



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENERGIA NUCLEAR

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
CENTRO REGIONAL DE CIÊNCIAS NUCLEARES DO NORDESTE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS ENERGÉTICAS E
NUCLEARES

EDUARDO HENRIQUE LIMA DE LUCENA

**ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM SOLOS DE FLORESTA
OMBRÓFILA Densa E CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR EM
PERNAMBUCO E ALAGOAS**

Recife

2019

EDUARDO HENRIQUE LIMA DE LUCENA

**ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM SOLOS DE FLORESTA
OMBRÓFILA Densa E CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR EM
PERNAMBUCO E ALAGOAS**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares (PROTEN) da Universidade Federal de Pernambuco para obtenção do título de Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares.

Área de concentração: Fontes Renováveis de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes

Co-orientador: Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecário Carlos Moura, CRB-4 / 1502

L935e Lucena, Eduardo Henrique Lima de.
Estoques de carbono e nitrogênio em solos de floresta ombrófila densa e cultivados com cana-de-açúcar em Pernambuco e Alagoas / Eduardo Henrique Lima de Lucena. - Recife, 2019.
118 f. : il., figs., gráfs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes.
Coorientador: Prof. Dr. Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, 2019.
Inclui referências e anexos.

1. Ciência dos solos. 2. Matéria orgânica do solo. 3. Uso da terra. 4. Argissolo. 5. Latossolo. I. Menezes, Rômulo Simões Cezar, orientador. II. Sampaio, Everardo Valadares de Sá Barretto, coorientador. III. Título.

EDUARDO HENRIQUE LIMA DE LUCENA

**ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO EM SOLOS DE FLORESTA
OMBRÓFILA DENSA E CULTIVADOS COM CANA-DE-AÇÚCAR EM
PERNAMBUCO E ALAGOAS**

Tese submetida ao Programa de Pós-graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares (PROTEN) da Universidade Federal de Pernambuco para obtenção do título de Doutor em Tecnologias Energéticas e Nucleares.

Aprovada em: 21 / 02 / 2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rômulo Simões Cezar Menezes – (Orientador) – DEN
Universidade Federal de Pernambuco

Dr. Dário Costa Primo – DEN - (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Renisson Neponuceno de Araújo Filho – DEF - (Examinador Externo)
Universidade Federal de Tocantins

Ana Dolores Santiago de Freitas – DEPA - (Examinador Externo)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dr. Flávio Adriano Marques – (Examinador Externo)
EMBRAPA Solos-UEP Recife

Coordenador(a) do PROTEN/DEN/UFPE

A Deus, pela vida e por me dar forças para vencer mais uma vez.

À minha mãe Sônia Maria Lima de Lucena, pela lição de vida, carinho, amor e por suportar minha ausência devida as minhas escolhas, ainda assim dando-me incentivos na jornada edificante desta vida.

Ao meu pai José Anselmo de Lucena, por ser um exemplo de homem, honestidade e pelos esforços realizados para garantir meus estudos de base, que me proporcionaram mais esta vitória.

À minha esposa Sany Freitas de Lucena, pelos incentivos, apoio, paciência, auxílio na minha caminhada e por ter me confortado nas horas difíceis e solitárias.

Aos meus irmãos: José Anselmo de Lucena Júnior e Ana Carolina Lima de Lucena, pelo apoio e incentivo durante estas e outras tarefas da vida, incentivos e apoio.

À minha imensurável paixão desta vida, Maria Clara Freitas de Lucena, filha que, na pureza de sua linda existência, nunca deixou de me esperar pacientemente para me abraçar e beijar no final de cada jornada diária, fortalecendo-me cada vez mais para o dia-a-dia, para a vida.

COM AMOR, DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela permissão em realizar este doutorado e por ter me confortado nas horas difíceis, nas diversas viagens de campo, riscos e por todas as atividades desempenhadas. Obrigado Deus;

A Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) pela sua importância no meu crescimento pessoal e profissional;

Ao meu orientador, prof. Rômulo Simões Cezar Menezes, pelas orientações e por seus questionamentos bastante pertinentes, principalmente, pela oportunidade de ingresso no doutorado, confiança e paciência, pelos conselhos e orientações, além de todos os incentivos dados, me fazendo refletir sempre cada vez mais sobre as perspectivas acadêmicas;

Agradeço também a Deus pelo nascimento da minha querida, amada e linda filha Maria Clara e a minha esposa amada Sany Freitas de Lucena;

Aos meus pais José Anselmo de Lucena e Sônia Maria Lima de Lucena que muito se sacrificaram, para que eu chegasse até esse momento, ensinando-me a lutar com dignidade, educação e acima de tudo a respeitar as pessoas;

Ao amigo e conselheiro Dário Primo, por sempre ter dado o apoio, o trabalho e a experiência nos trabalhos de campo durante todas as coletas realizadas, além de toda a ajuda nas realizações das análises de solo;

Ao professor Everardo Sampaio, pela sua participação no comitê de acompanhamento, contribuindo com correções e sugestões voltadas sempre para melhoria da qualidade na escrita dos textos e conselhos passados durante o andamento desse trabalho;

Aos Pedólogos Elmo Clarck, José Coelho e Flávio Marques pelo grande auxílio em campo com a ajuda fundamental na identificação das classes de solo estudadas e inúmeras contribuições e correções durante a realização do trabalho;

Ao Pesquisador e colaborador da Associação Plantas do Nordeste (APNE), Frans Pareyn, pelas várias colaborações nas atividades de campo;

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (Tabuleiros Costeiros), por ter auxiliado com as análises das concentrações de carbono e de nitrogênio, em meus estudos, com atenção especial à Walane Mello Ivo, pesquisadora e colega, que tanto auxiliou com as análises, sem deixar de agradecer também ao André Felipe Câmara Amaral, técnico analista responsável pelas análises realizadas;

