendo assim, o tratamento que contribuiu com maior teor de fração leve livre da matéria orgânica, correspondendo a 68% do carbono orgânico total do solo. Os tratamentos com crotalaria e soja perene foram os que contribuíram com os menores teores de C na fração F1.

A utilização da crotalaria como adubo verde proporcionou aumentos nos teores de C da fração F2 e F3, quando comparado aos demais tratamentos, apresentando teores de 2,87 e 1,77 g kg⁻¹, respectivamente, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos nas duas frações. Com relação aos teores de C na fração F2, o guandu não foi a leguminosa que menos contribuiu com essa fração no solo estudado.

Tabela 2. Frações de carbono orgânico oxidável em solo com adubação verde no município de Brejão – PE, 2012.

Tratamentos	F1	F2	F3	F4	COT
	-----g kg ⁻¹ -----				
Crotalária	3,50 c	2,87 a	1,77 a	0,56 c	8,89 a
Soja Perene	3,70 c	2,00 b	0,70 b	2,82 a	9,22 a
Guandu Anão	5,50 a	0,30 c	0,60 b	2,09 b	8,04 b
Calopogônio	4,40 b	1,60 b	0,37 b	3,07 a	8,91 a
Vegetação espontânea	4,20 b	2,17 b	0,52 b	0,09 c	6,92 c
CV (%)	6,47	21,08	25,62	23,00	8,17

*F1= 3 mol L⁻¹ H₂SO₄; F2= 6 mol L⁻¹ H₂SO₄ - 3 mol L⁻¹ H₂SO₄; F3= 9 mol L⁻¹ H₂SO₄ - 6 mol L⁻¹ H₂SO₄ e F4= COT - 9 mol L⁻¹ H₂SO₄. Médias seguidas de mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

O tratamento com calopogônio foi o que obteve maior teor de C na fração F4, com média de 3,07 g kg⁻¹, correspondendo a 34% do COT, porém, não diferiu estatisticamente do tratamento com soja perene, o qual apresentou média de 2,82 g kg⁻¹ e correspondeu a 30% do COT. A crotalária foi a leguminosa que menos contribuiu com a fração F4 (0,56 g kg⁻¹), correspondendo a apenas 6% do COT, não diferindo do tratamento controle, o qual correspondeu a apenas com 1% do COT nesta fração.

Seria desejável um balanço nos teores de carbono destas frações, para que houvesse um equilíbrio entre as funções, já que as frações F1 e F2 estão relacionadas à disponibilidade de nutrientes e estruturação do solo, e as frações F3 e F4 associam-se a proteção física e química do solo (RANGEL et al., 2008).

De maneira geral, a maior proporção do COT ocorreu nas frações F1+F2, destacando-se a crotalária e a vegetação espontânea com os maiores valores dessas proporções, ambas com valores de 6,37 g kg⁻¹. Loss et al., (2009), em trabalho onde comparavam o aporte de matéria orgânica proveniente da combinação de resíduos de diferentes leguminosas, também observaram maiores proporção do COT nas frações F1+F2. Os autores afirmam ainda que estas maiores proporções são atribuídas, principalmente, ao aporte de decomposição dos resíduos vegetais adicionados ao solo, contribuindo com matéria orgânica de maior biodisponibilidade.

A combinação das frações F3+F4 representou maiores percentagens referente ao COT no tratamento com calopogônio e crotalária, ambos apresentando 38% do COT. No geral, observou-se que as frações combinadas F3+F4, contribuíram apenas com 8,8% do COT, sendo a maior parte encontrada nas frações F1+F2. Manjuder et al. (2008), avaliando as frações de C oxidáveis em sistema de cultivo de arroz e milho por 19 anos, com adubação verde e uso de palhada, também observaram que a maior parte do COT foi encontrada nas frações F1+F2, e ainda concluíram que a fração F1 pode ser considerada um bom indicador de sustentabilidade do sistema.

De modo geral, resultados e pesquisas com frações de oxidação de C evidenciam que o manejo no qual favorece adições frequentes de material orgânico ao solo, tendem a apresentar maior proporção de carbono na fração lábil, em detrimento as frações mais resistentes à oxidação (CHAN et al., 2001; RANGEL et al., 2008), isso de fato está de acordo com o observado no presente estudo, onde pode-se observar maior proporção de C oxidável nas frações de maior labilidade.

Outra forma de se avaliar a dinâmica da matéria orgânica do solo é através do Índice de Manejo de Carbono (IMC), sugerido por Blair et al. (1995) e Vieira et al. (2007), onde se relaciona tanto o conteúdo de COT como a labilidade deste (Silva et al., 2011). Na tabela 3 são apresentados os dados de CL (carbono lábil), CNL (carbono não lábil), ICC (índice de compartimento do carbono), L (labilidade), IL (índice de labilidade) e IMC (índice de manejo do carbono).

O CL representa a fração lábil do carbono, a qual apresenta alta taxa de decomposição, conseqüentemente, curto período de permanência no solo, sendo representada pela fração F1, a qual já foi discutida anteriormente. Para os teores de CNL, os maiores valores foram observados na crotalária e soja perene, diferindo dos demais tratamentos, representando 63,22 e 62,80 % do COT, respectivamente. Souza et al. (2009), em trabalho onde avaliaram o carbono em um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo e usos do solo, observaram que os estoques de CL diminuem rapidamente, porém, observaram que a sua recuperação é rápida, sugerindo o uso do CL como indicador sensível da dinâmica do carbono no sistema.

Tabela 3. Valores médios de C_L , C_{NL} , ICC, L, IL e IMC em solo com adubação verde no município de Brejão – PE, 2012.

Tratamentos	CL	CNL	ICC	L	IL	IMC
	-----g kg ⁻¹ -----					%
Crotalária	3,50 c	5,62 a	1,28 a	0,66 d	0,42 d	58,64 c
Soja Perene	3,70 c	5,79 a	1,33 a	0,68 d	0,43 d	61,65 c
Guandu Anão	5,50 a	2,99 c	1,22 a	1,84 a	1,19 a	146,26 a
Calopogônio	4,40 b	4,97 b	1,29 a	1,19 c	0,66 c	93,10 b
Vegetação espontânea	4,20 b	2,70 c	1,00 b	1,54 b	1,00 b	100,00 b
CV (%)	6,47	7,51	6,59	11,10	13,93	5,26

C_L - carbono lábil; C_{NL} - carbono não lábil; ICC- índice de compartimento de carbono; L- labilidade; IL- índice de labilidade; IMC- índice de manejo do carbono. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

O ICC apresentou maior valor na adubação com soja perene, porém não diferiu com relação às outras espécies de leguminosas, as quais diferiram apenas com relação ao cultivo de referência (vegetação espontânea). O fato das leguminosas apresentarem valores maiores de ICC quando comparada com a vegetação espontânea demonstra a eficiência da utilização da adubação verde na disponibilidade de carbono ao solo.

Segundo Silva et al. (2011), a manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo proporciona a decomposição lenta do material vegetal depositado, favorecendo o acúmulo de CL, CNL e aumentam o IMC. Ainda segundo estes autores o IMC permite comparar as mudanças que ocorrem no COT e CL em consequência do uso e manejo do solo.

O resultado de L apresentou o mesmo comportamento do IL, onde o guandu anão diferiu estatisticamente dos demais tratamentos nas duas variáveis analisadas. Observa-se que a crotalária, soja perene e o calopogônio apresentaram valores menores com relação ao sistema de referência (vegetação espontânea).

O IMC leva em consideração a labilidade da matéria orgânica do solo e as alterações nos estoques de COT, como forma de avaliar o desempenho de determinado sistema de manejo (ROSSI et al., 2012). Valores de IMC inferiores a 100 indicam práticas prejudiciais a manutenção da matéria orgânica e da qualidade do solo, enquanto que valores inferiores a 100 são indicativos de impacto negativo das práticas de manejo sobre os teores da matéria orgânica do solo (BLAIR et al., 1995; SILVA et al. 2011). O

IMC foi maior no solo com cultivo com guandu anão, demonstrando que o resíduo vegetal desta leguminosa deixado sob o solo foi suficiente na manutenção dos estoques de carbono, já que o mesmo apresentou um IMC de 146,26, portanto, superior ao de referência. O mesmo não foi observado para os demais tratamentos, os quais apresentaram valor de IMC inferior ao da vegetação espontânea. Diekow et al. (2005) ao avaliarem um Argissolo submetido a diferentes sistemas de cultura sob plantio direto, observaram que, no sistema com maior aporte de resíduos ao solo, o IMC foi maior (256), enquanto o IMC no solo descoberto este índice foi bem mais baixo, próximo de 56. Isso enfatiza a importância da utilização de resíduos vegetais como condicionadores da melhoria da qualidade do solo.

3.2. Ácidos orgânicos

Através da análise dos cromatogramas (Figuras 3 e 4) observou-se que foi detectado um único tipo de ácido orgânico nos tratamentos estudados, comparando-se com os picos dos padrões disponíveis. Os cromatogramas mostram picos de boa resolução para o ácido acético, sendo o mesmo avaliado em um tempo geral de 30 minutos.

Na tabela 4 se encontram as concentrações do ácido acético observada nos diferentes tratamentos. Em todos os cromatogramas foram observados outros picos de menor intensidade e com outros tempos de retenção, porém estes não foram identificados com nenhum dos padrões de ácidos orgânicos utilizados para a leitura no cromatografo gasoso (GCMS).

