

Adriane Rodrigues de Souza

**ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO EM SOLO ADUBADO COM LODO DE
ESGOTO E FERTILIZANTES INORGÂNICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Ciências Agrárias da
Universidade Federal de Minas Gerais, como
requisito parcial, para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Rodinei Facco Pegoraro

Montes Claros

Instituto de Ciências Agrárias - UFMG

2018

Adriane Rodrigues de Souza, ESTOQUE DE CARBONO E NITROGÊNIO EM SOLO ADUBADO COM LODO DE ESGOTO E FERTILIZANTES INORGÂNICOS.

Aprovado pela banca examinadora constituída por:

Professor Dr. Regynaldo Arruda Sampaio - ICA/UFMG

Professora Dr. Leidivan Almeida Frazão - ICA/UFMG

Márcio Neves Rodrigues – Doutorando ICA/UFMG

Professor Dr. Rodinei Facco Pegoraro - ORIENTADOR ICA/UFMG

Montes Claros, 29 de Junho de 2018.

Dedico primeiramente a Deus, a minha família e ao meu orientador por todo apoio, incentivo e dedicação para realização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao longo desses anos foi construído um sonho que hoje se concretiza!

Agradeço primeiramente a Deus e Nossa Senhora por sempre estar ao meu lado me fortalecendo em todas as adversidades e me possibilitando a alegria de mais uma conquista.

Ao professor, Rodinei, pela orientação, ensinamentos, suporte e confiança.

Aos Professores Reginaldo Arruda, Leidivan Frazão e doutorando Márcio Neves por aceitarem o convite para a banca.

Aos meus pais, Maria e José Dilson, por todo amor, carinho e dedicação.

Aos meus irmãos Kelton e Emilene pelo apoio de sempre.

Ao meu filho Nicolas, que foi meu maior incentivo, força e superação.

Aos demais familiares, pelo apoio e carinho.

As amigas de caminhada Bruna, Nay, Mari, Nanda, Ana, por todos os momentos de companheirismo.

Aos amigos que pude conquistar durante toda essa trajetória, agradeço pela amizade, momentos de felicidade e descontração.

Aos amigos do laboratório, pela paciência e aprendizado.

Ao PROCAD/CAPES – Edital nº071/2013 (Projeto PROCAD/CAPES 88881.068513/2014-01), pela bolsa de iniciação científica concedida em apoio ao trabalho realizado.

A UFMG por todos esses anos de estudo, suporte e aprendizado.

A todos envolvidos nesse trabalho pela dedicação.

RESUMO

A maioria dos cultivos agrícolas convencionais tem apresentando dificuldade em manter os estoques de carbono e nitrogênio nos solos. No entanto, a utilização de fontes orgânicas na adubação, como lodo de esgoto, pode reverter os processos de degradação do solo. Objetivou-se com esse trabalho avaliar os estoques de C e N em frações da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho Eutrófico cultivado com abacaxizeiro, asob adubação com lodo de esgoto e fertilizantes minerais. O estudo foi implantado no delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições, num esquema fatorial 2 x 2, correspondendo a duas variedades de abacaxizeiro. O solo foi coletado no início e três anos após de implantação do estudo, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm para caracterização dos estoques carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), carbono lábil (CL), carbono nas frações das substâncias húmicas, fração ácido fúlvico (C-FAF), fração ácido húmico (C-FAH), fração humina (C-HUM) e índice de humificação (IH). A adubação com lodo de esgoto aumentou os estoques de COT em todo o estudo realizado. Entretanto, no solo adubado somente com fertilizantes minerais obteve-se redução no estoque de COT nas frações da MOS. No final do período de cultivo, a adubação com lodo contribuiu para a sustentabilidade agrícola por incrementar o estoque de COT e NT em 8 e 2 t ha⁻¹ em comparação ao solo do período inicial de cultivo, totalizando a estocagem de 148 e 15 t ha⁻¹ de COT e NT, respectivamente, na camada de 0-60 cm de profundidade.

Palavras chave: Biossólido. Matéria Orgânica. Substâncias Húmicas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Incremento de carbono nas frações ácido fúlvico (FAF), húmico (FAH) e húmicos (FH), substâncias húmicas (SH), fração lábil (CL), carbono orgânico total (COT), nas camadas de 0-20, 20-40 e 0-60 cm de profundidade após a adubação com lodo de esgoto e fertilizantes minerais no cultivo de abacaxizeiros. Linhas verticais nas colunas indicam o erro padrão da média.....22

Figura 2 - Incremento de nitrogênio total nas camadas de 0-20, 20-40 e 0-60 cm de profundidade após a adubação com lodo de esgoto e fertilizantes minerais no cultivo de abacaxizeiros. Linhas verticais nas colunas indicam o erro padrão da média.....23

Figura 3 - Estoques e incremento de carbono nas frações ácido fúlvico (FAF), húmico (FAH) e húmicos (FH), substâncias húmicas (SH), fração lábil (CL), carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), na camada de 0-60 cm de profundidade após a adubação com lodo de esgoto e fertilizantes minerais no cultivo de abacaxizeiros.^{ns}: não significativo, *: significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F.....25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Características físico-químicas do solo no momento da implantação do estudo com cultivares de abacaxizeiro e adubação com lodo de esgoto e mineral na camada 0-20 cm de profundidade e características químicas do lodo de esgoto.....16

Tabela 2 - Quadrado médio e grau de liberdade (GL) para os estoques de carbono nas frações ácido fúlvico (FAF), húmico (FAH) e húmicos (FH), substâncias húmicas (SH), estoque de carbono orgânico total (COT), carbono lábil (CL) e nitrogênio total (NT) nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 0-60 cm de profundidade para coletas de solo realizadas no final do cultivo dos abacaxizeiros Smooth Cayenne e Vitória (cultivar - C) submetidos a adubação com lodo de esgoto e adubação mineral (adubação - A).....17

Tabela 3 - Estoques de carbono na fração ácido fúlvico (FAF), fração ácido húmico (FAH), fração humina (FH), substâncias húmicas (SH), fração lábil (CL), carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade para coletas de solo realizadas no final do cultivo de abacaxizeiros (cultivar) submetidos a adubação com lodo de esgoto (LE) e adubação mineral (AM), FAH/FAF e C/N.....19

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- COT - Carbono orgânico total
- NT - Nitrogênio total
- CL - Carbono lábil
- SH - Substâncias Húmicas
- FAF - Fração Ácido Fúlvico
- FAH - Fração Ácido Húmico
- HUM - Fração Humina
- IH - Índice de Humificação
- MOS - Matéria Orgânica dos Solos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Uso do Lodo de Esgoto na agricultura.....	11
2.2 Substâncias Húmicas	12
2.3 Estoque de carbono e nitrogênio total no solo	13
2.4 Carbono lábil.....	14
2.5 Cultivo do abacaxizeiro	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5 CONCLUSÕES	26
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27

1 INTRODUÇÃO

O uso sustentável do solo é considerado prática indispensável para a longevidade da agricultura em solos tropicais, devido à dificuldade na manutenção dos estoques e da qualidade da matéria orgânica em sistemas de cultivo convencionais, os quais têm como característica o revolvimento constante do solo (LOSS *et al.*, 2010; SALES *et al.*, 2017) e a menor deposição de resíduos de cobertura durante o ciclo de cultivo. Nesse contexto, o manejo convencional do solo para cultivo do abacaxizeiro tem apresentado baixa capacidade de manutenção do estoque de carbono e nitrogênio (CHACÓN *et al.*, 2015).

A utilização de resíduos orgânicos como fonte de nutrientes para as plantas pode reverter o processo de degradação da matéria orgânica dos solos (MOS). Dentre os resíduos orgânicos, o lodo de esgoto classe A provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto é considerado importante fonte de matéria orgânica e nutrientes para os cultivos agrícolas (RODRIGUES *et al.*, 2017).