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Agrobiologia – Seropédica-RJ, pelo auxílio com as análises das concentrações de carbono referentes aos dados do segundo capítulo, com atenção especial à Bruno José Rodrigues Alves, pesquisador em Ciência do Solo e colaborador do grupo (DEN/PROTEN);

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, por todas as análises físico-químicas das amostras de solos coletadas, em especial ao Dr. José Nildo Tabosa (Dr. Tabosa), que por diversas vezes apoiou com as análises de solo;

Às Usinas São José - PE e Coruripe - AL, por terem cedido as áreas experimentais, além de todo apoio nas diversas atividades de campo. Em especial ao agrônomo Drº José Sandro Soares Pereira “Sandro” e aos funcionários que auxiliaram em campo: Cláudio Gonçalves da Silva, João Feliciano da Silva, Leandro Paulo da Silva e José Mário. Gostaria

de agradecer ao Srº Eraldo Barros Júnior, da Usina Coruripe, pelo profissionalismo, responsabilidade e atenção na obtenção dos locais de estudo e aos funcionários das atividades em campo, Antônio “tonho” e Cícero pelos trabalhos realizados em campo;

Aos técnicos do Laboratório de Energia da Biomassa da Universidade Federal de Pernambuco, professores, funcionários, colaboradores e colegas de pós-graduação pelas várias contribuições, ajustes, aconselhamentos e amizade; com especial atenção à Claudenice Maria, Gilberto Nascimento Eloi e Pedro Antônio (Pedrinho), Josenildo, Zacarias, Nilvânia Monteiro e Kalidja, situado no Departamento de Energia Nuclear (DEN), me auxiliando com a realização das análises de solo;

Aos amigos do grupo, Professor Emmanuel Dutra, Diego Marcelino, Eric Xavier, Tiago Althoff, Júlio Martins, Kennedy de Jesus, Andrea Avelino, Benaia Barros, André Luiz, Mona Nagai, Taciana Santos, Renisson Neponuceno, Natache Ferrão, Renata Souza, Mônica Santana, Carol Gonzáles, Nilson Medeiros, Alice Sabrina, Edilândia Dantas, Raphael Correa, Rafael Rodrigues, Ana Maria, Uemeson José, Mona Vasconcelos e Monaliza Andrade pelo apoio durante o decorrer do doutorado;

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa de doutorado, através dos projetos “Estoques de Carbono na Vegetação e no Solo em Áreas com Diferentes Usos da Terra em Pernambuco” (CNPq Universal, 14/2012, Processo 473449/2012-9), “Consolidação de rede de pesquisa sobre estoques e fluxos de carbono em solos e vegetação na Região Nordeste do Brasil (Biomass Caatinga, Mata Atlântica e Cerrado) e modelagem dos impactos associados às mudanças climáticas e de cobertura e uso” (CNPq, 23/2015, Processo 446137/2015-4.), “Impactos de Mudanças Climáticas sobre a Cobertura e Uso da Terra em Pernambuco: Geração e Disponibilização de Informações para o Subsídio de Políticas Públicas” (Processo APQ-0.077-5, 01/09, edital 05-2010);

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), pelo apoio financeiro, através do projeto “Estoque vertical de carbono orgânico estável em diferentes solos, biomas e uso da terra no estado de Pernambuco” (FACEPE/CAPES - Processo 0199-3.09/12);

Aos amigos, ou melhor, irmãos de luta, de vida, de adolescência e aprendizados juntos, Rafael Rocha de Oliveira, Vitor Fonsêca Tavares Barreto Xavier, Vinícius Fonseca Tavares Barreto e Valdemir Tavares Barreto Filho;

Aos vigilantes do DEN, Edivaldo, Josenildo e Antonio pela atenção constante;

A todos os que direta ou indiretamente contribuíram para que eu chegasse até aqui e aos que me incentivam a buscar sempre algo a mais.

Muito obrigado!

RESUMO

Os solos sob vegetação florestal são importantes reservatórios de carbono e nitrogênio. A conversão de florestas em outros usos do solo acarreta perdas de C e N do solo. Na região Nordeste do Brasil, a vegetação florestal do Bioma Mata Atlântica, na região litorânea dos estados de Pernambuco e Alagoas, foi demasiadamente removida e substituída por outros usos, sobretudo o cultivo de cana-de-açúcar. Porém, são muito limitadas as informações sobre os estoques de C e N em solos nessa região. O objetivo deste trabalho foi quantificar as mudanças nos estoques de carbono e nitrogênio em solos de floresta ombrófila densa após a conversão desses solos para cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) em Pernambuco e Alagoas. Foram selecionadas para amostragem áreas de vegetação nativa (Floresta Ombrófila) e cana-de-açúcar, colhida com fogo. As concentrações de C e N do solo foram realizadas utilizando analisador elementar (CHNS-O). No segundo estudo foi utilizado fracionamento granulométrico. As concentrações, os estoques e a relação C/N reduziram com o aumento da profundidade. As concentrações e estoques totais de C e N em todo o perfil do solo em cana-de-açúcar nos engenhos Piedade, Miai de baixo e Topless foram superiores em comparação à floresta ombrófila. Após a conversão da vegetação observou-se acréscimo no estoque de carbono de 3,8 Mg ha⁻¹ e redução do estoque de nitrogênio de 0,4 Mg ha⁻¹ aos 30 cm de profundidade. Após a mudança de uso do solo considerando a camada de 0-100 cm, em Pernambuco, houve redução do estoque de C e aumento do estoque de N. Em Alagoas, houve aumento no estoque de C e redução no estoque de N. Os solos de floresta ombrófila estocam a mais que cana-de-açúcar 2 % do COT e 1 % do NT considerando os 30 cm iniciais de profundidade do solo. Em resumo, dados globais indicam que cana-de-açúcar estocou 3,6 % de C a mais que floresta ombrófila, em contrapartida, o estoque de N reduziu em 1,6 % do estoque original. O segundo estudo apontou redução da proteção física após a conversão de vegetação com perda de 33 % da fração carbono orgânico particulado, em decorrência do manejo intensivo do solo. A fração carbono orgânico associado aos minerais reduziu em 3 % da concentração de C original. A fração carbono orgânico particulada mostrou-se mais adequada e mais sensível que o carbono total para evidenciar reduções provenientes da mudança de uso do solo, sobretudo, na camada de 0-10 cm, sendo utilizada como um indicador da qualidade do solo. Observou-se perda significativa na fração carbono orgânico particulada na camada de 0-10 cm com redução de 60 e 24 % em Pernambuco e Alagoas, respectivamente. Houve aumento de 7 % e redução de 13 % da concentração de C na fração carbono orgânico