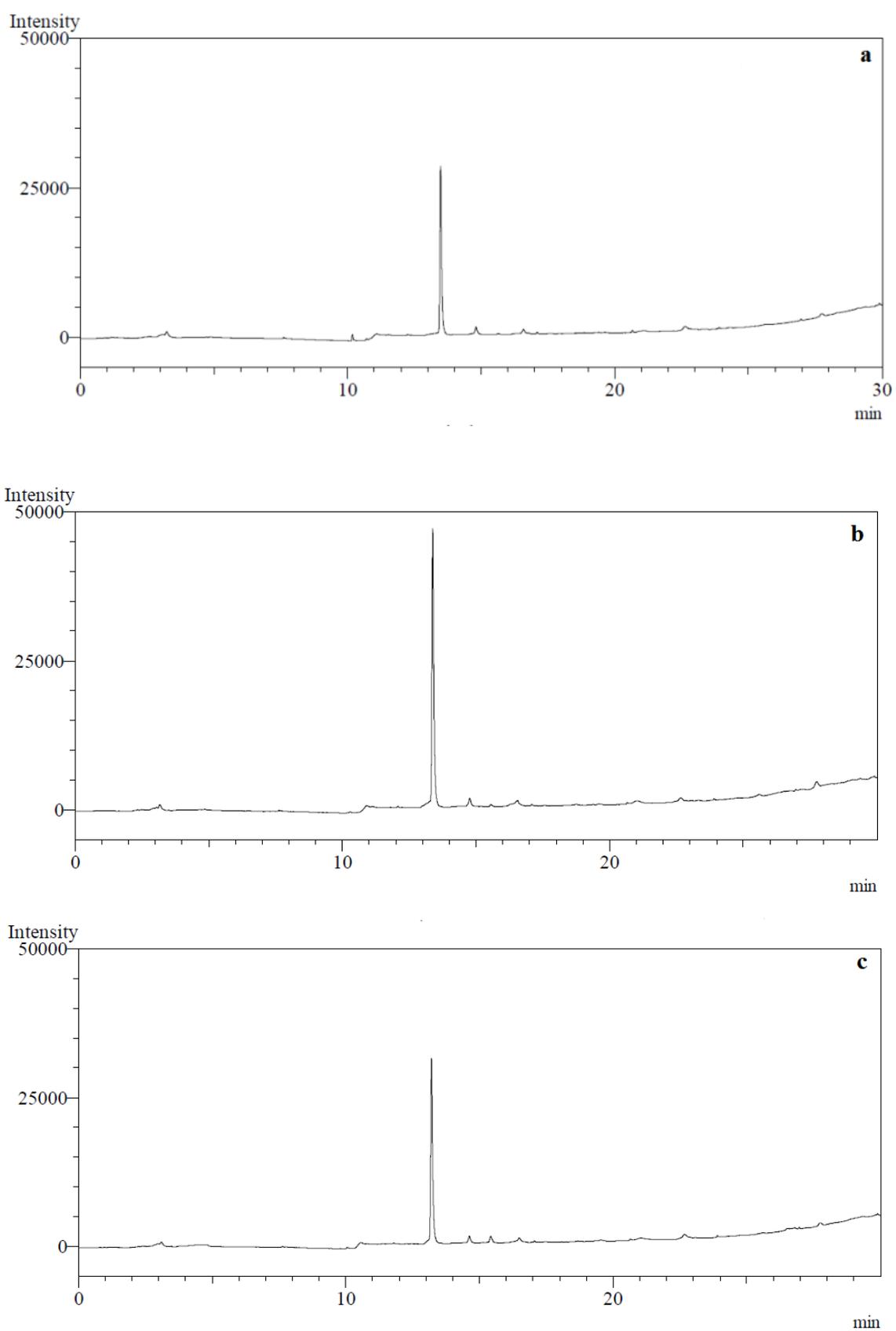


Figura 3. Cromatogramas demonstrando a presença de ácido acético nos tratamentos: a. crotalária; b. soja perene; e c. guandu año.

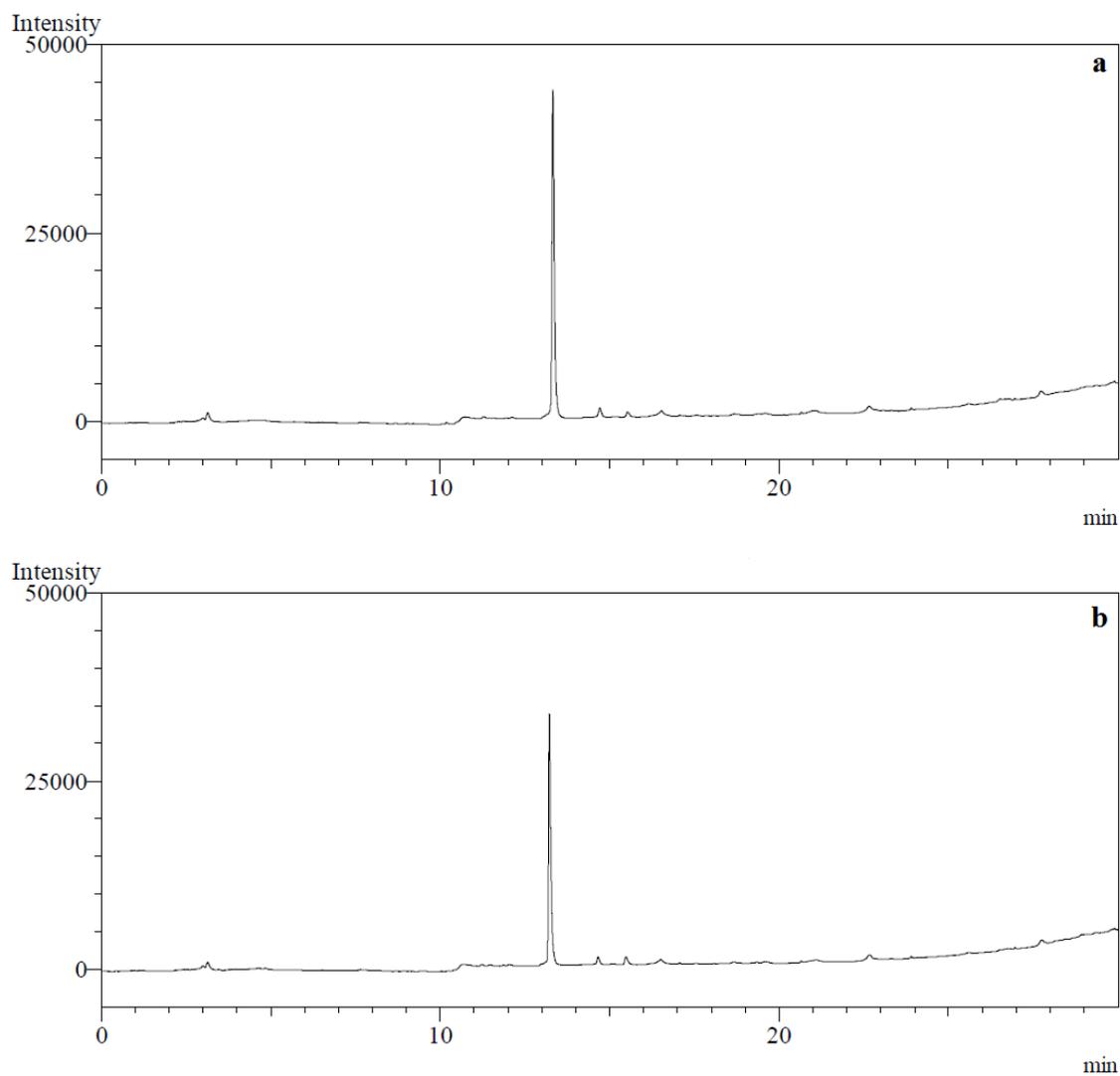


Figura 4. Cromatogramas demonstrando a presença de ácido acético nos tratamentos: d.calopogônio; e. vegetação espontânea.

Tabela 4. Concentração do ácido acético em solos cultivados com diferentes adubos verdes em Argissolo Amarelo.

Tratamentos	Ácido Acético mg Kg ⁻¹
Crotalária	44,20
Soja Perene	813,62
Guandu Anão	54,22
Calopogônio	72,42
Vegetação espontânea	55,43

O solo cultivado com a soja perene apresentou a maior concentração do ácido acético quando comparado com os tratamentos com as outras leguminosas e com a vegetação espontânea. O tratamento no qual foi realizado o cultivo com crotalaria apresentou a menor concentração do ácido acético, com $44,20 \text{ mg kg}^{-1}$, podendo este fato estar relacionado com o fato da mesma também ter apresentado os menores teores na fração F1, considerada a fração mais lábil.

Os ácidos orgânicos são produzidos pelos microrganismos do solo, sendo sua produção alterada pelos fatores que influenciam a atividade microbiana, afetando, conseqüentemente, a liberação destes ácidos para a solução do solo (BOHNEN et al., 2005; KOPP et al., 2007). Estando a atividade microbiana do solo relacionada com a quantidade, qualidade e o tipo de resíduo vegetal depositado no solo, a diversidade e a concentração dos ácidos orgânicos estão diretamente relacionados com a espécie vegetal utilizada. Com isso, pode-se observar no presente estudo que, as diferentes espécies de leguminosas utilizadas não apresentaram diferença quanto ao ácido orgânico identificado, apresentando apenas diferença quanto a sua concentração no solo.

O aumento na concentração dos ácidos orgânicos está relacionado à quantidade de carbono de fácil decomposição presente nos resíduos vegetais (ANDRADE et al., 2003; MATIAS, 2010). A produção destes atinge seu nível de equilíbrio durante a decomposição dos resíduos orgânicos e após isso, há uma redução de sua concentração no solo. Esse efeito deve-se a rápida decomposição de alguns ácidos orgânicos (BOHNEN et al., 2005).