A acelerada oxidação da matéria orgânica em solos tropicais tem sido um dos principais motivos para o uso de lodo de esgoto como condicionadores dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo (ROSSI *et al.*, 2012) devido este material apresentar elevados teores de nitrogênio e carbono orgânico (DIAS *et al.*, 2007). Essas características podem alterar a dinâmica da MOS pela maior presença de nitrogênio nesse resíduo (BOEIRA & SOUZA, 2007) uma vez que maiores teores de nitrogênio no solo aumentam a eficiência de assimilação de carbono pelos microrganismos, a taxa de decomposição dos resíduos e formação da MOS (AWASTHI *et al.*, 2016a).

Alterações na composição da MOS propiciadas pela adoção de sistemas de manejo da adubação e cultural podem ser identificadas por meio do fracionamento químico das formas lábeis e estáveis do carbono no solo. O aumento nos estoques de carbono nas frações lábeis da MOS é imprescindível para a atividade biológica e disponibilidade de nutrientes para as plantas, bem como, do carbono nas frações estáveis das substâncias húmicas, pois contribuem para o aumento do tempo de residência do carbono e nitrogênio no solo. Silva *et al.* (2016) obtiveram incrementos no estoque de carbono da fração húmica (FH) seguido pela fração ácido fúlvico (FAF) em decorrência da aplicação de compostos orgânicos, e Dias *et al.* (2007) observaram que aplicações com doses crescentes de lodo de esgoto aumentou o estoque de carbono orgânico no solo e na FH, representando até 66% do estoque obtido nas substâncias húmicas, aumentando a sustentabilidade do sistema manejo.

O presente estudo teve o objetivo de avaliar os estoques de carbono e nitrogênio no solo e nas frações da MOS após a aplicação de lodo de esgoto e fertilizantes inorgânicos no cultivo de abacaxizeiros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Uso do Lodo de Esgoto na agricultura

O lodo de esgoto é um resíduo sólido urbano gerado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), que necessita de tratamento e adequada disposição para não se transformar em um problema ambiental. Quando tratado de forma ambientalmente segura dentro dos padrões exigidos pelos órgãos ambientais quanto à presença de metais pesados e patógenos, o lodo de esgoto pode ser utilizado na agricultura como adubo orgânico, sendo uma alternativa que apresenta vantagens ambientais, ocasionando na reutilização desse resíduo de forma ambientalmente adequada (CONAMA, 2006).

Alguns estudos têm demonstrado que o lodo de esgoto traz diversos benefícios agrônômicos às culturas relacionados ao aumento e a sustentação dos níveis de fertilidade do solo, por meio de alterações em seus atributos químicos e em função do fornecimento de nutrientes que são disponíveis ao solo após aplicação (CHIBA *et al.*, 2008b).

Para a aplicação deste resíduo orgânico no solo os limiares de regulação devem ser cumpridos. Quando aplicado pode tanto promover o ciclo de nutrientes como contribuir para um aumento do teor de matéria orgânica do solo, resultando em maior sequestro de C. Além disso, o lodo de esgoto possui uma elevada concentração de N, podendo ser uma importante fonte de nutriente disponível para as plantas (GIACOMINI *et al.*, 2015). De acordo Bueno *et al.* (2011) os efeitos da aplicação do lodo de esgoto sobre os teores de matéria orgânica e nutrientes encontrados no solo têm sido observados com aplicações sucessivas do resíduo.

Estudos sobre a reciclagem da matéria orgânica e de nutrientes originados da aplicação de resíduos orgânicos em solos agrícolas são necessários para a criação e exploração de alternativas ambientais economicamente viáveis para o destinação desses resíduos (CHIBA *et al.*, 2008a).

O lodo de esgoto é um resíduo que possui características que viabilizam sua utilização em solos agrícolas de maneira racional e ambientalmente segura, uma vez que contém nutrientes necessários para o desenvolvimento das plantas como o N, apresenta

proporções variáveis de umidade e é rico em matéria orgânica elevando conseqüentemente o aumento da produtividade das culturas (BARBOSA, 2006).

2.2 Substâncias Húmicas

A transformação contínua de resíduos orgânicos no solo leva à formação de um complexo de substâncias de elevado grau de alteração, nominadas em substâncias húmicas (SH), onde são classificadas e divididas em três categorias de acordo com sua solubilidade, compreende em ácidos húmicos (AH), solúveis em pH alcalino, ácidos fúlvicos (AF), solúveis em pH ácido ou alcalino; e humina (HUM), insolúvel em qualquer pH. As substâncias húmicas (SH) representam uma fração orgânica mais estabilizada, atuando como principal reservatório de carbono orgânico total do solo (SANTOS *et al.*, 2013). Segundo Sales *et al.* (2017) as substâncias húmicas representa 85 a 90% do carbono orgânico encontrado no solo.

A análise de substâncias húmicas em cultivos de diferentes sistemas de manejo do solo possui elevada importância por serem consideradas elementos mais estáveis e possuir maior dificuldade em se degradar quimicamente. A quantificação do carbono nas diferentes frações da matéria orgânica torna-se necessário devido ao interesse de se conhecer o potencial de retenção e armazenamento desse carbono nos diferentes sistemas de uso do solo, que podem proporcionar o aumento nos teores de carbono nas SH. O fracionamento químico da MOS realizada por meio das SH pode ser utilizado como mecanismo para avaliar a qualidade do solo (LOSS *et al.*, 2010).

De acordo com Melo, Silva e Dias (2008), o grau de humificação que representa os teores de C encontrado nas substâncias húmicas em relação ao C total no resíduo, depende do estágio de decomposição das substâncias nele presentes, comprovando a importância do resíduo adicionado ao solo, que pode atuar como condicionador e fonte de nutrientes no solo. O uso de resíduos orgânicos possui diversas vantagens, pois concentra altos teores de matéria orgânica, contribuindo para maior armazenamento de C no solo, conseqüentemente obtém o aumento da CTC, maior infiltração e retenção de água, aumento da aeração e da atividade microbianas, melhoria da estrutura e estabilidade do solo.

O estudo das substâncias húmicas e da matéria orgânica em seus diferentes compartimentos em relação ao manejo do solo, objetiva desenvolver estratégias para a utilização sustentável dos solos com intuito de reduzir o impacto das atividades agrícolas sobre o ambiente (GIÁCOMO, 2008).

2.3 Estoque de carbono e nitrogênio total no solo

Segundo Cerri e Cerri (2007), o solo se constitui num compartimento fundamental no processo de emissão e sequestro de carbono, pois em termos globais, o solo possui a capacidade de armazenar três vezes mais carbono em relação ao estocado na vegetação e duas vezes mais em comparação à atmosfera. Assim, manejos inadequados do solo podem assumir um papel desastroso, pois podem mineralizar a matéria orgânica e emitir elevadas quantidades de CO² para a atmosfera. Isto demonstra o grau de importância que manejos ecológicos de solos representam para o planeta atualmente. De acordo com Souza *et al.* (2012) quando manejado corretamente, o solo pode aumentar significativamente os estoques e teores de C ao longo do tempo, com base na ciclagem de matéria orgânica.

A construção de novas estações de esgoto e a ampliação das já existentes torna-se cada vez maior uso de lodo de esgoto em áreas agrícolas, este resíduo pode transformar-se em alternativas eficientes para o maior sequestro de carbono no solo, o aumento da produção de biomassa vegetal e a melhoria do grau de fertilidade de solos brasileiros. Isso ocorre devido ao C estar presente no lodo de esgoto em altas concentrações, com teores variando de 18 a 50 % na matéria seca desse resíduo (DIAS *et al.*, 2007).

Segundo Soares *et al.* (2008) as áreas cultivadas com aplicação de lodo de esgoto possuem maiores teores de C orgânico do que as áreas com uso exclusivo de adubo mineral, sendo essencial a adição desses materiais orgânicos para sustentabilidade e qualidade do solo, caracterizando-se pela liberação gradativa de nutrientes, reduzindo processos como lixiviação e volatilização no solo. Para Grutzmacher *et al.* (2013) o lodo de esgoto possui outras características importantes para seu uso na agricultura, como grande quantidade de matéria orgânica e nitrogênio, além de outros nutrientes em teores variáveis que são fundamentais para o desenvolvimento das plantas.