associado aos minerais em Pernambuco e Alagoas, respectivamente, após a conversão. O efeito do sistema de cultivo em cana-de-açúcar, provavelmente, necessita de maior tempo para aumentar o conteúdo de C no solo na fração carbono orgânico particulado, sobretudo na camada de 0-10 cm.

Palavras-chave: Matéria orgânica do solo. Uso da terra. Argissolo. Latossolo.

ABSTRACT

Soils under forest vegetation are important reservoirs of carbon and nitrogen. Conversion of forests to other land uses leads to C and N soil losses. In the northeastern region of Brazil, the forest vegetation of the Atlantic Forest Biome, in the coastal region of the states of Pernambuco and Alagoas, has been excessively removed and replaced by other uses, especially the cultivation of sugarcane. However, information on C and N stocks in soils in this region is very limited. The objective of this work was to quantify changes in carbon and nitrogen stocks in dense ombrophilous forest soils after the conversion of these soils to sugarcane (*Saccharum officinarum* L) in Pernambuco and Alagoas. Areas of native vegetation (Ombrophilous Forest) and sugarcane harvested with fire were selected for sampling. The concentrations of C and N of the soil were performed using elemental analyzer (CHNS-O). In the second study, granulometric fractionation was used. Concentrations, stocks and C/N ratio decreased with increasing depth. The concentrations and total stocks of C and N throughout the soil profile in sugarcane in the Piedade, Miao de Bottom and Topless mills were higher in comparison to the ombrophilous forest. After the vegetation conversion, there was an increase in the carbon stock of 3.8 Mg ha⁻¹ and a reduction of the nitrogen stock of 0.4 Mg ha⁻¹ at 30 cm depth. After the land use change considering the 0-100 cm layer in Pernambuco, there was a reduction of C stock and an increase in N stock. In Alagoas, there was an increase in C stock and a reduction in N stock. Soils of ombrophilous forest stored more than sugarcane 2 % of TOC and 1 % of NT considering the initial 30 cm of soil depth. In summary, global data indicate that sugarcane stored 3.6 % more C than ombrophilous forest, in contrast, the N stock reduced by 1.6 % of the original stock. The second study indicated a reduction of physical protection after the conversion of vegetation with a loss of 33 % of the particulate organic carbon fraction, due to intensive soil management. The organic carbon fraction associated with the minerals decreased by 3 % of the original C concentration. The particulate organic carbon fraction was more adequate and more sensitive than the total carbon to show reductions from the change in soil use, especially in the 0-10 cm layer, being used as an indicator of soil quality. There was a significant loss of the particulate organic carbon fraction in the 0-10 cm layer with 60 and 24 % reduction in Pernambuco and Alagoas, respectively. There was a 7 % increase and a 13 % reduction of the C concentration in the organic carbon fraction associated to the minerals in Pernambuco and Alagoas, respectively, after conversion. The effect of the

sugarcane cultivation system probably requires a longer time to increase the C content in the soil in the particulate organic carbon fraction, especially in the 0-10 cm layer.

Keywords: Organic matter of soil. Land use. Ultisols. Oxisols.

LISTA DE FIGURAS E ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Características climáticas do estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil	20
Figura 2 – Características climáticas do estado de Alagoas, Nordeste do Brasil	20
Figura 3 – Localização das áreas de estudo nos estados de Pernambuco e Alagoas	37
Figura 4 – Localização com imagem de satélite dos pontos selecionados para as estimativas dos estoques de carbono e nitrogênio nos estados de Pernambuco e Alagoas, considerando o uso do solo (▲Floresta Ombrófila Densa e ✦Cana-de-açúcar)	39
Figura 5 – Medida padrão utilizada para coleta de amostras de solo	42
Figura 6 – Coleta de amostras para determinação da densidade do solo	43
Figura 7 – Analisador elementar de CHNS-O	44
Figura 8 – Correlação entre as concentrações de C e N para Pernambuco (esquerda) e Alagoas (direita)	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Estados de oxidação de compostos nitrogenados chaves	22
Tabela 2 –	Usos e coberturas e abrangências das classes de solos nos estados de Pernambuco e Alagoas	38
Tabela 3 –	Usina/engenho, classe de solo, localização (latitude e longitude) e usos	41
Tabela 4 –	Caracterização física e química dos solos nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm nos estados de Pernambuco e Alagoas	45
Tabela 5 –	Concentrações médias (n=3) de carbono (%) em solos sob Floresta Ombrófila Densa e Cana-de-açúcar em Pernambuco e Alagoas na profundidade de 0-100 cm	50
Tabela 6 –	Concentrações médias (n=3) de nitrogênio (%) em solos sob Floresta Ombrófila Densa e Cana-de-açúcar em Pernambuco e Alagoas na profundidade de 0-100 cm	57
Tabela 7 –	Estoques médios (n=3) totais de carbono ($Mg\ ha^{-1}$) em solos sob Floresta Ombrófila Densa e Cana-de-açúcar em Pernambuco e Alagoas na profundidade de 0-100 cm	62
Tabela 8 –	Estoques médios (n=3) totais de nitrogênio ($Mg\ ha^{-1}$) em solos sob Floresta Ombrófila Densa e Cana-de-açúcar em Pernambuco e Alagoas na profundidade de 0-100 cm	68
Tabela 9 –	Relação C/N sob diferentes usos do solo na profundidade de 0-100 cm em áreas de Floresta Ombrófila Densa e Cana-de-açúcar	74
Tabela 10 –	Coefficiente de correlação de Pearson em relação as concentrações de carbono e nitrogênio em profundidade (0-100 cm) em áreas de Floresta Ombrófila Densa e Cana-de-açúcar	76
Tabela 11 –	Concentração de carbono orgânico total (COT) e estoque de COT em função dos diferentes sistemas de uso do solo em Argissolo Vermelho-Amarelo - PVA (PE e AL) e Latossolo Vermelho-Amarelo LVA (PE)	78
Tabela 12 –	Concentrações de carbono das frações da MOS ($g\ kg^{-1}$) em função dos diferentes sistemas de uso do solo em Argissolo Vermelho-Amarelo - PVA (PE e AL) e Latossolo Vermelho-Amarelo LVA (PE)	81