Badinelli e Tunes (2008), afirmam que os ácidos butírico e propiônico são os que se apresentam em maior concentração no solo e predominam por maior tempo, fato este que não corrobora com o presente trabalho, já que não foi detectada a presença do ácido butírico nos solos estudados. Já Guppy et al. (2005), afirma que os ácidos orgânicos mais ativos no solo são cítrico, oxálico, glucônico, láctico e málico. Essas informações contraditórias se explicam pelo fato da diversidade e concentração dos ácidos orgânicos estarem relacionados às características do solo e dos resíduos vegetais utilizados (BOHNEN et al., 2005).

O ácido acético encontrado nos tratamentos com diferentes adubos verdes e na vegetação espontânea é um ácido orgânico alifático de cadeia curta e baixo peso

molecular, apresentando dois carbonos na sua estrutura molecular, tendo importância na disponibilidade de nutrientes as plantas (TUNES et al., 2008; BOHNEN et al., 2005).

Vale ressaltar que as amostras de solo utilizadas no presente estudo não foram coletadas na rizosfera das leguminosas, sendo coletadas 90 dias após o corte das mesmas, podendo este fato estar relacionado à ausência de outros tipos de ácidos orgânicos. Segundo vários estudos, é na rizosfera que ocorre uma maior liberação pelas raízes de compostos orgânicos de fácil decomposição, os quais são utilizados pelos microrganismos do solo como matéria prima para a produção de ácidos orgânicos, resultando assim em um aumento na concentração e diversidade destes ácidos (PIRES et al., 2007; BOHNEN et al., 2005). Outro fator que pode estar relacionada a não identificação de outros ácidos orgânicos nos tratamentos estudados pode estar relacionado ao processo de extração das amostras, podendo ter ocorrido perdas analíticas por volatilização, ou até mesmo por problemas de detecção apresentados pela técnica cromatográfica utilizada.

4. CONCLUSÕES

1. O tratamento com feijão guandu anão apresentou maior valor da fração F1, sendo assim, o tratamento que contribuiu com maior teor de fração leve livre da matéria orgânica.
2. A utilização da crotalaria como adubo verde proporcionou aumentos nos teores de C da fração F2 e F3.
4. A utilização do guandu anão promoveu um maior IMC, demonstrando que o resíduo vegetal desta leguminosa deixado sob o solo foi suficiente na manutenção dos estoques de carbono,
5. O ácido acético esteve presente no solo em todos os tratamentos avaliados, sendo sua maior concentração observada após a utilização da soja perene.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V.; NOVAIS, R. F. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.27, p.1003-1011, 2003.

AQUINO, F. T. e SANTIAGO-SILVA, M. Determinação de ácidos carboxílicos em composto de resíduos sólidos urbanos por cromatografia gasosa com detector de ionização em chama. **Eclética Química**, v.31, p.25-30, 2006.

BADINELLI, P. G.; TUNES, L. M. Avaliação de diferentes concentrações do ácido acético, propiônico e butírico em sementes de aveia branca. **Anais da Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia**, Pelotas, Brasil, p.322-328. 2008.

BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B. e 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 Research**, 46:1459-1466, 1995.

BOHNEN, H.; SILVA, L. S.; MACEDO, V. R. M.; MARCOLIN, E. Ácidos orgânicos na solução de um gleissolo sob diferentes sistemas de cultivo com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p. 475-480. 2005.

CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an Paleustalf under different pasture leys. **Soil Science**, v. 166, p. 61-67, 2001.

CHIARADIA, M. C.; COLLINS, C. H.; JARDIM, I. C. S. F. O estado da arte da cromatografia associada à espectrometria de massas acoplada à espectrometria de massas na análise de compostos tóxicos de alimentos. **Química Nova**, v. 31, p. 623-636, 2008.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P.; KÖGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilisation in a Southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil and Tillage Research**, v.81, p.87-95, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Brasília, Produção de informação; Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 306p., 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília, Informação Tecnológica, 2009. 628p.

FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**, v.231, p.55-63, 2001.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Oxidizable carbon fractions in Red Latosol under different management systems. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 44, p.242-250, 2012.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W.; BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, v.43, p.189-202, 2005.

KOPP, M. M.; LUZ, V. K.; COIMBRA, J. L. M.; SOUSA, R. O.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A.C. Níveis críticos dos ácidos acético, propiônico e butírico

para estudos de toxicidade em arroz em solução nutritiva. **Acta Botanica Brasilica** v.2, p.147-154, 2007.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; FERREIRA, E. P.; SANTOS, L. L.; BEUTLER, S. J.; JUNIOR, A. S. L. F. Frações oxidáveis do carbono orgânico em Argissolo Vermelho-Amarelo sob sistema de Aleias. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.33, p.867-874, 2009.

MAIA, S. M. F.; XAVIER, F. A. S.; OLIVEIRA, T. S. O.; MENDONÇA, E. S.; FILHO, J. A. Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. **Agroforestry Systems**, v. 71, p.127-138, 2007.

MATIAS, G. C. S. **Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de fósforo e teores de matéria orgânica**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), 2010, 174p. (Tese de Doutorado).

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, p.101-110, 2008.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107 p.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, p. 911-920, 2008.

PIRES, A. M. M.; MARCHI, G; MATTIAZZO, M. E.; GUILHERME, L. R. G. Organic acids in the rhizosphere and phytoavailability of sewage sludge-borne trace elements. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p. 917-924 . 2007

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A.; GUIMARAES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G. Frações oxidáveis do carbono orgânico de latossolo cultivado com cafeeiro em diferentes espaçamentos de plantio. **Ciência Agrotecnica**, v.32, p.429-437, 2008.

ROSA, M. E. C.; OLSZEWSKI, N.; MENDONÇA, E. S.; COSTA, L. M.; CORREIA, J. R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.27, p.911-923, 2003.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; POLIDORO, J. C.; GIÁCOMO, S. G.; BETTA, M. Frações orgânicas e índice de manejo de carbono do solo em Latossolo Vermelho sob plantio de soja no cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, p.233-241, 2012.

SILVA, F. A. M. S.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P.T.G.; GODINHO, A.; MALTA, M. R. Determinação de ácidos orgânicos de baixo peso Molecular na rizosfera de cafeeiro por Cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE). *Ciência e agrotecnologia, Edição Especial*, p.1391-1395, 2002.

SILVA, E. F. LOURENTE, E. P. R.; MARCHETTI, M. E. ;MERCANTE, F. M.; FERREIRA, A. K. T.; FUJII, G. C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária, *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.1321-1331, 2011.

SOUZA, E. D; CARNEIRO, M. A. C; PAULINO, E. B; SILVA, C. A; BUZETTI, S. Frações do carbono orgânico, biomassa e atividade microbiana em um Latossolo Vermelho sob cerrado submetido a diferentes sistemas de manejos e usos do solo. **Acta Scientiarum Agronomy**. v. 28, p. 323-329, 2006.

SOUZA, R. S.; CARVALHO, L. R. F. Origem e implicações dos ácidos carboxílicos na atmosfera. **Química Nova**, v. 24, n. 1,p.60-67, 2001.

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**, v.33, p.1829-1836, 2009.

TUNES, L. M.; OLIVO, F.; BADINELLI, P. G.; CANTOS, A.; BARROS, A. C. S. A. Aspectos fisiológicos da toxidez de ácidos orgânicos em sementes de aveia. **Revista Biotemas**, v.21, p.21-28, 2008.

VAN HEES, P.A.W.; JONES, D.L.; FINLAYC, R.; GODBOLDB, D.L.; LUNDSTROM, U.S. The carbon we do not see – the impact of low molecular weight compounds on carbon dynamics and respiration in forest soils: a review. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, p.1-13, 2005.

CAPITULO IV**EFEITO DA APLICAÇÃO DE CALCÁRIO NOS ATRIBUTOS BIOQUÍMICOS
DE UM LATOSSOLO HÚMICO**

RESUMO

A acidez é um dos fatores que mais afeta a produtividade das culturas nos solos brasileiros, limitando o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, a utilização de água e de nutrientes em profundidade. Dentre essas alterações que podem vir a alterar a atividade microbiana se encontram a aeração do solo, pH, temperatura, umidade e cobertura vegetal. Devido à baixa solubilidade do calcário, sua ação neutralizante depende da superfície de contato e do tempo de reação com o solo. O objetivo do trabalho foi avaliar, em diferentes períodos de incubação, as alterações ocorridas nas características químicas e nos atributos biológicos de um Latossolo Húmico. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5, com quatro repetições, sendo o primeiro fator representado pelos tratamentos SC (sem aplicação de calcário) e CC (com aplicação de calcário), e o segundo fator os 5 períodos de avaliação (7, 14, 30, 45 e 60 dias). A dose de calcário aplicada foi de 3,35 t ha⁻¹, sendo baseada na recomendação para a cultura do milho. Foi realizada a caracterização química, atributos biológicos, identificação e quantificação de ácidos orgânicos no solo após a aplicação dos tratamentos. A aplicação de calcário aumentou o pH do solo e os teores de cálcio, além de reduzir a acidez potencial do solo. O teor de fósforo foi maior no período de 30 dias após a aplicação de calcário (3,50 mg kg⁻¹). Os maiores teores de sódio foram observados no período de 60 dias, nos tratamentos com e sem a aplicação de calcário. O maior teor de nitrogênio foi obtido aos 45 dias após a aplicação de calcário. O teor do carbono da biomassa microbiana foi maior aos 7 dias no solo onde não houve a aplicação de calcário, com 383,68 mg de C-CBM Kg⁻¹. A maior quantidade de carbono orgânico total foi observada aos 14 dias no tratamento sem aplicação de calcário. A maior atividade respiratória foi observada no solo onde não houve a aplicação de calcário nos períodos de 30 e 60 dias. Para os tratamentos com a aplicação de calcário, foi detectada a presença do ácido acético em todos os períodos avaliados, apresentando o período de 30 dias a maior concentração, com 16,21 mg kg⁻¹. Apenas no período de 7 dias no tratamento sem aplicação de calcário foi observada a presença do ácido acético.