A adubação orgânica é uma maneira em que o solo utiliza para armazenar estoques de C e N. Os estoques de N são controlados principalmente por e diferentes tipos de vegetação e pelas condições climáticas. A maior parte do N encontrada no solo está disponível na forma orgânica, podendo chegar a mais 95%, sendo a MOS um importante reservatório de formas potencialmente disponíveis de N para os vegetais (RANGEL & SILVA, 2007).

Marques *et al.* (2007) trabalhando com lodo de esgoto em determinada cultura concluíram que a associação do lodo de esgoto com a adubação mineral, realiza a economia

da metade da adubação mineral recomendada, adquirindo resultados positivos em relação a produtividade, já que o lodo de esgoto possui alto teor de N. Segundo Chiba *et al.* (2008) a quantidade de N encontrada no lodo de esgoto tem sido o fator limitante na definição da dose aplicada em campo.

2.4 Carbono lábil

A preocupação com a sustentabilidade agrícola é crescente e está em evidência nos últimos anos. Neste contexto, a manutenção da qualidade do solo é um dos fatores-chave para alcançar a sustentabilidade de um sistema de produção, destacando-se o manejo empregado como o componente principal. Partindo-se desse pressuposto, o manejo orgânico pode ser uma forma adequada de se alcançar um sistema agrícola sustentável (LOSS *et al.*, 2009). O carbono pode se acumular em frações lábeis ou estáveis da matéria orgânica no solo, o que pode ter implicações na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de carbono atmosférico, bem como nas alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas (RIBEIRO *et al.*, 2011).

A fração lábil é a matéria orgânica particulada, fração importante do carbono orgânico total do solo, onde apresenta maior taxa de reciclagem dos constituintes orgânicos, sendo que as alterações em seus estoques causadas pelo manejo do solo são percebidas geralmente em curto prazo (BAYER *et al.*, 2002).

De acordo com Giácomo, Pereira e Balieiro (2008), o carbono estando em estrutura lábeis é necessário que se obtenha uma maior estabilidade desse carbono no solo, para que o mesmo não seja facilmente mineralizado retornando para a atmosfera na forma de CO₂, conseqüentemente prejudicando o meio ambiente.

2.5 Cultivo do abacaxizeiro

O abacaxizeiro é uma planta de clima tropical, apresentando ótimo crescimento e melhor qualidade do fruto na faixa de temperatura de 22 a 32 °C, com amplitude térmica diária de 8 a 14 °C e chuvas de 1.200 a 1.500 mm anuais, bem distribuídas (CRESTANI *et al.*, 2010).

A cultura do abacaxizeiro sempre se destacou na fruticultura brasileira, devido a qualidades do fruto (*Ananas Comosus*), que é bastante apreciado em todo o mundo e principalmente pela sua alta expressão econômica dentro do setor frutícola. Esta cultura

produz centenas de empregos diretos e indiretos durante todo o ciclo, isto porque a exploração agrícola dessa frutífera não pode ser mecanizada, necessitando-se da mão de obra humana para o seu cultivo (BRITO NETO *et al.*, 2008).

A região norte do Estado de Minas Gerais apresenta características que possibilitam o aumento da produtividade do abacaxizeiro, o uso do sistema irrigado juntamente com o solo e o clima da região proporciona o crescimento significativo na produção cultura (CARDOSO *et al.*, 2013).

De acordo com Mota (2016), estudos sobre a utilização do lodo de esgoto na cultura do abacaxizeiro como adubo orgânico é escasso, principalmente devido ao risco de contaminação ambiental, porem a adubação realizada com esse tipo de resíduo eleva a produtividade e proporcionam o desenvolvimento da cultura devido ao grande fornecimento de nitrogênio depositado no solo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo com cultivo de abacaxizeiro por três anos foi conduzido em área experimental localizada no município de Janaúba-MG, situada 15° 43' 47,4" S e 43° 19' 22,1" W, com altitude de 516 m. De acordo com a classificação de Köppen, a região está situada em uma savana com clima (Aw), constituído de inverno seco e temperatura média no mês mais frio que excede 18 °C. O solo utilizado no experimento, cujas características físico-químicas estão expostas na tabela 1, foi classificado como Latossolo vermelho eutrófico (EMBRAPA, 2013).

O delineamento estatístico foi em blocos casualizados, sob esquema fatorial 2 x 2, correspondendo a dois tipos de adubação, adubação com lodo de esgoto (LE) e adubação mineral (AM) e duas variedades de abacaxi (Vitória e Smooth Cayenne), com quatro repetições. Todos os tratamentos receberam 3 g/planta de P₂O₅ na forma de superfosfato simples e 15 g/planta de K₂O na forma de sulfato de potássio, para a cultura do abacaxizeiro (SOUZA *et al.*, 1999).

No tratamento com adubação mineral, o potássio e o nitrogênio foram aplicados na dose 15 g/planta de K₂O na forma de sulfato de potássio e de ureia, respectivamente. No tratamento com lodo de esgoto, adubação nitrogenada ocorreu com base na demanda da cultura do abacaxizeiro e na concentração de N disponível no lodo (Tabela 1), calculada pelo somatório do nitrogênio na forma mineral (N-NH₄⁺ + N-NO₃⁻) e fração mineralizável do N

orgânico (20%), conforme resolução CONAMA 375. A aplicação de lodo foi parcelada em quatro vezes, na dose de 540 g/planta de LE, em intervalos de 60 dias.

Na fase de implantação e colheita dos abacaxizeiros foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, com o auxílio de um trado do tipo “holandês”. Depois de coletadas, as amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas, passadas em peneira com malha de 2 mm, obtendo-se assim a terra fina seca ao ar (TFSA). Com a TFSA, foram feitas as análises de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total, carbono lábil e carbono das substâncias húmicas, fração ácido fúlvico (FAF), fração ácido húmico (FAH) e fração humina (FH). Também foi caracterizado o incremento de C e N as frações do solo em comparação ao período inicial de cultivo (Estoque de C ou N do solo no final do período de cultivo menos o estoque de C ou N no início do cultivo).

Tabela 1- Características físico-químicas do solo no momento da implantação do estudo com cultivares de abacaxizeiro e adubação com lodo de esgoto e mineral na camada 0-20 cm de profundidade e características químicas do lodo de esgoto.

Solo														
pH	MO	P	K	Ca	Mg	Al	T	T	V	Ar.	Sil	Arg.	Zn	Fe
	dag kg ⁻¹	mg kg ⁻¹		-----cmol dm ⁻³ -----					%			g kg ⁻¹		
5,6	1,5	2,1	12 0	1,6	0,6	0	2,6	4,1	63	53 2	24 4	224	3,4	18,3

Lodo de esgoto										
pH	CO	N	C/ N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe
	g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹			cmol dm ⁻³			mg dm ⁻³
5,4	180	33,0	5,5	7,6	3, 2	13, 0	2,3	11,8	950,0	24.293,0

pH em H₂O; MO: Matéria orgânica; t: CTC efetiva; T: CTC total; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; Ar.: areia; Sil: silte; Arg. argila.

Fonte: Da autora, 2018.

A determinação de carbono (COT) foi realizada pelo método proposto por Yeomans & Bremner (1988), cujo princípio é a oxidação do C orgânico a quente com dicromato de potássio e titulação do dicromato remanescente com sulfato ferroso amoniacal. O nitrogênio (NT) foi determinado por destilação após digestão sulfúrica (BATAGLIA *et al.*, 1983). Nas amostras de solo também foi realizado o fracionamento de substâncias húmicas (SH), onde obteve-se as frações ácidos fúlvicos (FAF), ácidos húmicos (FAH) e huminas

(FH). O carbono presente nas frações húmicas foi determinado de acordo com Yeomans & Bremner (1988). O carbono orgânico lábil (CL) no solo foi caracterizado por meio de oxidação com KMnO_4 ($0,033 \text{ mol L}^{-1}$), como proposto por Shang & Tiessen (1997).