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

C/N	Relação carbono/nitrogênio	
CTC	Capacidade de troca de cátions	
COam	Carbono orgânico associado aos minerais	
COp	Carbono orgânico particulado	
CO ₂	Dióxido de carbono	
COR	Coruripe - Usina/AL	
COS	Carbono orgânico do solo	
COT	Carbono orgânico total	[g kg ⁻¹]
DEN	Departamento de energia nuclear	
Ds	Densidade do solo	[g cm ⁻³]
Eq	Equação	
FBN	Fixação biológica de nitrogênio	
GEE	Gases de efeito estufa	
ha	Hectare	[10.000 m ²]
IPA	Instituto Agronômico de Pernambuco	
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	
Mg	Megagrama (1 Mg = 1 tonelada = 1000 Kg)	
MOS	Matéria orgânica do solo	
NT	Nitrogênio total	[g kg ⁻¹]
Pg	Petagrama (1 Pg = 10 ¹⁵ g – correspondente a um bilhão de toneladas)	
Ppb	Partes por bilhão	
Ppm	Partes por milhão	
SJA	São José Agroindustrial – Usina/PE	
TCH	Tonelada de cana-de-açúcar por hectare	
Tg	Teragrama (1 Tg = 10 ¹² g – corresponde a um milhão de toneladas)	
TFSA	Terra fina seca ao ar	
%	Por cento	

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1	CARACTERÍSTICAS DA ZONA DA MATA	19
2.2	CICLO GLOBAL DO CARBONO E NITROGÊNIO	20
2.2.1	Ciclo do carbono	21
2.2.2	Ciclo do nitrogênio	22
2.3	A MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)	24
2.3.1	Fatores que influenciam o armazenamento de matéria orgânica do solo	25
2.3.1.1	Textura e mineralogia do solo	25
2.3.1.2	Relevo do solo	27
2.3.1.3	Cobertura e usos do solo	28
2.3.1.4	Clima	29
2.4	FRACIONAMENTO FÍSICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)	30
2.5	A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM PERNAMBUCO E ALAGOAS	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	37
3.1	LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO	37
3.2	HISTÓRICO DAS ÁREAS	38
3.3	CLASSES DE SOLO AVALIADAS	41
3.4	COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO	42
3.5	PROCESSAMENTO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS	43
3.6	CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DOS SOLOS	44
3.7	CÁLCULO DOS ESTOQUES DE C E N DO SOLO	46
3.8	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS DE ESTOQUES DE C E N DO SOLO ...	46
3.9	COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO DO ESTUDO DE FRACIONAMENTO FÍSICO DA MOS	47
3.10	PROCESSAMENTO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE SOLO APÓS FRACIONAMENTO	47
3.11	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS DO FRACIONAMENTO DO SOLO	48
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1	CONCENTRAÇÕES DE C POR CAMADA E USO DO SOLO EM PERNAMBUCO E ALAGOAS	49

4.2	CONCENTRAÇÕES DE N POR CAMADA E USO DO SOLO EM PERNAMBUCO E ALAGOAS	56
4.3	ESTOQUES DE C EM SOLOS SOB FLORESTA E CANA-DE-AÇÚCAR EM PERNAMBUCO E ALAGOAS	61
4.4	ESTOQUES DE N EM SOLOS SOB FLORESTA E CANA-DE-AÇÚCAR EM PERNAMBUCO E ALAGOAS	68
4.5	RELAÇÃO C/N NOS SOLOS	73
4.6	CONCENTRAÇÕES E ESTOQUES DE CARBONO DAS FRAÇÕES DA MOS ...	77
4.7	CARBONO DA FRAÇÃO LEVE EM FUNÇÃO DO USO DO SOLO	80
5	CONCLUSÕES	86
	REFERÊNCIAS	90
	ANEXOS A - CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS UTILIZADOS PARA PREPARAÇÃO DO COMPOSTO¹ E USO NOS SOLOS DOS ENGENHOS CUMBE E PIEDADE, EM PERNAMBUCO	116
	ANEXOS B - CARACTERIZAÇÃO DO HÚMUS PREPARADO NA USINA SÃO JOSÉ AGROINDUSTRIAL – PE	117
	ANEXOS C - CARACTERIZAÇÃO DA TORTA DE FILTRO UTILIZADA COMO BIOFERTILIZANTE NOS ENGENHOS MIAI DE BAIXO E TOPLESS NA USINA CORURIBE, EM ALAGOAS	118