Palavra-chave: acidez, pH, indicadores biológicos, ácidos orgânicos

ABSTRACT

Acidity is one of the factors that affect crop productivity in Brazilian soils, limiting root development and hence the use of water and nutrients in depth. Among those changes that may come to change the microbial activity are soil aeration, pH, temperature, moisture and vegetation cover. Due to the low solubility of limestone, its neutralizing action depends on the contact surface and the reaction time with the ground. The aim of this study was to evaluate, in different periods of incubation, the changes in chemical and biological attributes of a dystrophic Humic. The experimental design was completely randomized in a 2x5 factorial arrangement with four replications, with the first factor represented by the SC treatments (without liming) and CC (with lime application), and the second factor 5 assessment periods (7, 14, 30, 45 and 60). The liming rate was 3.35 t ha^{-1} , being based on the recommendation for the corn crop. We performed the chemical, biological attributes, identification and quantification of organic acids in soil after application of the treatments. Liming increased soil pH and calcium, in addition to reducing the potential acidity of the soil. The phosphorus content was higher 30 days after the application of limestone (3.50 mg kg^{-1}). The highest levels of sodium were observed within 60 days in treatments with and without liming. The higher nitrogen content was obtained 45 days after lime application. The content of the microbial biomass was higher at 7 days in the ground where there was liming with $383.68 \text{ mg C kg-CBM}^{-1}$. The largest amount of total organic carbon was observed at 14 days in water without liming. The higher respiratory activity was observed in the soil where no lime application in periods of 30 and 60 days. For treatments with lime application, detected the presence of acetic acid in all periods, with a period of 30 days at the highest concentration, with 16.21 mg kg^{-1} . Only in the period of 7 days in the treatment without lime application was observed the presence of acetic acid.

Keyword: acidity, pH, biological indicators, organic acids

1. INTRODUÇÃO

A acidez é um dos fatores que mais afeta a produtividade das culturas nos solos brasileiros, limitando o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, a utilização de água e de nutrientes em profundidade (VILELA, et al. 2010). Esta acidez, indicada pelos baixos valores de pH, é representada principalmente pelos altos teores de hidrogênio (H^+) e alumínio (Al^{3+}), aliada à carência de bases trocáveis como o cálcio (Ca^{2+}) e o magnésio (Mg^{2+}). A aplicação de calcário além de reduzir os teores de $H^+ + Al^{3+}$, diminui a fração de alumínio fitotóxico e aumenta o teores de Ca e Mg na solução do solo (KAMINSKI et al., 2005; RHEINHEIMER et al., 2000).

No solo existem diversas interrelações entre os atributos físicos, químicos e biológicos, os quais controlam os processos e os aspectos relacionados à sua variação no tempo e no espaço, de maneira que qualquer alteração no solo pode alterar diretamente sua atividade biológica (CUNHA et al., 2012; CARNEIRO et al., 2009). Dentre essas alterações que podem vir a alterar a atividade microbiana se encontram a aeração do solo, pH, temperatura, umidade e cobertura vegetal (PAVANELLI e ARAÚJO, 2010).

A adição do calcário favorece a elevação do pH do solo, e, além de diminuir ou eliminar a fitotoxidez do Al e do Mn, também influencia na disponibilidade de fósforo, aumentando a produção de fitomassa das culturas, levando a uma maior adição de matéria orgânica, incrementando assim a atividade microbiana e a estabilidade dos agregados (ALBUQUERQUE et al., 2003).

Durante o processo de decomposição dos resíduos vegetais no solo ocorre a liberação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, sendo estes produtos secundários do metabolismo de compostos de alto peso molecular, como carboidratos, lipídeos e peptídeos (SOUZA e CARVALHO, 2001; VAN HESS et al., 2005). Estes compostos orgânicos apresentam capacidade de complexar e mobilizar cálcio e magnésio, e neutralizar o alumínio em profundidade, sendo sua eficiência no solo dependente do pH (AMARAL e ARGINONI 2001; PIRES et al., 2007; PAVINATO e ROSOLEM, 2008).

Devido à baixa solubilidade do calcário, sua ação neutralizante depende da superfície de contato e do tempo de reação com o solo. Diante do exposto, o objetivo do

trabalho foi avaliar, em diferentes períodos de incubação, as alterações ocorridas nas características químicas e nos atributos biológicos de um Latossolo Húmico após a aplicação de calcário.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O ensaio experimental foi conduzido no laboratório de solos da Universidade Federal Rural de Pernambuco – Unidade Acadêmica de Garanhuns (UFRPE/UAG). O solo utilizado foi um Latossolo Húmico, coletado em uma área de mata localizada no município de Brejão – PE. As amostras foram coletadas na profundidade de 0 - 20 cm, após a retirada da vegetação e dos restos vegetais presentes na superfície. O solo apresentou as seguintes características químicas: pH em água (5,00), P (2,00 mg kg⁻¹), K (0,11 cmolc dm⁻³), Mg (1,0 cmolc dm⁻³), Na (0,35 cmolc dm⁻³), Ca (0,40 cmolc dm⁻³), Al (1,67 cmolc dm⁻³) e H+Al (1,32 cmolc dm⁻³), soma de bases (1,86 cmol_c dm⁻³), capacidade de troca catiônica (3,18 cmol_c dm⁻³) e saturação por bases (58,49%), sendo o mesmo analisado de acordo com metodologia da Embrapa (2009).

O solo foi seco e destorroado, sendo o mesmo peneirado e transferido para recipientes com capacidade de 1 dm³. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2x5, com quatro repetições, sendo o primeiro fator representado pelos tratamentos SC (sem aplicação de calcário) e CC (com aplicação de calcário), e o segundo fator os 5 períodos de avaliação (7, 14, 30, 45 e 60 dias). A dose de calcário nos tratamentos CC foi de 3,35 t ha⁻¹, sendo baseada na recomendação para a cultura do milho, segundo CAVALCANTI (2008). A fonte de CaCO₃ utilizada foi o carbonato de cálcio p.a. A umidade do solo foi mantida a 70% da capacidade de campo, sendo monitorada semanalmente através da pesagem dos recipientes.

Após cada período de incubação, o solo foi colocado para secar, sendo posteriormente peneirado e submetido às análises químicas e biológicas, sendo as mesmas realizadas no CENLAG (Centro de Laboratórios de Garanhuns) localizado na UAG/UFRPE.

As análises químicas realizadas foram: pH, fósforo (P), sódio (Na), potássio (K), cálcio alumínio (Al), acidez potencial (H+Al) e nitrogênio total (N). O pH foi

determinado em água (1:2,5). O P, Na e K foram extraído Mehlich 1 ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol L}^{-1}$ + $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol L}^{-1}$), sendo o P determinado por colorimetria (comprimento de onda 725 nm) e Na e K por fotometria de chama. O Ca + Mg e o Al foram extraído com solução de KCl 1 mol L^{-1} e determinados por titulometria, sendo o Ca + Mg com solução de EDTA $0,0125 \text{ mol L}^{-1}$ e o Al com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$. A H+Al foi extraída com $\text{CH}_3\text{COO}_2\text{Ca } 0,5 \text{ mol L}^{-1}$, sendo determinados por titulometria com solução de NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$. A determinação do N foi realizada através da digestão Kjeldahl, determinando-se o nitrogênio por destilação - titulação Kjeldahl. Todas as análises foram realizadas segundo metodologia da Embrapa (2009).

As avaliações dos indicadores biológicos do solo foram realizadas através da determinação do carbono da biomassa microbiana do solo (CBM), da respiração basal (RB), do carbono orgânico total (COT), do carbono solúvel em água (CSA), do quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) e do quociente microbiano ($q\text{MIC}$).

Para determinar o carbono da biomassa microbiana do solo (CBM) foi realizado o processo de irradiação-extração conforme Mendonça e Matos (2005). A quantificação do CBM foi feita pela metodologia de BARTLETT e ROSS (1988), utilizando permanganato de potássio como agente oxidante e leitura das amostras em espectrofotômetro.

A respiração basal (RB) foi quantificada pelo CO_2 evoluído a partir de 30 g de solo, incubado durante 72 horas, extraído com solução de NaOH $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ e titulado com HCl $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ (MENDONÇA e MATOS, 2005). O Carbono orgânico total (COT) foi determinado por oxidação da matéria orgânica com dicromato de potássio na presença de ácido sulfúrico concentrado (Walkley-Black) e titulação com sulfato ferroso amoniacal, como descrito por Mendonça e Matos (2005).

Para determinar o carbono solúvel em água (CSA) utilizou-se uma amostra de 10 g de solo de cada tratamento em 20 mL de H_2O , agitando-se em seguida a suspensão por 10 min em agitador horizontal, centrifugada a 1500 g por 10min e, posteriormente, filtrada em papel de filtro quantitativo. A determinação do carbono foi feita por colorimetria (BARTLETT e ROSS, 1988).

A partir dos dados obtidos foram calculados os índices: quociente metabólico ($q\text{CO}_2$), determinado pela razão C- CO_2 liberado / biomassa microbiana (Anderson e Domsch, 1993) e o quociente microbiano ($q\text{MIC}$), determinado pela expressão

(CBM/COT)/10 (SPARLING, 1992).