Para avaliação do grau de humificação da MOS (proporção da MOS humificada) em comparação ao COT do solo foi elaborado o índice de humificação (IH), conforme Canellas e Santos (2005): $\text{IH} = [(\text{FAH} + \text{FAF} + \text{FH})/\text{COT}] \times 100$.

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias obtidas comparadas entre si em nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de distintos fertilizantes (lodo de esgoto ou mineral) influenciou ($p < 0,05$) os estoques de C nas frações lábeis e estáveis da matéria orgânica do solo (MOS) e o estoque de NT, em todas as profundidades (0-20, 20-40 e 40-60 cm) avaliadas (Tabela 2). No entanto, não foi observada interação significativa ($p > 0,05$) entre distintas cultivares e fontes de fertilizantes, ou efeito isolado das cultivares na estocagem de C e NT no solo.

Tabela 2. Quadrado médio e grau de liberdade (GL) para os estoques de carbono nas frações ácido fúlvico (FAF), húmico (FAH) e húmicos (FH), substâncias húmicas (SH), estoque de carbono orgânico total (COT), carbono lábil (CL) e nitrogênio total (NT) nas camadas de 0-20, 20-40, 40-60 e 0-60 cm de profundidade para coletas de solo realizadas no final do cultivo dos abacaxizeiros Smooth Cayenne e Vitória (cultivar - C) submetidos a adubação com lodo de esgoto e adubação mineral (adubação - A).

F.V.	GL	Quadrado médio						
		FAF	FAH	FH	SH	COT	CL	NT
-----0-20 cm-----								
Bloco	3	6,29 ^{ns}	25,03 ^{ns}	34,88 ^{ns}	48,10 ^{ns}	6,81 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,21 ^{ns}
Cultivar (C)	1	1,18 ^{ns}	0,08 ^{ns}	27,26 ^{ns}	19,46 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Adubação (A)	1	81,53*	19,48 ^{ns}	707,99*	1604,17*	1470,66*	2,24*	8,29*
C versus A	1	6,02 ^{ns}	9,20 ^{ns}	82,89 ^{ns}	167,55 ^{ns}	51,58 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Resíduos	9	2,98	4,81	24,23	50,22	40,05	0,19	0,22
Média		7,37	9,66	24,21	41,24	52,37	5,23	5,16
CV (%)		23,43	22,71	20,33	17,18	12,09	8,28	9,25
-----20-40 cm-----								
Bloco	3	1,73 ^{ns}	0,56 ^{ns}	6,84 ^{ns}	1,55 ^{ns}	59,60 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,21 ^{ns}
Cultivar (C)	1	1,20 ^{ns}	1,96 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,27 ^{ns}	29,78 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Adubação (A)	1	43,36*	0,00 ^{ns}	226,58*	467,67*	805,07*	6,01*	6,94 ^{ns}
C versus A	1	0,06 ^{ns}	0,06 ^{ns}	20,89 ^{ns}	20,90 ^{ns}	2,35 ^{ns}	0,43 ^{ns}	1,11 ^{ns}
Resíduos	9	7,75	4,85	26,00	72,14	38,03	0,27	0,53
Média		7,30	6,08	20,56	33,94	41,10	3,95	4,45
CV (%)		38,12	36,23	24,81	25,02	15,00	13,25	16,50
-----40-60 cm-----								
Bloco	3	3,25 ^{ns}	10,45 ^{ns}	21,69 ^{ns}	14,30 ^{ns}	62,90 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,02 ^{ns}

Cultivar (C)	1	6,06 ^{ns}	7,68 ^{ns}	40,05 ^{ns}	133,71 ^{ns}	3,89 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Adubação (A)	1	43,17*	15,01 ^{ns}	183,66*	98,88 ^{ns}	339,59*	0,20 ^{ns}	1,83*
C versus A	1	0,08 ^{ns}	7,75 ^{ns}	2,31 ^{ns}	16,13 ^{ns}	24,97 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Resíduos	9	5,34	7,86	35,24	41,41	24,71	0,27	0,19
Média		7,10	6,84	16,74	30,68	33,20	3,24	3,60
CV (%)		32,56	38,99	35,47	20,74	14,97	16,19	12,33
-----0-60 cm-----								
Bloco	3	8,13 ^{ns}	11,45 ^{ns}	80,66 ^{ns}	49,85 ^{ns}	211,04 ^{ns}	1,04 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Cultivar (C)	1	21,60 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,78 ^{ns}	43,93 ^{ns}	10,35 ^{ns}	1,36 ^{ns}	0,83 ^{ns}
Adubação (A)	1	492,21*	11,18 ^{ns}	2785,82*	5129,71*	7250,70*	19,33*	47,17*
C versus A	1	9,03 ^{ns}	36,97 ^{ns}	55,21 ^{ns}	18,96 ^{ns}	113,28 ^{ns}	1,09 ^{ns}	1,33 ^{ns}
Resíduos	9	23,73	22,07	123,74	221,98	72,67	0,70	1,96
Média		21,77	22,94	61,51	106,22	126,67	12,42	13,21
CV (%)		22,37	20,48	18,09	14,03	6,73	6,78	10,61

^{ns}: não significativo, *: significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Da autora, 2018.

A adubação com lodo aumentou os estoques de COT e NT na maioria das camadas do solo, exceto para o NT, na camada de 40-60 cm que não diferiu do estoque obtido no solo adubado somente com fertilizantes inorgânicos (Tabela 3). No final do período de cultivo obteve-se a estocagem de 61,95; 48,20 e 37,81 t ha⁻¹ de COT no solo com lodo, para as profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente, enquanto no solo adubado com fertilizantes minerais obteve-se a estocagem de 42,78; 34,01 28,60 t ha⁻¹ de COT nas mesmas profundidades, indicando a elevada contribuição do lodo de esgoto para o aumento no estoque de COT no perfil do solo. Para NT, no tratamento com lodo verificou-se a estocagem de 5,88; 5,11 e 3,94 t ha⁻¹, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de solo, respectivamente, enquanto no solo adubado com fertilizantes minerais obteve-se a estocagem de 4,44; 3,79; 3,27 t ha⁻¹, nas mesmas profundidades.

Aumentos no estoque de COT e NT nos solos cultivados após a adubação com compostos orgânicos foram observados por vários pesquisadores, principalmente na camada de 0-20 cm de profundidade (BOZKURT *et al.*, 2010; GATTO *et al.*, 2010; BETTIOL & GHINI, 2011; KOUTROUBAS *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2016; SHARMA *et al.*, 2017). Bozkurt *et al.* (2010) em estudos realizados com aplicação de lodo de esgoto em solo cultivado com maçã observaram, após 4 anos do cultivo, que ocorreu o incremento de NT do solo além de contribuir para a melhoria do rendimento da planta e da fruta. Da mesma forma, Koutroubas *et al.* (2014), descreveram que a adubação com lodo substitui a adubação mineral, pois melhora a taxa de absorção de N pela planta e aumenta os teores de COT e N na camada superficial do solo. O incremento de C e N pode ser de até 52 e 62%, respectivamente, na camada de 0-20 cm após a aplicação de lodo (BETTIOL & GHINI, 2011).

Tabela 3. Estoques de carbono na fração ácido fúlvico (FAF), fração ácido húmico (FAH), fração humina (FH), substâncias húmicas (SH), fração lábil (CL), carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade para coletas de solo realizadas no final do cultivo de abacaxizeiros (cultivar) submetidos a adubação com lodo de esgoto (LE) e adubação mineral (AM), FAH/FAF e C/N.