1 INTRODUÇÃO

A preocupação mundial com as mudanças do clima tem sido crescente, principalmente, devido às emissões para a atmosfera de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito estufa (GEE), como o metano e o óxido nitroso (BALDOTTO et al., 2015; CARVALHO et al., 2015; NOAA, 2016). As taxas de emissão de CO₂ para a atmosfera quadruplicaram desde o início da década de 1960 (NOAA, 2017). Como consequência, nos últimos 250 anos, a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou 38%, alcançando 402 ppm, o mais alto nível observado nos últimos anos (NOAA, 2016). A elevada concentração desses gases na atmosfera pode provocar consequências, como o aumento da temperatura do globo terrestre e, caso as emissões desses gases continuem aumentando no atual ritmo, a temperatura global subirá em média entre 2,6 e 4,8 °C até o final do século (IPCC, 2014).

Além da queima de combustíveis fósseis, as conversões de áreas de vegetação nativa em áreas agrícolas e pastagens têm sido apontadas como um dos principais fatores responsáveis pelas emissões de carbono para a atmosfera (LAL et al., 2007; MARQUES et al., 2017). Logo, os estudos sobre estoque e formas de carbono orgânico do solo (COS) nos diferentes ecossistemas tornaram-se um tema de interesse internacional (FU et al., 2010), particularmente no contexto da mudança climática a longo prazo (BU et al., 2012; DEGÓRSKI, 2005; LEIFELD et al., 2013).

Os solos sob vegetação nativa emitem 6,0 Tg ano⁻¹ de óxido nitroso e os solos agrícolas 4,2 Tg ano⁻¹ (SAIKAWA et al., 2014). O solo, deste modo, é a base dos ecossistemas terrestres, desempenhando papel importante no ciclo global do carbono (MEA, 2005; ADHIKARI e HARTEMINK, 2016), configurando-se como maior reservatório de carbono orgânico terrestre na biosfera, armazenando mais carbono (C) do que o contido nas plantas e na atmosfera juntos (SCHLESINGER, 1997; ZHANG et al., 2013a). Cerca de dois terços do carbono global nos solos está mantido como carbono orgânico (CO) (SCHARLEMANN et al., 2014). As mudanças nos estoques de C do solo por menor que sejam, podem ter grandes impactos nas concentrações de dióxido de carbono na atmosfera (WANG et al., 2014). Deste modo, a manutenção dos estoques de C é um dos fatores importantes na melhoria da qualidade do solo e na mitigação do aquecimento global (LI et al., 2017).

Nesse sentido, os solos sob florestas são considerados como um dos principais reservatórios de carbono orgânico terrestre do mundo e o uso do solo é um fator chave na determinação desse sumidouro ao longo do tempo (PAN et al., 2011). As atividades de manejo da terra e a mudança de uso da terra (conversão de terras florestais em terras agrícolas) liberaram aproximadamente 156 Pg C para a atmosfera entre os anos de 1850 e 2000 (HOUGHTON, 2003).

Cerca de 60% dessas emissões ocorreram em áreas tropicais, sobretudo devido ao desmatamento (HOUGHTON, 2003), contribuindo também para a degradação do solo (LAL, 2008).

Estudos afirmam que mais de 70% do estoque de carbono terrestre é representado pelos ecossistemas florestais (JANDL et al., 2007) e deles aproximadamente 60% estão presentes abaixo de 20 cm de profundidade (CHABBI et al., 2009; BATJES, 2014). Portanto, o carbono em profundidade no solo tem atraído cada vez mais atenção nos últimos anos (MORA et al., 2014; MARÍN-SPIOTTA et al., 2014). Dados globais de estoque de carbono orgânico do solo (COS) na profundidade até 30 cm foram estimados entre 684 e 724 Pg e na profundidade até 100 cm entre 1.462 e 1.548 Pg (BATJES, 2014; PAN et al., 2011).

A matéria orgânica do solo (MOS) desempenha importante papel no desenvolvimento das plantas, por meio da influência direta nos processos químicos, físicos e biológicos do solo, sendo este um papel relevante por participar como sumidouro do carbono atmosférico (BOJKO e KABALA, 2017; VANLAUWE et al., 2015). A MOS contribui para a conservação dos solos, pois constitui-se como um dos principais agentes responsáveis pela formação e estabilização dos agregados do solo (SEGNINI, 2007). Além disso, a MOS é responsável por 75 a 85% da capacidade de troca de cátions (CTC), não obstante sua pequena participação no volume total do solo (SIQUEIRA NETO et al., 2009).

Estudos prévios indicaram alguns dos principais fatores que influenciaram os estoques de COS nos ecossistemas, como uso do solo (ZHANG et al., 2013a; GELAW et al., 2014), as práticas de manejo (LAL, 2003; WANG et al., 2014) e tipos de solos e vegetação (FU et al., 2010; HAN et al., 2010). As perdas de biomassa de florestas tropicais têm contribuído para reduções nos estoques totais de COS, portanto, sua preservação e manutenção representa uma forma de dreno ou sequestro deste elemento nos ecossistemas terrestres.

Grande parte das pesquisas no Brasil aplicou seus esforços em estudos que disponibilizaram dados de estoques de COS e nitrogênio apenas na camada superficial do solo. Observa-se, portanto, que há uma lacuna importante de informação nesse tema, considerando que grande parte dos estoques desses elementos estão armazenados em profundidade.