Para extração e quantificação dos ácidos orgânicos foram utilizados 10g de solo e 20 mL de água Milli-Q (água purificada por destilação e deionizada em sistema Milli-Q da Millipore), sendo agitados em agitador horizontal por 15 min a 200 rpm, posteriormente, foram centrifugados a 1500 rpm por 10 min, em seguida, o sobrenadante foi filtrado em papel quantitativo lento e submetido a análise.

Foi utilizado cromatografo gasoso modelo GCMS – QP2010 Plus (Shimadzu) e coluna capilar Nukol, com dimensões de 30m, 0,32mm de diâmetro interno e 0,25 μ m de espessura de filme (Supelco, USA). A temperatura inicial do forno foi de 60° C, mantida por 1 min, seguida com taxa de aumento de 5° C/min até 200° C, sendo mantida nessa temperatura por 1 min. A temperatura do detector de chama (FID) e injetor foi de 200° C, e o volume de injeção de 2 μ L, sendo as configurações foram feitas de acordo com o proposto por Aquino e Santiago-Silva (2006).

O gás hélio foi usado como gás de arraste, com vazão de 30 mL min⁻¹. O detector de ionização em chama foi alimentado por ar e hidrogênio, a uma vazão de 400 mL min⁻¹ e 30 mL min⁻¹, respectivamente. Para identificação utilizou-se comparação do tempo de retenção com padrões de alta pureza (>99%) obtidos da Sigma Aldrich (St.Louis, USA). A partir desses padrões foram preparadas soluções de trabalho contendo os ácidos, em concentrações de 500, 1000 e 10000 ppm, por diluição em água ultrapura. Os picos correspondentes a cada ácido foram identificados pelo tempo de retenção, utilizando-se como comparação os tempos de retenção dos padrões: Acético, Butírico, Propiônico, Succinico, Cítrico e Maleico. As concentrações de cada ácido nos tratamentos foram calculadas por meio da área referente à concentração de 10000 mg L⁻¹ de cada padrão analisado.

Os resultados das análises químicas e dos indicadores biológicos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas por meio do teste de Scott-Knott (P<0,05), realizada pelo programa SISVAR (FERREIRA, 2000). Os resultados referentes aos ácidos orgânicos não foram submetidos a análise de variância, sendo realizada apenas a identificação e quantificação da concentração dos ácidos nas amostras.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Química do solo

Houve interação significativa entre a aplicação de calcário e os períodos de incubação para as variáveis pH, fósforo (P), cálcio (Ca), sódio (Na), acidez potencial (H^+Al^{3+}) e nitrogênio (N). Para a variável alumínio (Al) houve efeito significativo apenas para o fator dose de calcário. Para as variáveis magnésio (Mg) e potássio (K) não houve diferença significativa, nem para a dose, nem para os períodos de incubação (Tabela 1).

Ao avaliar a aplicação de calcário foi possível observar que o mesmo aumentou o pH do solo, apresentando valor significativamente maior quando comparado ao solo no qual não houve aplicação do tratamento, demonstrando que a dose de $3,35 \text{ t ha}^{-1}$ aplicada foi suficiente. Isso já era esperado, pois a calagem é uma das práticas mais efetivas na correção de acidez do solo. Com relação aos períodos, observou-se que, no tratamento SC, o período de 7 dias apresentou maior valor de pH, sendo o mesmo reduzido no decorrer dos períodos de incubação. Já para o tratamento CC, não houve diferença significativa nos períodos avaliados, permanecendo o mesmo valor de pH. Levando-se em consideração que uma calagem eficiente é aquela que eleva o pH do solo a faixa de 5,5 a 6,5, pode-se concluir que no presente estudo a mesma foi satisfatória.

Em trabalho desenvolvido por CAIRES et al. (2000), os autores observaram que o calcário aumentou o pH do solo de forma semelhante à calagem superficial, em uma dose única na camada de 0-5 cm, apresentando reação significativamente maior nas profundidades de 5-10 e 10-20 cm, sendo avaliado entre 23 e 35 meses após a aplicação do calcário. Já RHEINHEIMER et al. (2000), não observou alterações no pH de um Argissolo Acinzentado com pastagem natural após a aplicação da dose de $2,0 \text{ t ha}^{-1}$, fato este que difere do presente trabalho, mas observaram redução dos teores de Al e aumento dos teores de Ca e Mg.

Com relação aos teores de P apenas no período de 30 dias foi possível observar diferença significativa, onde o solo no qual foi aplicado o calcário apresentou maior teor de P ($3,50 \text{ mg kg}^{-1}$) quando comparado ao solo no qual não houve a aplicação do

tratamento. Observando os teores de P dos períodos dentro de cada dose, constatou-se que no tratamento SC o melhor período foi o de 45 dias, havendo uma maior disponibilidade desse nutriente. Já com relação ao tratamento CC, não houve diferença significativa nos períodos de 7, 14, 30 e 45 dias, havendo uma redução nos teores de P aos 60 dias após incubação. A calagem, além de corrigir a acidez do solo, também disponibiliza P ao solo (ARAUJO et al., 2009), fato este que não foi observado com muita significância nesse experimento, já que só foi observado aumento no teor de P após a aplicação do calcário em um período avaliado.

Tabela 1. Característica química de Latossolo Húmico após a aplicação de calcário, avaliada em diferentes períodos de incubação.

Tratamentos	Tempo (dias)				
	7	14	30	45	60
	pH				
SC	5,00 bA	4,50 bB	4,50 bC	4,00 bC	4,00 bC
CC	6,00 aA	6,00 aA	6,00 aA	6,00 aA	6,00 aA
CV (%)	4,76				
	P (mg kg ⁻¹)				
SC	2,93 aB	3,00 aB	2,75 bB	3,75 aA	2,00 aC
CC	3,25 aA	3,00 aA	3,50 aA	3,25 aA	2,00 aB
CV (%)	12,48				
	Ca (cmol _c dm ⁻³)				
SC	1,0 bA	1,00 bA	1,00 bA	1,00 bA	1,00 bA
CC	2,5 aB	3,50 aA	2,75 aB	3,25 aA	3,25 aA
CV (%)	18,59				
	Na (cmol _c dm ⁻³)				
SC	0,35 aA	0,31 aB	0,32 aB	0,32 aB	0,48 aA
CC	0,32 bB	0,30 aB	0,30 aB	0,34 aB	0,48 aA
CV (%)	6,92				
	H ⁺ Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)				
SC	6,12 aA	5,75 aA	5,60 aB	5,57 aB	5,25 aB
CC	3,00 aA	2,37 bB	2,22 bB	2,27 bB	2,30 bB
CV (%)	8,2				
	N (g kg ⁻¹)				
SC	0,74 aA	0,79 aA	0,74 aA	0,80 aA	0,74 aA
CC	0,46 bC	0,84 aA	0,79 aA	0,93 aA	0,63 aB
CV (%)	12,01				

* SC = sem aplicação de calcário; CC = com aplicação de calcário. Médias seguida de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

Houve um aumento no teor de Ca após a aplicação de calcário em todos os períodos avaliados. Só houve diferença significativa com relação às doses dentro de cada período com relação à aplicação do calcário, sendo maiores os teores desse nutriente nos períodos de 14, 45 e 60 dias. DIEHL et al.(2008) também observou aumento nos teores de Ca em amostras de Latossolo Vermelho distroférico argiloso 21 dias após a incubação de calcário.

Apenas no período de 7 dias houve diferença estatística das doses com relação aos teores de Na. Avaliando as doses dentro de cada período, observou-se que, quando não houve aplicação do calcário, os tempos que apresentaram maior teor de Na foram 7 e 60 dias, com 0,35 e 0,48 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente. Já após a aplicação da dose de calcário, foi observado maior teor de Na no período de 60 dias, diferindo dos demais períodos.

A acidez potencial foi alterada após a aplicação da dose de calcário, sendo observada redução significativa em todos os períodos. Com relação às doses dentro dos períodos foi observada diferença estatística nos dois tratamentos. Na D0, a acidez potencial nos períodos de 7 e 14 dias não diferiram estatisticamente, porém diferiram e apresentaram valores mais elevados que os demais períodos. No tratamento CC, o período de 7 dias foi o único que diferiu estatisticamente dos demais períodos.

Para os teores de N, foi observado que houve diferença significativa dos períodos dentro de cada dose apenas aos 7 dias de incubação. O período de 7 dias no tratamento CC foi o que apresentou o menor teor de N ($0,46 \text{ g kg}^{-1}$) quando comparado aos demais. Os maiores teores foram observados aos 14, 30 e 45 dias, com 0,84; 0,79 e $0,93 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente.

Em relação aos teores de Mg e K, não houve diferença significativa, apresentando média de $1,00 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ e $0,11 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente. O Al diferiu estatisticamente apenas com relação ao fator dose, apresentando média de $0,67 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para o tratamento SC e $0,05 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ para o tratamento CC. RHEINHEIMER et al. (2000), após aplicar a metade da dose de recomendação para a cultura do milho em um Argissolo Acinzentado, os autores observaram uma redução gradativa do teor de Al no solo de 3,0 para $0,5 \text{ cmol}_c \text{dm}^{-3}$ dos 6 aos 36 meses da aplicação, tornando a aumentar aos 48 meses de aplicação, observando assim o efeito residual do calcário no solo.

Em níveis elevados o alumínio causa inibição do alongamento da raiz principal e engrossamento das pontas das raízes, dificultando assim o desenvolvimento radicular e resultando em uma menor exploração das plantas por nutrientes e água do solo (SOUZA et al. (2007). O conhecimento da melhor dose de calcário e do seu período de atuação no solo é de fundamental importância para o estabelecimento de práticas de melhoria da fertilidade do solo, visando uma maior eficiência dos sistemas de produção agrícola e uso eficiente dos recursos naturais.