Adubaçã o	FAF	FAH	FH	SH	COT	CL	NT	FAH/FAF	C/N	IH
-----0-20 cm-----										
-----t ha ⁻¹ -----										
LE	9,63 ^a	10,77a	30,86a	51,26 ^a	61,95a	5,61a	5,88a	1,12	10,54	83
AM	5,11b	8,56a	17,56b	31,23b	42,78b	4,86b	4,44b	1,68	9,64	73
Média	7,37	9,66	24,21	41,24	52,37	5,23	5,16	1,31	10,15	79
CV (%)	23,43	22,71	20,33	17,18	12,09	8,28	9,25			
-----20-40 cm-----										
LE	8,95a	6,09a	24,32a	39,35 ^a	48,20a	4,56a	5,11a	0,68	9,43	82
AM	5,66b	6,08a	16,79b	28,54b	34,01b	3,33b	3,79b	1,07	8,97	84
Média	7,30	6,08	20,56	33,94	41,10	3,95	4,45	0,83	9,24	83
CV (%)	38,12	36,23	24,81	25,02	15,00	13,25	16,50			
-----40-60 cm-----										
LE	8,74 ^a	5,51a	19,52a	33,77 ^a	37,81a	3,35a	3,94a	0,63	9,60	89
AM	5,46b	8,17a	13,96b	27,58 ^a	28,60b	3,12a	3,27a	1,50	8,75	96
Média	7,10	7,20	16,74	31,03	33,20	3,24	3,94	1,01	8,43	93
CV (%)	32,56	38,99	35,47	20,74	14,97	16,19	12,33			

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F.

Fonte: Da autora, 2018.

A adubação com lodo de esgoto também aumentou os estoques de C nas frações lábeis (CL) e estáveis (SH) da matéria orgânica, nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm (Tabela 3). A aplicação de lodo propiciou na camada superficial do solo a estocagem de 5,61 e 51,26 t ha⁻¹ de carbono na CL e SH, respectivamente, enquanto no solo que recebeu somente adubação mineral esses estoques corresponderam a 4,86 e 31,23 t ha⁻¹, respectivamente.

O aumento na estocagem de C nas frações da MOS contribui para a ciclagem de macro e micronutrientes (N, P, Cu e Zn) (SINGH & AGRAWAL, 2007, 2008, 2009, 2010b), contribuindo para substituição da utilização de fertilizantes químicos (MEHROTRA *et al.*, 2016), melhora as propriedades físico-químicas e biológicas do solo (SINGH & AGRAWAL, 2010b; LLORET *et al.*, 2016), por aumentar a estruturação e a porosidade do solo (KOUTROUBAS *et al.*, 2014), a retenção de água, a condutividade elétrica, a capacidade de troca catiônica, o teor de humus (PASCUAL *et al.*, 2009; LLORET *et al.*, 2016) e a atividade de microrganismos do solo (LLORET *et al.*, 2016; KOMINKO *et al.*, 2017).

A relação C/N do solo foi de 9,43 a 10,54 e as menores médias foram obtidas nas camadas inferiores do solo, indicando maior grau de humificação da matéria orgânica. Essa informação é corroborada pelo aumento do IH médio de 73, na camada superficial, para 93, na subcamada de 40-60 cm de profundidade. Possivelmente a menor disponibilidade de C novo nas subcamadas do solo pode ter contribuído para a ressíntese microbiana do carbono nativo, levando ao maior grau de humificação da MOS.

Na camada superficial do solo, a adubação com lodo também aumentou a humificação da MOS com IH de 83%, em comparação ao tratamento com fertilizantes minerais, com 73 % (Tabela 3), porém a maior humificação foi possibilitada pela oferta abundante de carbono aos microrganismos decompositores, intensificando o processo de decomposição dos compostos orgânicos de lodo adicionados na superfície do solo. Nas subcamadas, o lodo provocou redução na humificação da MOS, em comparação ao solo adubado somente com fertilizantes minerais. Possivelmente em decorrência da maior movimentação de C da FAF em profundidade, uma vez que obteve-se menor relação FAH/FAF nas camadas de 20-40 cm (0,68) e 40-60 cm (0,63) de profundidade, no tratamento com lodo (Tabela 3).

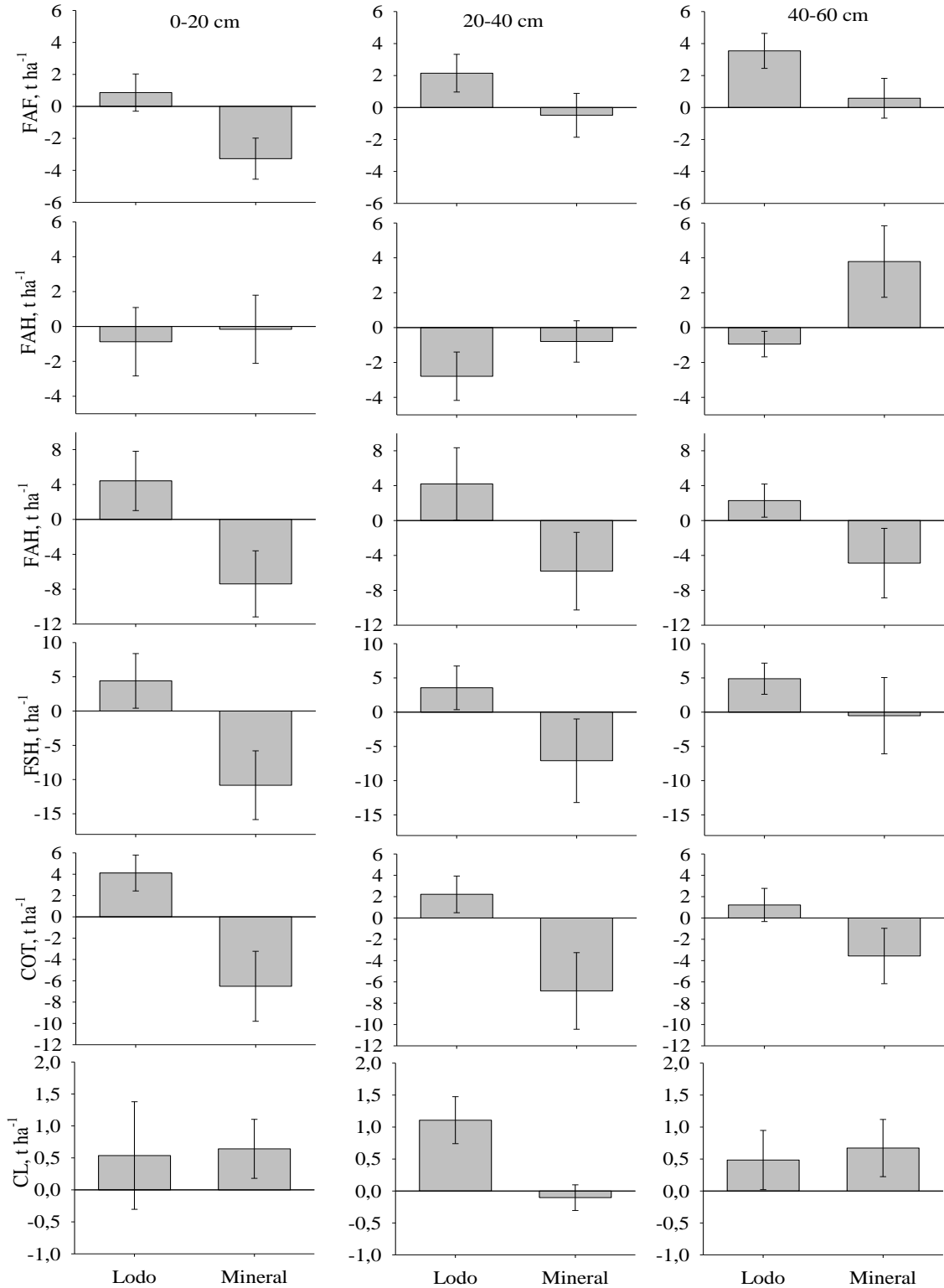
Dentre as SH, no tratamento com lodo, teve os maiores estoques de C encontrados na fração húmica (FH), com 60%, seguido da FAF, com 24% e da FAH, com 16 % do COT do solo (Tabela 3). Dias *et al.* (2007) identificaram o acúmulo de até 66% do C na fração húmica do solo após a aplicações de doses crescentes de lodo de esgoto. A estocagem de carbono na fração húmica aumenta o seu tempo de permanência no solo, ou seja, promove a estabilização do carbono contribuindo para sua sustentabilidade (SILVA & MENDONÇA, 2007), o que diminui o impacto ambiental causado pelas atividades agrícolas. Desta maneira, o lodo de esgoto propicia ao solo maior estocagem de COT e estabilização desse carbono em frações humificadas da MOS. Estudos realizados com fracionamento da MOS obtiveram maiores teores de C na FH em sistemas que privilegiaram o maior aporte de material orgânico ao solo sob sistemas conservacionistas em comparação a cultivos convencionais (ROSSI *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2016; SALES *et al.*, 2017).