Considerando a importância dos estoques de carbono e nitrogênio nos solos no Nordeste do Brasil, e levando em conta que esses variam com a classe de solo, condições climáticas e usos da terra, no bioma Mata Atlântica (Zona da Mata), é possível constatar a importância e necessidade premente de estimativas dos estoques de carbono e nitrogênio em locais que ainda não foram levantadas essas informações. Mais especificamente, são limitados os dados em áreas litorâneas, inseridas no bioma Mata Atlântica, tanto em áreas de Floresta Ombrófila Densa quanto sob cultivo de Cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L), que é a principal cultura agrícola nessa região. Além disso, a pouca informação disponível não inclui as camadas de solo mais profundas (até 100 cm de

profundidade) e também, em grande parte, não foi gerada utilizando-se os métodos de referência (combustão via seca – analisador elementar) para determinação dos estoques de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT).

Dado o exposto, constata-se que o levantamento do conteúdo de carbono e nitrogênio, comparando perdas entre os solos de floresta e cana-de-açúcar são de relevância por contribuírem com informações inéditas para a região Nordeste. Sendo assim, o objetivo principal desse trabalho foi quantificar as mudanças nos estoques de carbono e nitrogênio em solos de Floresta ombrófila densa após a conversão desses solos para cultivo de cana-de-açúcar em Pernambuco e Alagoas.

Diante do exposto, a tese foi estruturada em 2 estudos:

- Estudo 1 - Estoques de carbono e nitrogênio em solos sob Floresta Ombrófila Densa e cultivados com cana-de-açúcar em Pernambuco e Alagoas.
- Estudo 2 - Frações da matéria orgânica do solo sob floresta e cultivo de cana-de-açúcar em Pernambuco e Alagoas.

O primeiro estudo refere-se à quantificação dos estoques totais de carbono e nitrogênio no solo na camada de 0-100 cm, sob vegetação de Floresta Ombrófila Densa (Mata Atlântica) e cana-de-açúcar nas regiões da Zona da Mata de Pernambuco (Argissolo/Latossolo) e Alagoas (Argissolo).

O segundo estudo trata das concentrações e estoques de carbono nas frações da matéria orgânica do solo, na camada de 0-40 cm, após remoção de Floresta Ombrófila Densa e substituição por cultivo de cana-de-açúcar nos estados de Pernambuco e Alagoas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

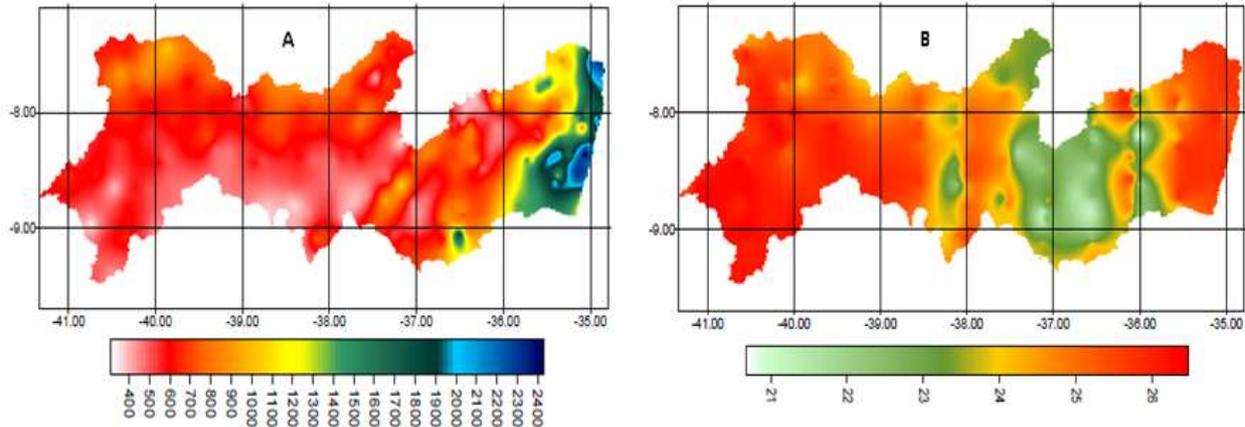
2.1 CARACTERÍSTICAS DA ZONA DA MATA

A Zona da Mata de Pernambuco corresponde à faixa de terra que se estende da costa atlântica aos primeiros contrafortes do Maciço da Borborema. É a menor das três regiões fisiográficas estaduais (Litoral-Mata ou Zona da Mata, Agreste e Sertão), com área de 8.738 km² (IBGE, 2016). Ela está inserida no domínio de Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 1992), com clima tipo As', quente e úmido (KÖPPEN, 1936). A temperatura média anual do aré de 24,9 °C, caracterizado por uma precipitação pluvial média anual de 1.444 mm (SILVA, 2004). Os solos arenosos da faixa litorânea dão lugar aos solos argilosos das encostas dos morros e colinas de formas brandas e arredondadas, principalmente na parte sul. Na parte norte, os tabuleiros da formação Barreiras (Plio-Pleistoceno) podem ter solos predominantemente arenosos e relevo fortemente ondulado, com declividade no geral superior a 30%, com cotas altitudinais que variam entre 25 e 110 m na parte central e nas bordas dos fragmentos arbóreos, respectivamente (FIDEM, 1993). A rede hidrográfica apresenta-se perene e caudalosa, drenando extensas áreas de maiores cotas pluviométricas. O revestimento vegetal original era representado pela floresta tropical úmida, localmente chamada de Mata Atlântica, exemplo de Floresta Ombrófila Densa, que foi substituída em mais de 95% da área por cultivos agrícolas, principalmente cana-de-açúcar (CONDEPE/FIDEM, 2006).