Os efeitos com relação às alterações químicas do solo após a aplicação do calcário são frequentemente relatados por vários autores (KAMINSKI et al., 2005; CAIRES et al., 2003; PETRERE e ANGHINONI, 2001; AMARAL, 2002; GATIBONI et al., 2003; RHEINHEIMER et al., 2000; MOREIRA et al., 2001). Porém, as alterações ocorridas no solo em diferentes períodos de avaliação da incubação do calcário, sem o cultivo de alguma cultura, são escassos, dificultando assim a comparação dos resultados obtidos no presente trabalho.

3.2. Indicadores biológicos

Para todas as variáveis avaliadas houve interação significativa com relação aos indicadores biológicos do solo após a aplicação de calcário (Tabela 2).

Foram observadas diferenças significativas de CBM com relação à aplicação ou não de calcário nos períodos de 14, 30 e 60 dias, onde, no período de 14 dias observou-se maior atividade microbiana no solo sem aplicação do calcário. Nos períodos de 7 e 45 dias foram observados os maiores valores de CBM, não diferindo estatisticamente entre si quando avaliado os períodos em cada tratamento. No tratamento SC foi observado maior valor de CBM no período de 7 dias, com 383,68 mg de C-CBM g⁻¹ solo seco, sendo esse teor reduzido no decorrer dos períodos, havendo um aumento apenas no período de 45 dias, decaindo em seguida aos 60 dias. Já no tratamento CC, o comportamento do CBM foi um pouco diferente nos períodos, sendo observado que o mesmo apresentou teor mais elevado aos 7 dias, decaindo aos 14, aumentando novamente aos 30 dias e voltando a reduzir aos 60 dias. Isso pode ter ocorrido devido a alterações de temperaturas durante o período do experimento, acarretando em uma variação na atividade dos microrganismos. Maiores valores de CBM indicam maior

equilíbrio da microbiota do solo, estando essa variável entre os indicadores mais sensíveis e valiosos quando se deseja avaliar a qualidade do solo (SILVA et al., 2010; CUNHA et al., 2012).

Tabela 2. Indicadores biológicos de Latossolo Húmico após a aplicação de calcário, avaliada em diferentes períodos de incubação.

Tratamentos	Tempo (dias)				
	7	14	30	45	60
	CBM (mg de C-CBM g ⁻¹ solo seco)				
SC	383,68 aA	340,91 aB	185,38 bC	335,82 aB	161,61 bC
CC	375,85 aA	252,52 bC	358,09 aA	335,82 aA	296,44 aB
CV (%)	9,28				
	COT (g kg ⁻¹)				
SC	3,83 aB	4,29 aA	3,60 aB	2,63 aC	4,26 aA
CC	3,49 aB	3,81 bA	3,49 aB	2,34 aC	3,21 bB
CV (%)	7,27				
	RBM (mg C-CO ₂ kg ⁻¹ solo hora ⁻¹)				
SC	1,46 bB	2,16 aA	2,39 aA	1,43 aB	2,39 aA
CC	1,94 aB	1,77 bB	2,29 aA	0,69 bC	2,64 aA
CV (%)	13,76				
	CSA (mg de C Kg ⁻¹ solo seco ⁻¹)				
SC	68,32 aB	57,79 aC	57,78 bC	76,58 aA	53,80 aC
CC	42,93 bD	55,05 aC	69,84 aA	49,05 bC	59,76 aB
CV (%)	8,52				
	qCO ₂				
SC	0,004 aB	0,006 aB	0,013 aA	0,004 aB	0,015 aA
CC	0,005 aB	0,006 aB	0,006 bB	0,002 aC	0,008 bA
CV (%)	22,04				
	qMIC				
SC	10,03 aB	7,99 aB	5,15 bC	12,92 aA	3,79 bC
CC	10,78 aB	6,69 aC	10,21 aB	14,52 aA	9,22 aB
CV (%)	15,96				

* SC = sem aplicação de calcário; CC = com aplicação de calcário; CBM = Carbono da biomassa microbiana (mg de C-CBM g⁻¹ solo seco); RBM = respiração basal microbiana (mg C-CO₂ kg⁻¹ solo hora⁻¹); COT = Carbono orgânico total do solo (g kg⁻¹); CSA = Carbono solúvel em água (mg de C Kg⁻¹ solo seco); qCO₂ = Quociente metabólico (mg C-CO₂ mg⁻¹ C-CBM dia⁻¹); qMIC = Quociente microbiano (%). Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas na linha, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (P<0,05).

Nos diferentes períodos avaliados foi observado que houve diferença estatística para o COT, com relação à aplicação do calcário, apenas aos 14 e 60 dias, sendo o COT maior, nos dois períodos, no tratamento SC. A diminuição do teor de COT nos solos pode estar relacionada ao aumento do consumo de carbono, o qual se encontra disponível para a atividade microbiana (JAKELAITIS et al., 2008). Esse fato condiz em partes com o ocorrido no presente estudo, pois, apenas no período de 60 dias observou-se uma relação entre os teores de COT e a atividade microbiana, ocorrendo uma redução de COT com aumento da atividade microbiana. Ao se avaliar as doses dentro de cada período, foi observado maiores valores de COT no tratamento SC, nos períodos de 14 e 60 dias, diferindo dos demais períodos. Já no tratamento CC, o maior valor foi observado apenas no período de 14 dias.

Segundo VILELA et al. (2010), a necessidade de correção da acidez do solo não está apenas relacionada com o pH, mas também com seu poder tampão hidrogeniônico, relacionando-se diretamente com os teores de matéria orgânica.

Valores maiores de RBM geralmente estão associados à maior atividade biológica que, por sua vez está diretamente relacionada com a quantidade de carbono lábil existente no solo. Porém, alta atividade microbiana nem sempre indica condições desejáveis, podendo, em curto prazo significar liberação de nutrientes e a longo prazo perda de carbono orgânico do solo para a atmosfera, o qual é ocasionado pelo estresse advindo de distúrbios ambientais (ARAÚJO et al., 2007; CUNHA et al., 2012). Desta forma, valores elevados de RBM tanto podem indicar situações de distúrbio quanto de alto nível de produtividade do sistema.

Pode-se observar que nos períodos de 7, 14 e 45 dias a RBM sofreu alterações devido a aplicação do calcário. No período de 7 dias a maior RBM foi obtida com a aplicação de calcário, já nos períodos de 14 e 45 dias, a aplicação do tratamento promoveu uma redução desta variável. Ao se avaliar as doses dentro de cada período, foi possível verificar que no tratamento SC houve uma menor perda de CO₂ pela respiração nos períodos de 7 e 45 dias. Com relação ao tratamento CC, foi no período de 45 dias que se obteve menor valor de RBM. Menores perdas de CO₂ pela respiração é um indicativo de que a biomassa microbiana está em equilíbrio promovendo uma maior incorporação de C à biomassa microbiana (ZAIA, et al., 2008).

O carbono solúvel em água é forma mais lábil de carbono, sendo portanto, a mais facilmente perdida, tendo o seu teor reduzido a medida que o processo de decomposição avança (PORTUGAL, et al., 2008; MELO et al., 2008). Foi observado menor teor de CSA dentro do tratamento SC nos períodos de 14, 30 e 60 dias, e no tratamento CC, o menor valor de CSA foi obtido no período de 7 dias. Ao fazer a comparação das doses dentro de cada período, observou-se que nos períodos de 7, 30 e 45 dias houve diferenças significativa, tendo o teor de CSA apresentado menor valor no tratamento CC nos períodos de 7 e 14 dias e maior valor no tratamento SC no período de 45 dias.

Menores valores de qCO_2 indicam ambiente mais estáveis, pois, à medida em que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização de recursos do ecossistema, menos CO_2 é perdido pela respiração e maior proporção de carbono é incorporada aos tecidos microbianos, resultando em diminuição do qCO_2 . Já valores elevados desse atributo são indicativos de ambiente submetido a alguma condição de estresse ou distúrbio (CUNHA et al., 2012; MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). Diante do exposto, ao se observar os períodos dentro de cada dose (SC e CC), apenas nos períodos de 30 e 60 dias houve diferença significativa, ambos no tratamento SC, sendo possível afirmar maior perturbação nestes tratamentos, apresentando valores de 0,013 e 0,015 $mg\ C-CO_2\ mg^{-1}\ C-CBM\ dia^{-1}$. Avaliando o qCO_2 de cada dose dentro dos períodos avaliados, observou-se que no tratamento SC os períodos que apresentaram maior valor foram os de 30 e 60 dias, diferindo dos demais períodos. Já com relação ao tratamento CC, o maior quociente foi obtido no período de 60 dias. Observou-se que no período de 60 dias, seja a dose dentro de cada período ou os períodos dentro de cada dose, foi o que obteve maior valor de qCO_2 , podendo-se afirmar que nesse período estavam ocorrendo perdas de carbono na forma de CO_2 para a atmosfera, tendo ocorrido algum estresse na população microbiana que consumiu mais energia, na forma de carbono, para a manutenção da mesma biomassa microbiana (CARNEIRO et al., 2008).

Os valores de quociente microbiano ($qMIC$) observados no presente estudo foram bastante variados. Este quociente reflete as perdas de carbono do solo e a estabilização do carbono orgânico pelas frações minerais do solo, indica se o conteúdo de carbono está se mantendo estável ou variando de acordo com as condições impostas ao sistema (GAMA-RODRIGUES e GAMA-RODRIGUES, 2008). Observando os

períodos dentro de cada dose constatou-se que houve diferença significativa nos períodos de 30 e 60 dias, onde em ambos, no tratamento CC foram observados os maiores valores quando comparado com o tratamento SC. Nos tratamentos SC e CC, em cada período avaliado, o maior valor de qMIC foi observado no período de 45 dias. Segundo JAKELAITIS et al. (2008), elevados valores de qMIC indicam uma maior eficiência na mineralização do carbono adicionado e, de forma geral, valores de qMIC inferiores a 1% podem ser atribuídos a algum fator limitante à atividade da biomassa microbiana.