A aplicação de lodo também aumentou os estoques de C menos humificado (FAF e CL) nas subcamadas de solo (20-40 e 40-60 cm de profundidade), no final do período de cultivo (Tabela 3 e Figura 1), indicando a mobilidade desses compostos no seu perfil. Isso demonstrou que a aplicação superficial de lodo favorece a movimentação de frações lábeis de C para camadas inferiores de solo. Esta fração consiste principalmente por C solúvel em água e C lábil os quais são muito sensíveis as mudanças em função do uso do solo (SCHIAVO *et*

al., 2011). A fração lábil da MOS tem elevada taxa de decomposição, libera nutrientes às plantas por mineralização, bem como energia e C para organismos do solo (SALES *et al.*, 2017), e denota sistema com grande sustentabilidade e qualidade do solo (SÁ *et al.*, 2014; SALES *et al.*, 2017). Para Sales *et al.* (2017) a acumulação de CL em profundidade é devido à taxas mais lentas de decomposição dos resíduos de plantas, os quais apresentam alta taxa de relação C/N com média de 11,65 na profundidade de 20-40 cm.

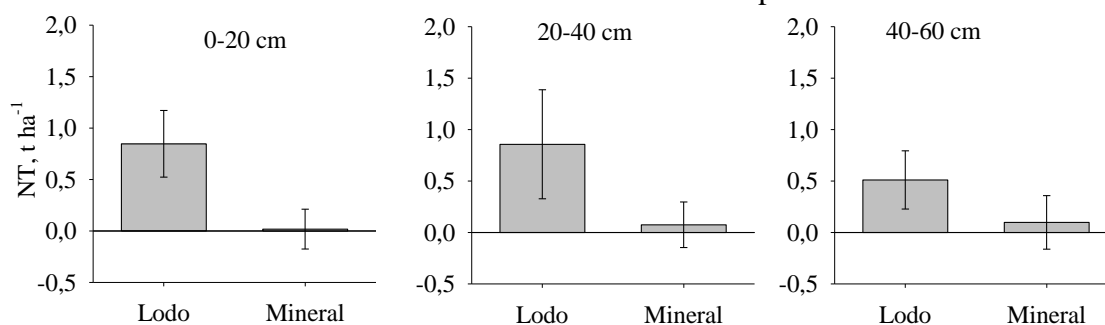
No tratamento com adubação mineral, e para a maioria das camadas de solo, a estocagem de C nas frações da MOS (SH e COT) decresceu no final do período de cultivo (Figuras 1), indicando que parte do carbono nativo do solo foi mineralizado e convertido em CO₂, causando saldo negativo na estocagem de C no solo, possivelmente em decorrência do menor aporte de material orgânico durante o cultivo do abacaxizeiro. No entanto, com a aplicação de lodo incrementou-se o estoque de C na maioria das frações da MOS e para o NT do solo (Figuras 1 e 2). Para NT, esses incrementos corresponderam a 0,9; 0,9 e 0,5 t ha⁻¹ na camada de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente. De acordo com Giacomini *et al.* (2015) o lodo de esgoto apresenta elevada concentração de N. Devido a esse fenômeno, são definidas doses de lodo, com base na demanda nitrogenada dos cultivos agrícolas (CHIBA *et al.*, 2008). Boeira & Maximiliano (2009) observaram acúmulo de N, após quatro anos, em tratamentos que receberam aplicações sucessivas de diferentes tipos de lodo. Oliveira *et al.* (2001) também constataram que a área onde recebeu aplicação de lodo de esgoto por dois anos consecutivos, aumentou aproximadamente 40% e 50% no teor de N orgânico, após a primeira e segunda aplicação respectivamente.

Figura 1. Incremento de carbono nas frações ácido fúlvico (FAF), húmico (FAH) e húmicos (FH), substâncias húmicas (SH), fração lábil (CL), carbono orgânico total (COT), nas camadas de 0-20, 20-40 e 0-60 cm de profundidade após a adubação com lodo de esgoto e fertilizantes minerais no cultivo de abacaxizeiros. Linhas verticais nas colunas indicam o erro padrão da média.



Fonte: Da autora, 2018.

Figura 2. Incremento de nitrogênio total nas camadas de 0-20, 20-40 e 0-60 cm de profundidade após a adubação com lodo de esgoto e fertilizantes minerais no cultivo de abacaxizeiros. Linhas verticais nas colunas indicam o erro padrão da média.



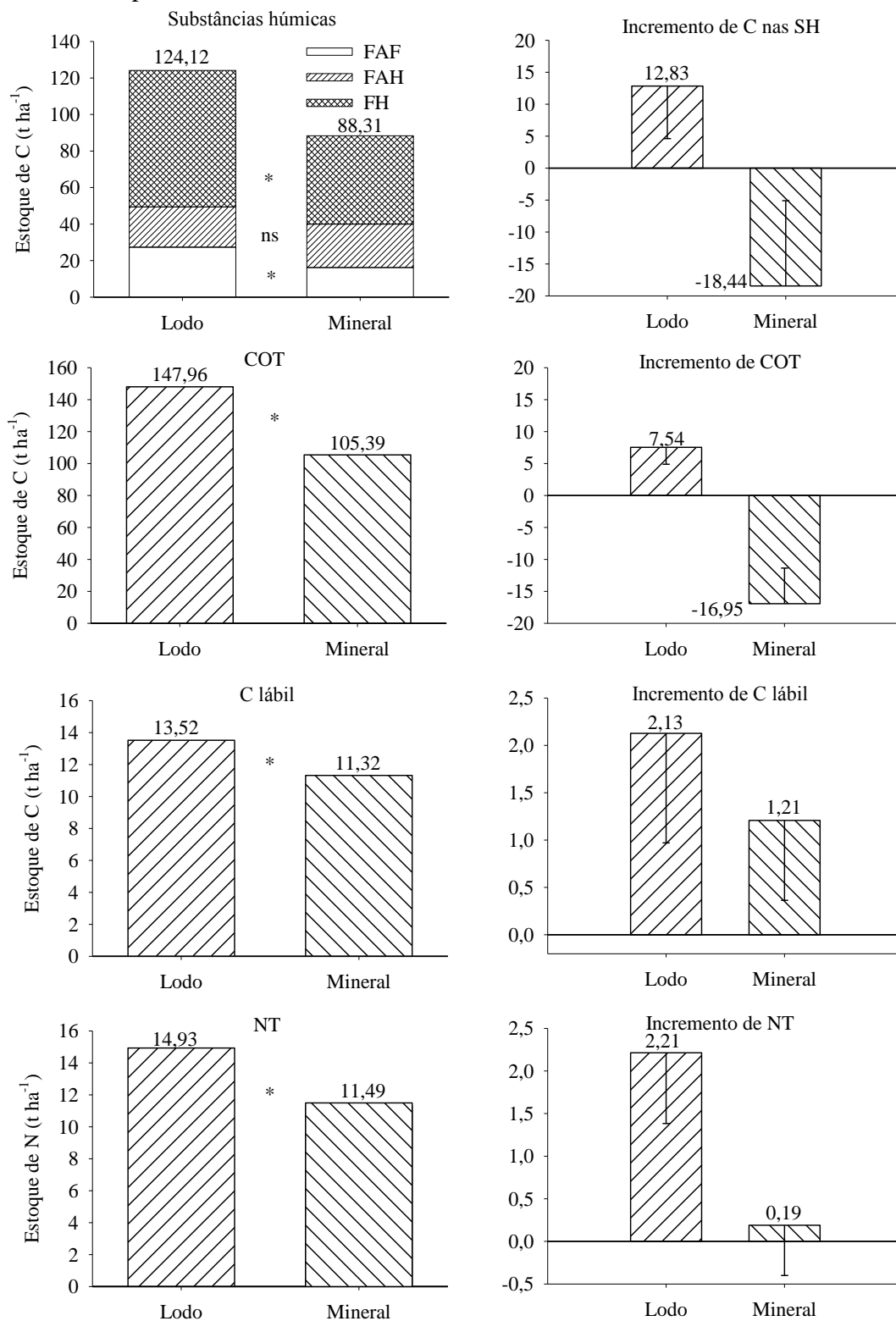
Fonte: Da autora, 2018.