Alagoas possui três mesorregiões, compreendendo o Leste, formado pelo litoral e a mata, o Agreste e o Sertão. O Leste é a maior região em área territorial e abrange o Litoral e a Zona da Mata (Norte e Sul). O município de Coruripe está inserido na Zona da Mata Sul, que por sua vez apresenta área total de 4.726 km² (IBGE, 2016). A vegetação nativa é a Mata Atlântica, classificada como Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 2012). O clima da região é tropical chuvoso com verão seco (As', classificação Köppen), precipitação pluvial média anual de 1.830 mm e temperatura média do ar de 27 °C (FILIZOLA et al., 2001). A declividade varia de 0% a 6% e o relevo que predomina na baixada litorânea é plano, com exceção de pequenas áreas ocupadas por dunas, que apresentam relevo de suave ondulado a ondulado (BRASIL, 2008). Os solos com suas faixas arenosas que se estendem paralelamente às praias na baixada litorânea são provenientes de sucessivos depósitos de areias de origem marinha. Os solos derivados destes materiais incluem predominantemente Argissolos e Latossolos (EMBRAPA, 2013). Duas bacias hidrográficas nacionais fazem a drenagem no estado, a do rio São Francisco e a do Atlântico Nordeste Oriental. Na Zona da Mata Sul alagoana, a vegetação designada floresta perenifólia de restinga foi denominada como mata de restinga ou floresta estacional perenifólia de restinga e terraços litorâneos. Trata-se das formações

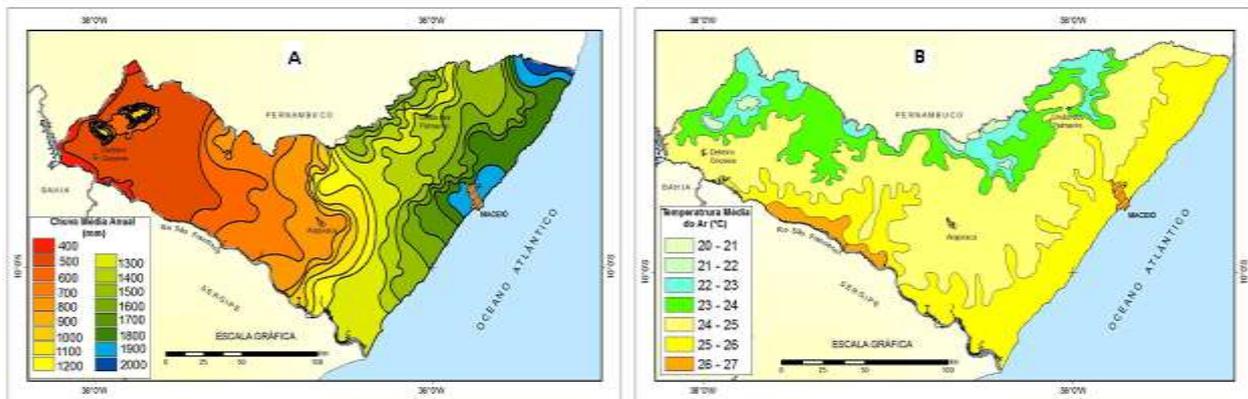
florestais que se desenvolvem nos sedimentos arenosos da baixada litorânea que são mais expressivos no litoral sul do Estado de Alagoas (ANDRADE-LIMA, 1966a). As características climáticas (precipitação pluvial média anual e temperatura média anual do ar) dos estados de Pernambuco e Alagoas são apresentadas nas Figuras 1 e 2 a seguir.

Figura 1 - Características climáticas do estado de Pernambuco, nordeste do Brasil.



(A) Precipitação pluvial média anual (mm); (B) Temperatura média anual do ar (°C) no estado de Pernambuco. Fonte: Adaptado de ARAÚJO FILHO et al. (2000).

Figura 2 - Características climáticas do estado de Alagoas, nordeste do Brasil.



Precipitação pluvial média anual (mm) (A); Temperatura média anual do ar (°C) no Estado de Alagoas (B). Fonte: (Santos et al., 2013)

2.2 CICLO GLOBAL DO CARBONO E DO NITROGÊNIO

O carbono (C) e o nitrogênio (N) frequentemente têm sido utilizados como indicadores da qualidade do solo, tanto em sistemas agrícolas quanto em áreas de vegetação nativa (JANSEN, 2005). As mudanças no uso da terra modificam profundamente os processos biogeoquímicos do solo, com reflexos no estoque de C, na disponibilidade de N e na emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera (LIMA et al., 2000).

2.2.1 Ciclo do carbono

O carbono é elemento fundamental na constituição das moléculas orgânicas. Está presente no ambiente, combinado ao oxigênio e formando as moléculas de gás carbônico presentes na atmosfera ou dissolvidas nas águas dos mares, rios e lagos, passando a fazer parte da biomassa através do processo da fotossíntese (CICLO DO CARBONO, 2010).

O ciclo biogeoquímico do C corresponde aos processos responsáveis por retirar carbono de um determinado compartimento (reservatório), fazê-lo participar de compostos e reações em outros compartimentos e, após algum tempo, devolvê-lo ao compartimento de origem (PACHECO e HELENE, 1990). Esse ciclo é de suma importância para a manutenção da vida dentro dos ecossistemas, nas quais os elementos químicos são utilizados em sucessivos períodos de fixação de energia, circulando na biosfera em vias características, do ambiente aos organismos vivos e desses novamente ao ambiente (ODUM, 2013). A alocação de carbono exerce um papel crítico no ciclo do carbono dos ecossistemas florestais, distribuindo os produtos da fotossíntese entre respiração e produção da biomassa, tecidos temporários ou de vida longa, e componentes acima do solo e subterrâneos (LITTON; RAICH; RYAN, 2007).