3.3. Ácidos orgânicos

Após a análise dos cromatogramas e comparação dos picos detectados nas amostras com os padrões utilizados, observou-se apenas a presença do ácido acético, sendo os mesmos detectados em um tempo geral de 30 minutos.

Nos tratamentos sem a aplicação de calcário (SC), apenas no período de 7 dias foi detectada a presença do ácido acético, onde o mesmo apresentou concentração de 5,52 g kg⁻¹ (Tabela 3 e Figura 1). Para os tratamentos com a aplicação de calcário, foi detectada a presença do ácido acético em todos os períodos avaliados, apresentando o período de 30 dias a maior concentração, com 16,21 mg kg⁻¹ (Figuras 2 e 3).

Tabela 3. Concentrações do ácido acético nos diferentes períodos e tratamentos

Tratamentos	Tempo (dias)				
	7	14	30	45	60
	Ácido acético (mg kg ⁻¹)				
SC	5,52	-	-	-	-
CC	5,93	10,22	16,21	4,62	10,39

*SC = sem aplicação de calcário; CC = com aplicação de calcário.

Segundo ANDRADE et al. (2003), a concentração dos ácidos orgânicos está intimamente ligada ao pH do solo, resultante do equilíbrio entre populações de microrganismos e a alcalinidade do sistema, mostrando assim a importância da aplicação do calcário na liberação dos ácidos orgânicos e, conseqüentemente, na disponibilidade de nutrientes na solução do solo.

Os ácidos orgânicos são provenientes da decomposição dos resíduos vegetais pela atuação dos microrganismos, os quais possuem radicais funcionais que os tornam capazes de formar complexos orgânicos com alumínio, cálcio e magnésio, aumentando a mobilidade, no perfil do solo, dos produtos originados da dissolução do calcário aplicado (FRANCHINI et al., 2001; AMARAL et al., 2004).

A concentração de ácidos orgânicos é bem maior nos materiais vegetais, sendo 10 a 100 vezes maior que a encontrada no solo, no entanto, a adição deste material no solo resulta em rápido aumento da concentração dos ácidos orgânicos no solo, em determinado momento, consequência do balanço entre os processos de síntese e degradação, controlados pelos microrganismos do solo (GUPPY et al., 2005; PAVINATO e ROSOLEM, 2008). Segundo estes autores os ácidos orgânicos mais ativos no solo são cítrico, oxálico, glucônico, láctico e málico. Já Badinelli e Tunes (2008), afirmam que os ácidos butírico e propiônico são os que se apresentam em maior concentração no solo e predominam por maior tempo.

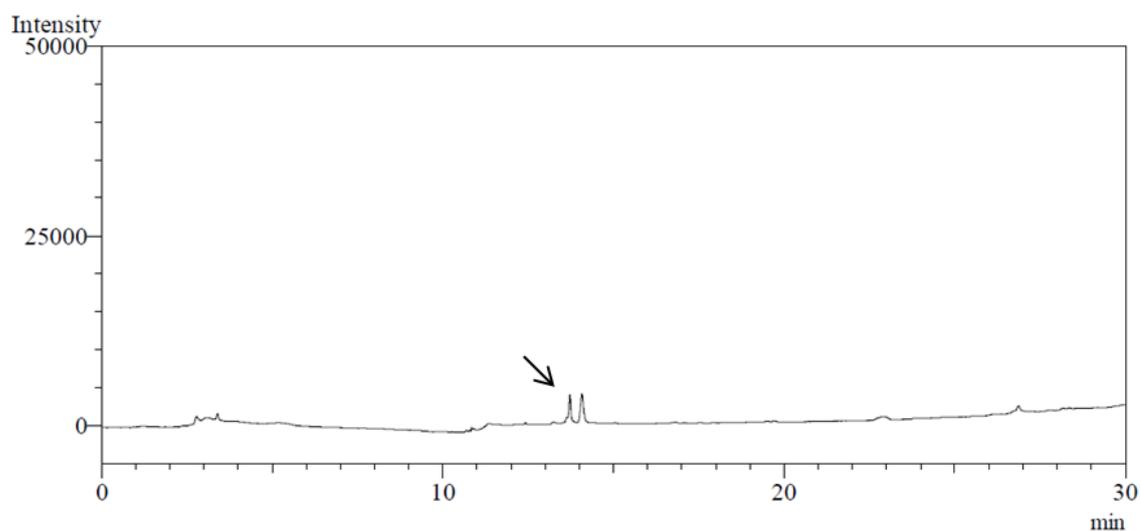


Figura 1. Cromatograma demonstrando a presença do ácido acético no tratamento SC após 7 dias de incubação.

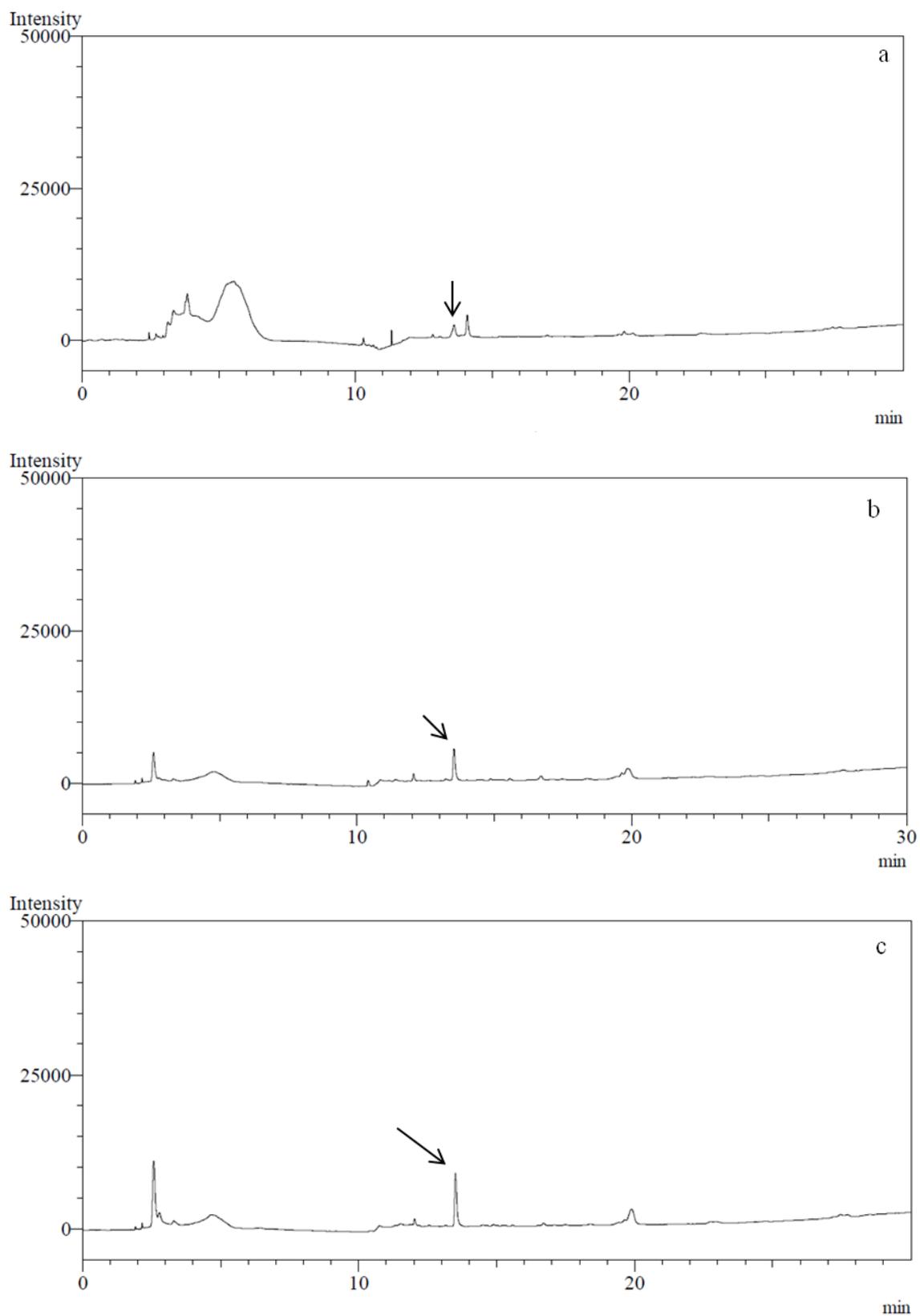


Figura 2. Cromatogramas demonstrando a presença do ácido acético nos tratamentos a. CC 7 dias; b. CC 14 dias e c. CC 30 dias.

A baixa diversidade de ácidos orgânicos observada nos tratamentos do presente trabalho pode ter ocorrido pelo fato das análises terem sido realizadas com solo seco. Segundo AMARAL et al. (2004), a secagem do solo compromete e influencia na dinâmica dos ácidos orgânicos no solo. Ainda segundo estes autores, alta atividade microbiana pode provocar transformações, reduzindo ou provocando o desaparecimento dos ácidos anteriormente presentes no solo, fato este que pode ter ocorrido no presente trabalho, pois a atividade microbiana não se mostrou estável nos diferentes períodos avaliados, devido a algum estresse na população microbiana, que, para manter a mesma biomassa microbiana, consome mais energia na forma de carbono (CARNEIRO et al., 2008).