Na camada de 0-60 cm de solo pode-se observar a estocagem de 148 e 105 t ha⁻¹ de COT e o incremento de 7,54 e -16,95 t ha⁻¹, nos tratamentos com lodo de esgoto e adubação mineral, respectivamente (Figura 3). O incremento de C aplicado via lodo ocorreu nas frações lábeis (C lábil) e estáveis (SH) da MOS, enquanto no tratamento com adubação mineral o decréscimo do carbono foi atribuído a redução da sua estocagem nas frações das SH (-18,44 t ha⁻¹) do solo, indicando que parte da matéria orgânica nativa do solo pode ter sido degradada, nesse sistema de manejo. Para NT, obteve-se a estocagem total de 14,93 e 11,32 e o incremento de 2,21 e 0,19 t ha⁻¹, nos tratamentos com lodo de esgoto e mineral, respectivamente (Figura 3). Ambos os tratamentos aumentaram ou mantiveram os estoques de NT no solo, possivelmente como resultado da adição de compostos orgânicos (lodo) e inorgânicos (adubação mineral) nitrogenados durante o cultivo dos abacaxizeiros.

O acréscimo de C no solo após a adubação com lodo também pode ser atribuído ao considerável teor de N presente no composto. A adição de N é fundamental para recuperação e estoque de carbono no solo, pois maiores teores de nitrogênio no solo aumentam a eficiência de assimilação de carbono pelos microrganismos, a taxa de decomposição de resíduos e formação da MOS (SOUZA *et al.*, 2009; AWASTHI *et al.*, 2016a), além de contribuir diretamente para a estabilização do carbono nas substâncias húmicas, devido a formação de complexos organominerais estáveis (PEGORARO *et al.*, 2014). Isso evidencia a importância da utilização do lodo de esgoto na agricultura, principalmente para o aumento do estoque de COT no solo. Enquanto, no sistema com a adição isolada de fertilizantes minerais a adição de N pode ter estimulado a decomposição da matéria orgânica nativa do solo, implicando no saldo negativo de carbono no solo ao final do cultivo dos abacaxizeiros. Segundo Steiner *et al.* (2012) a utilização de fertilizante mineral em

sistemas de culturas apresenta elevadas perdas de carbono orgânico no solo, proporcionando balanço negativo de C no solo.

Figura 3. Estoques e incremento de carbono nas frações ácido fúlvico (FAF), húmico (FAH) e húmicos (FH), substâncias húmicas (SH), fração lábil (CL), carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), na camada de 0-60 cm de profundidade após a adubação com lodo de esgoto e fertilizantes minerais no cultivo de abacaxizeiros.^{ns}: não significativo, *: significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F.



Fonte: Da autora, 2018.

De maneira geral, esses resultados evidenciam que a utilização do lodo de esgoto no solo como fertilizante aumenta os estoques e incrementos de carbono em frações lábeis e estáveis da MOS, contribuindo para a sequestro de CO₂ e sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

5 CONCLUSÕES

1. A aplicação de lodo de esgoto aumentou os estoques de carbono orgânico total, carbono lábil e nitrogênio total nas camadas superficiais e subsuperficiais do solo, em comparação aos tratamentos com adubação mineral.
2. A fração humina apresentou maiores estoques de carbono nas substâncias húmicas, seguida pelas frações ácido húmico e ácido fúlvico, independente da camada avaliada.
3. A adubação mineral propiciou incremento negativo de carbono orgânico total, carbono nas substâncias húmicas e, manteve ou aumentou os estoques de nitrogênio total e carbono lábil do solo, no final do período de cultivo dos abacaxizeiros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AWASTHI, M.K., PANDEY, A.K., BUNDELA, P.S., WONG, J.W.C., LI, R., ZHANG, Z., Cocomposting of gelatin industry sludge combined with organic fraction of municipal solid waste and poultry waste employing zeolite mixed with enriched nitrifying bacterial consortium. **Bioresource Technology**. V. 213, p. 181–189, 2016a.

BAYER, C. et al. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 238, n. 01, p. 133-140, jun. 2002.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES, F. J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. Semina: **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, out./dez. 2006.

BATAGLIA, O.C. et al. **Métodos de análises químicas de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim, 78).

BETTIOL, W.; GHINI, R. Impacts of sewage sludge in tropical soil: a case study in Brazil. Applied and Environmental. **Soil Science**, New York, v. 201, n. 1, p. 1-11, 2011.

BOEIRA, R.C; MAXIMILIANO, V.C.B. Mineralização de compostos nitrogenados após aplicações de lodos de esgoto na quinta aplicação em Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.711-722, jun. 2009.

BOEIRA, R. C; SOUZA, M. D. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio, pH e densidade de um Latossolo após três aplicações de lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 581-590, mai/jun. 2007.

BOZKURT, M. A.; YARILGAÇ, T & YAZICI, A. The use of sewage sludge as an organic matter source in apple trees. **Polish Journal of Environmental Studies**. Olsztyn, v.19, p. 267-274, 2010.

BUENO, J. R. P.; BERTON, R. S.; SILVEIRA, A. P. D.; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A.; MARIA, I. C. Chemical and microbiological attributes of an oxisol treated with successive applications of sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1461-1470, jul./ago. 2011.

CANELLAS, L.P.; SANTOS, G. de A. **Humusfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes: UENF, 2005. 310p.

CARDOSO, M. M.; PEGORARO, R. F.; MAIA, V. M.; KONDO, M. K.; FERNANDES, L. A. Crescimento do abacaxizeiro ‘vitória’ irrigado sob diferentes densidades populacionais, fontes e doses de nitrogênio. **Revista Brasileira Fruticultura**, v. 35, n. 3, p. 769-781, set. 2013.

CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. B. Inf. **Sociedade Brasileira Ciência do Solo**, v. 23, p.40-44, 2007.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. I – Disponibilidade de nitrogênio no solo e componentes de produção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 643-652, mar/abr. 2008.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto. II – Fertilidade do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 653-662, mar/abr. 2008b.

CHACÓN, P.; LORENZ, K.; LAL, R.; CALHOUN, F. G.; FAUSEY, N. Soil organic carbon in some land uses of Costa Rica. *Acta Agriculturae Scandinavica*, **Section B Soil & Plant Science**, v. 65, n. 4, p.310-320, 2015.

CRESTANI, M.; BARBIERI, R. L.; HAWERROTH, F. J.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C. From the Americas to the World - origin, domestication and dispersion of pineapple. **Ciência Rural**, v. 40, n. 6, p. 1473-1483, jun. 2010.

BRASIL. (2006) Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 375**, de 29 de agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017.

DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; SOARES, E. M. B.; BETTIOL, W. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em Latossolo submetido à aplicação contínua de lodo de esgoto **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 701-711, ago. 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 3.ed. Rio de Janeiro. 2013. 353p.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. A. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1069-1079, 2010.

GIACOMINI, S. J.; SIMON, V. L. G.; AITA, C.; BASTOS, L. M.; WEILER, D. M.; REDIN, M. Carbon and Nitrogen Mineralization in Soil Combining Sewage Sludge and Straw. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 5, p. 1428-1435, Sept/Oct. 2015.

GIÁCOMO, R. G.; PEREIRA, M. G.; BALIEIRO, F. C. Estoques de carbono e nitrogênio e distribuição das frações húmicas no solo sob diferentes coberturas florestais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 3, n. 1, p. 42-48, jan/mar. 2008.

GRUTZMACHER, P.; CARVALHO, C. S.; PACKER, A. P.; MARIA, I. C.; ANDRADE, C. A. **Estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo após sucessivas aplicações de lodo de esgoto(1)**. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 2013.

KOMINKO, H.; GORAZDA, K.; WZOREK, Z. The Possibility of Organo-Mineral Fertilizer Production from Sewage Sludge. **Waste Biomass Valorization**. v. 8, p.1781–1791, 2017.

KOUTROUBAS, S.D.; ANTONIADIS, V.; FOTIADIS, S.; DAMALAS, C.A. Growth, grain yield and nitrogen use efficiency of Mediterranean wheat in soils amended with municipal sewage sludge. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v. 100, p. 227–243, 2014.

LLORET, E., PASCUAL, J.A., BRODIE, E.L., BOUSKILL, N.J., Insam, H., Juárez, M.F.D., Goberna, M. Sewage sludge addition modifies soil microbial communities and plant performance depending on the sludge stabilization process. **Applied Soil Ecology**. v. 101, p. 37–46, 2016.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 78-83, jul. 2009.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C.; SILVA, E. M. R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 913-922, dez. 2010.

MARQUES, M. O.; BELLINGIERI, P. A.; MARQUES, T. A.; NOGUEIRA, T. A. R. Qualidade e produtividade da cana-de-açúcar cultivada em solos com doses crescentes de lodo de esgoto. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 111-122, abr/jun. 2007.

MELO, L. C. A.; SILVA, C. A.; DIAS, B. D.; Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas(1). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.1, p. 101-110, jan/fev. 2008.

MEHROTRA, A., KUNDU, K., SREEKRISHNAN, T.R. Decontamination of heavy metal laden sewage sludge with simultaneous solids reduction using thermophilic sulfur and ferrous oxidizing species. **J. Environ. Manage.** v. 167, p. 228–235, 2016.

MOTA, M. F. C. **Atributos químicos do solo e produção de abacaxizeiro adubado com lodo de esgoto**. 2016. 86 f., Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual de Montes Claros, Janaúba, 2016.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R. & MORAES, S.O. Lixiviação de nitrato em um latossolo amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 171-180, 2001.

PASCUAL, I., AZCONA, I., MORALES, F., AGUIRREOLEA, J., SANCHEZ-DIAZ, M. Growth, yield and physiology of *Verticillium*-inoculated pepper plants treated with ATAD and composted sewage sludge. **Plant and Soil**. v. 319 (1–2), p. 291–306, 2009.

PEGORARO, R. F.; RIBEIRO DA SILVA, I.; FERREIRA DE NOVAIS, R.; BARROS, N. F.; BERTOLA CANTARUTTI, R.; FONSECA, S. Estoques de carbono e nitrogênio em argissolo submetido ao monocultivo de *Eucalyptus urograndis* e em rotação com *Acacia mangium*. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 935-946, 2014.

PITOMBO, L. M.; CARMO, J. B.; DE MARIA, I. C.; ANDRADE, C. A. Carbon sequestration and greenhouse gases emissions in soil under sewage sludge residual effects. **Scientia Agricola**, v. 72, p. 147-156, 2015.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n.6, p. 1609-1623, nov/dez. 2007.

RIBEIRO, P. H et al. Adubação verde, os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. **Revista Verde**, Mossoró, v. 6, n. 1, p. 43-50, jan/mar. 2011.

RODRIGUES, M.N.; SAMPAIO, R.A.; ZUBA JUNIO, G.R.; OLIVEIRA, A.L.G. Nutrients and heavy metals in maize crop fertilized with rock phosphate and biosolid. **Revista Engenharia na Agricultura**. Viçosa, v.25, n.1, p.50-62, 2017.

ROSSI, C. Q.; PEREIRA, M. G.; GIACOMO, S. G.; BETTA, M.; POLIDORO, J. C. Frações lábeis da matéria orgânica em sistema de cultivo com palha de braquiária e sorgo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, p.38-46, 2012.

SÁ, J. C. M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D.C.; SANTOS, J.Z.; SANTOS, J.B. Long-term tillage systems impact on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 136, n. 1, p. 38-50, 2014.

SALES, R.P.; PEGORARO, R.F.; PORTUGAL, A.F.; MOREIRA, J.A.A.; KONDO, M.K. Organic matter fractions of an irrigated oxisol under no-till and conventional tillage in the Brazilian semi-arid region. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 2, p. 303 – 312, 2017.

SANTOS, L. L.; LACERDA, J. J. J.; ZINN, Y. L. Partição de substâncias húmicas em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.37, n. 4, p. 955-968, jul/ago. 2013.

SCHIAVO, J.A.; ROSSET, J.S.; PEREIRA, M.G.; SALTON, J.C. **Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, p. 1332-1338, 2011.

SHANG, C. & TIESSEN, H. Organic matter lability in a tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science**, Baltimore, v. 162, n. 11, p. 795-807, 1997.

SHARMA, B.; SARKAR, A.; SINGH, P.; SINGH, R.P. Agricultural utilization of biosolids: A review on potential effects on soil and plant growth, **Waste Management**, v.64, p. 117-132, 2017.

SILVA, I. R & MENDONÇA, E. S. **Matéria orgânica do solo**. In: Novais RF, Alvarez VVH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL (eds.) Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 275-374, 2007.

SILVA, J. R.; SILVA, D. J.; GAVA, C.A.T.; OLIVEIRA, T.C.T.; FREITAS, M.S.C. Carbon in Humic Fractions of Organic Matter in Soil Treated with Organic Composts under Mango Cultivation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 40, p. 1-11, 2016.

SINGH, R.P.; AGRAWAL, M. Effect of different sewage sludge applications on growth and yield of *Vigna radiata* L. field crop: Metal uptake by plant. **Ecological Engineering**, v.36, 969–972, 2010b.

SINGH, R.P.; AGRAWAL, M. Effects of sewage sludge amendment on heavy metal accumulation and consequent responses of *Beta vulgaris* plants. **Chemosphere**, v.67, p.2229–2240, 2007.

SINGH, R.P.; AGRAWAL, M. Potential benefits and risks of land application of sewage sludge. **Waste Management**, v.28, p. 347–358, 2008.

SINGH, R.P.; AGRAWAL, M. Use of sewage sludge as fertilizer supplement for *Abelmoschus esculentus* plants: physiological, biochemical and growth responses. **Waste Management**, v.3, p.91–106, 2009.

SOARES, E. M. B.; SILVA, C. A.; DIAS, B. O.; BETTIOL, W.; BELIZÁRIO, M. H. Frações da matéria orgânica de Latossolo sob influência de doses de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 9, p. 1231-1240, set. 2008.

SOUZA, J. L.; PREZOTTI, L. C.; GUARÇONI, M. A. Potencial de sequestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa. **Revista Idesia**, Chile, v. 30, p. 7-15, jan/abr. 2012.

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 Ciência do Solo**, Viçosa, v.33, n.6, p.1829-1836,2009.

SOUZA, M.; GUIMARÃES, P. T. G.; Carvalho, J. G.; FRAGOAS, J. C. Abacaxizeiro. In: CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa-MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, p.194, 1994.

STEINER, F.; PIVETTA, L. A.; ZOZ, T.; PINTO JUNIOR, A. S. Estoque de carbono orgânico no solo afetado por adubação orgânica e sistemas de culturas no Sul do Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, p. 2775-2788, 2012.