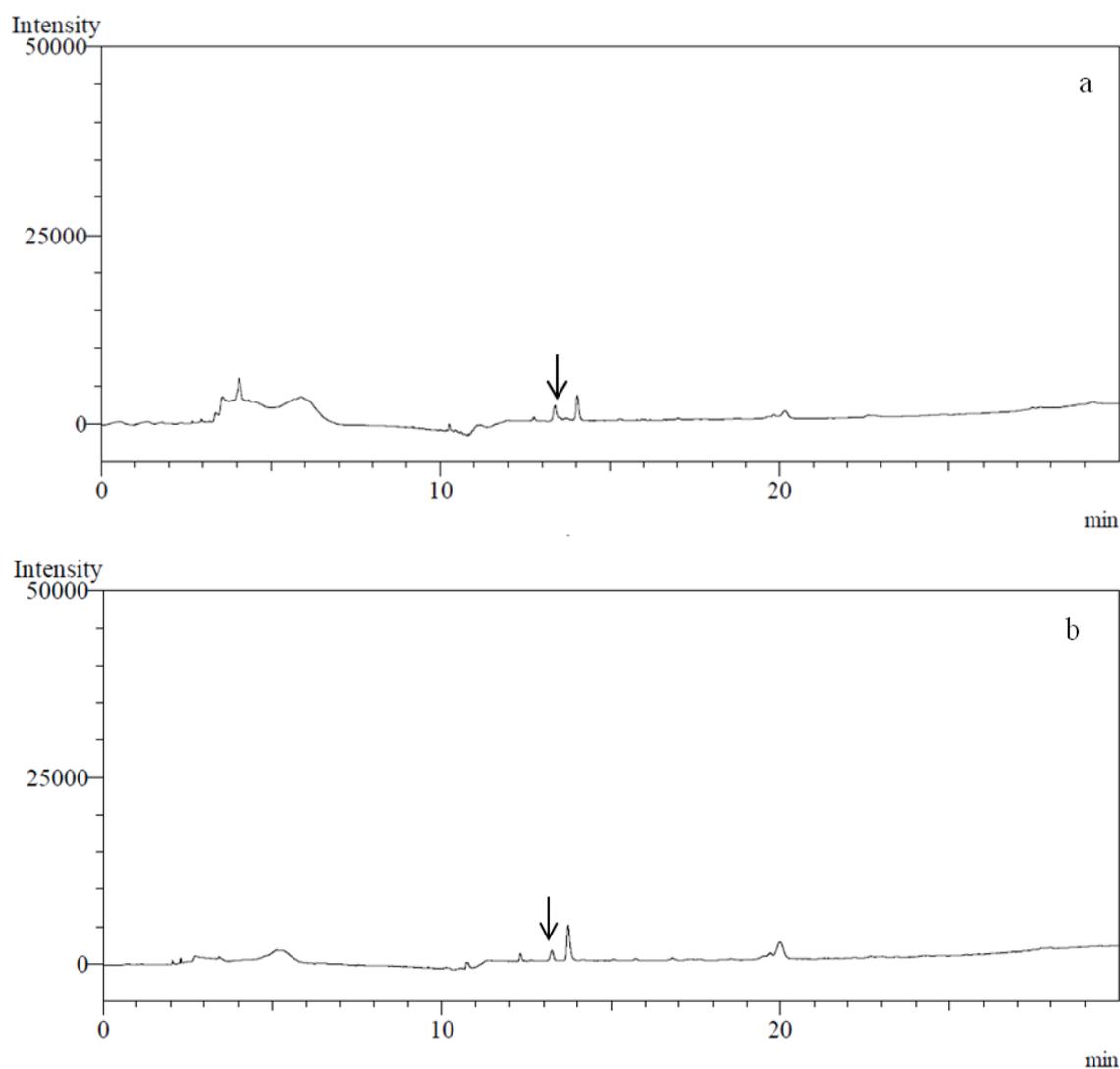


Figura 3. Cromatogramas demonstrando a presença do ácido acético nos tratamentos a. CC 45 dias e b. CC 60 dias.

4. CONCLUSÕES

1. A aplicação de calcário aumentou o pH do solo e os teores de Ca, além de reduzir a acidez potencial do solo.
2. Os indicadores biológicos apresentaram comportamento variáveis nos diferentes tratamentos e períodos avaliados.
3. A aplicação de calcário proporcionou a liberação do ácido acético.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 799-806. 2003.

AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I.; DESCHAMPS, F. C. Resíduos de plantas de cobertura e mobilidade dos produtos da dissolução do calcário aplicado na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. 2004, v.28, p. 115-123.

AMARAL, A. S. **Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002. 107p. (Tese de Doutorado).

AMARAL, A. S.; ANGINONI, I. Alteração de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.675-702, 2001.

ANDRADE, F. V. et al . Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. **Revista Brasileira de Ciências Solo**, v. 27, p.1003-1011, 2003.

AQUINO, F. T. e SANTIAGO-SILVA, M. Determinação de ácidos carboxílicos em composto de resíduos sólidos urbanos por cromatografia gasosa com detector de ionização em chama. **Eclética Química**, v.31, p.25-30, 2006.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1099-1108, 2007.

ARAÚJO, S. R.; DEMATTÊ, J. A. M; GARBUIO, F. J. Aplicação do calcário com diferentes graus de reatividade: alterações químicas no solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.1755-1764, 2009.

BADINELLI, P. G.; TUNES, L. M. Avaliação de diferentes concentrações do ácido acético, propiônico e butírico em sementes de aveia branca. **Anais da Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisa de Aveia**, Pelotas, Brasil, p.322-328, 2008.

BARTLETT, R. J.; ROSS, D. S. Colorimetric determination of oxidizable carbon in acid soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, v.52, p. 191-1192, 1988.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 161-169, 2000.

CAIRES, E. F.; BLUM, J.; BARTH, G. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 275-286, 2003.

CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, P. C. R.; MELO, L. B. de C.; PEREIRA, H. S.; PAULINO, H. B. P.; SILVEIRA NETO, A. N. da, Atributos bioquímicos em dois

solos de cerrado Sob diferentes sistemas de manejo e uso. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, p. 276-283, 2008.

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

CAVALCANTI, F. J. A. et al. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2ª aproximação.** 3ª Ed. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA, 2008. 212 p.

CUNHA, E. Q.; STONE, L. F.; FERREIRA, E. P. B.; DIDONET, A.D.; & MOREIRA, J.A.A. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo sob produção orgânica impactados por sistemas de cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.56-63, 2012.

DIEHL, R.C.; MIYAZAWA, M. & TAKAHASHI, H.W. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, p.2653-2659, 2008.

EMBRAPA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes.** Brasília DF: Embrapa. 2º Ed. 627p. 2009.

FERREIRA, D. F. **Sistema de análises de variância para dados balanceados.** Lavras: UFLA, 2000. (SISVAR 4. 1. pacote computacional).

FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**, v.231, p.55-63, 2001.

GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. Biomassa Microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 2008. Cap. 11, p. 159-170.

GATIBONI, L.C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D.; FLORES, J.P.C.; KAMINSKI, J. & RHEINHEIMER, D.S. Alterações nos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, v.33, p.282-290, 2003.

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W.; BLAMEY, F.P.C. Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.43, p.189-202, 2005.

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

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 573-580, 2005.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*. 32:101-110, 2008.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 107 p.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.

MOREIRA, S. G.; KIEHL, J. C.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, v.25, p.71-81, 2001.

PAVANELLI, L.; ARAUJO, F. F. Parâmetros químicos e biológicos indicadores de qualidade de solo sob cultivo de braquiárias e soja no oeste paulista. **Revista Ceres**, vol.57, n.1, pp. 118-124, 2010.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.32, p. 911-920, 2008.

PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alterações de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.25, p.885-895, 2001.

PIRES, A. M. M.; MARCHI, G.; MATTIAZZO, M. E.; GUILHERME, L. R. G. Organic acids in the rhizosphere and phytoavailability of sewage sludge-borne trace elements. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p. 917-924, 2007.

PORTUGAL, A. F.; JUCKSCH, I.; SCHAEFER, C. E. G. R.; WENDLING, B. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2091-2100, 2008.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; BORTOLUZZI, E. C. & GATIBONI, L. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.24, p.797-805, 2000.

SILVA, A. P.; BABUJIA, L. C.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, R. A.; HUNGRIA, M. Microbial biomass under various soil- and cropmanagement systems in short- and long-term experiments in Brazil. **Field Crops Research**, v.119, p.20-26, 2010.

SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS R. F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 205-274. 2007

SOUZA, R. S.; CARVALHO, L. R. F. Origem e implicações dos ácidos carboxílicos na atmosfera. **Química Nova**, v. 24, n.1, 60-67, 2001.

SPARLING, G. P. Ratio of microbial biomass carbon to soil organic carbon as a sensitive indicator of changes in soil organic matter. **Australian Journal of Soil Research**, v. 30, p. 195-207, 1992.

VAN HEES, P.A.W.; JONES, D.L.; FINLAYC, R.; GODBOLDB, D.L.; LUNDSTROM, U.S. The carbon we do not see – the impact of low molecular weight compounds on carbon dynamics and respiration in forest soils: a review. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 37, p. 1-13, 2005.

VILELA, L. C.; SANTOS, A.C.; BARRETO, P. M.; BRITO, S.S.; SILVA, J. E. C.; OLIVEIRA, L. B. T. Propriedades químicas de Latossolo Vermelho em função da aplicação de gessagem e calagem. **Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambiental**, v. 8, p. 19-27, 2010.

ZAIA, F. C.; GAMA-RODRIGUES, A. C. A.; GAMA-RODRIGUES, E. F. Formas de fósforo no solo sob leguminosas florestais, floresta secundária e pastagem no Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 32,p.1191-1197, 2008.