Na Terra, existem vários compartimentos de carbono e, dentre eles, os principais são: os oceanos, as formações geológicas contendo carbono fóssil e mineral, os ecossistemas terrestres (biota + solo) e a atmosfera (SCHLESINGER, 1997). O maior compartimento é o oceano, com 38.000 Pg C, seguido pelas formações geológicas (5.000 Pg C). O carbono das formações geológicas consiste de 4.000 Pg presentes no carvão, 500 Pg no petróleo e 500 Pg no gás natural (o carbono estocado nesses combustíveis fósseis não é permutável naturalmente, ocorrendo isto apenas com a interferência humana). O compartimento de carbono do solo (2.500 Pg C) é o maior nos ecossistemas terrestres (aproximadamente 4 vezes o compartimento de C da vegetação e 3,3 vezes o carbono da atmosfera) e é constituído pelo carbono orgânico com 1.500 Pg e o inorgânico com 1.000 Pg (SCHLESINGER, 1997).

Considerando apenas a camada de 0-30 cm de profundidade, o solo responde por um estoque aproximado de 800 Pg de C, isto é, quase a mesma quantidade presente na atmosfera (CERRI et al., 2006). Neste sentido, mudanças nos estoques de C do solo podem causar impactos significativos na concentração de CO₂ na atmosfera. Diante disso, a possibilidade de aumentar a quantidade de C armazenada no solo é vista com grande interesse (BERNOUX et al., 2002). O C armazenado na camada de 0-30 cm nos solos tropicais equivale a aproximadamente 30% do armazenado nesta camada no planeta e grande parte deste, está nas formas orgânicas (BATJES; SOMBROEK, 1997).

De acordo com Tonello (2007), entender o ciclo do carbono implica considerar processos físicos, químicos, biológicos e geológicos que atuam em escalas de tempo muito diferentes. Todos

os processos de um ecossistema dependem de uma série de ciclos e fatores internos e externos, como a água, nitrogênio, fósforo, carbono, oxigênio, enxofre e clima.

2.2.2 Ciclo do nitrogênio

O nitrogênio (N) possui valências estáveis que vão desde -3, como no amônio (NH_4^+) onde ele está na forma mais reduzida, a +5, como no nitrato (NO_3^-) onde ele está na forma mais oxidada (Tabela 1). Este elemento é, portanto, extremamente versátil, existindo em muitos estados de oxidação (GOMES et al., 2000).

Tabela 1. Estados de oxidação de compostos nitrogenados chaves.

Composto	Estado de oxidação
Nitrato – NO_3^-	+5
Dióxido de nitrogênio – NO_2	+4
Nitrito – NO_2^-	+3
Óxido nítrico – NO	+2
Óxido nitroso – N_2O	+1
Dinitrogênio – N_2	0
Amônia – NH_3	-3
Amônio – NH_4^+	-3

O N é um nutriente essencial requerido por todos os organismos vivos e, frequentemente, limita a produção primária em ecossistemas aquáticos e terrestres. Este elemento é necessário em grandes quantidades, uma vez que é componente essencial de proteínas, ácidos nucleicos e de outros constituintes celulares. As proteínas sozinhas compreendem 60 % ou mais do N das plantas e de células microbianas (GOMES et al., 2000).

Os compostos nitrogenados da natureza podem ser classificados como N-não reativo e N-reativo (Nr). O N não reativo é o N_2 e o Nr é toda forma biológica, fotoquímica e radioativamente ativa de compostos de N presentes na atmosfera e biosfera. Estes incluem formas oxidadas inorgânicas, como óxido nitroso (N_2O), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) e compostos orgânicos como uréia, aminas, proteínas e ácidos nucleicos (GALLOWAY et al., 2004).

O ciclo do nitrogênio (N) acontece através de vários processos como: fixação (biológica, atmosférica e industrial), assimilação, mineralização, nitrificação, desnitrificação e eutrofização (MOTTA, 2011). O ciclo do N tem reservatórios, fluxos e processos pelos quais este elemento permuta de compartimento (reservatório), assim como os demais ciclos biogeoquímicos. A disponibilidade de N no ambiente controla o funcionamento de ecossistemas locais e da biogeoquímica global (SCHLESINGER, 1997). Cerca de 78% do nitrogênio encontra-se na atmosfera sob a forma de gás (N_2). Nessa forma, o N é muito estável por conta da tripla ligação entre os átomos de N e poucos seres vivos têm capacidade de absorvê-lo (KERBAUY, 2008).

Mesmo que 78% do N estejam na forma inerte, esse reservatório pode estar disponível diretamente para animais e plantas, através da fixação biológica do N, processo que envolve a redução do nitrogênio atmosférico (N_2) a amônia (NH_3) (COSTA et al., 2009).

A ciclagem biogeoquímica de N nos ecossistemas pode ser dividida em função de processos externos e internos. Os processos externos acrescentam ou retiram N dos ecossistemas. Já os processos internos ciclam N entre os estoques dos ecossistemas (SCHIMMEL e BENNETT, 2004). O N pode ingressar no sistema solo-planta por deposições atmosféricas (através de descargas elétricas), fixação biológica e adubações minerais ou orgânicas. Por outro lado, pode sair por meio de remoção pelas culturas e variados mecanismos de perdas, que incluem a erosão, a lixiviação, a volatilização e a desnitrificação (COSTA et al., 2009).

O N é incorporado ao solo por diversos processos e pode ser classificado como inorgânico ou orgânico. Do N existente no solo, cerca de 95 a 98%, encontram-se na forma orgânica, que, para ser aproveitada pelas plantas, necessita ser transformada para as formas inorgânicas (amônio e nitrato) pelo processo de mineralização. A mineralização de compostos orgânicos nitrogenados ocorre essencialmente por três reações: aminação, amonificação e nitrificação, sendo as duas primeiras promovidas por micro-organismos heterotróficos e a terceira por micro-organismos autotróficos (TAIZ e ZEIGER, 1998).

Outro método de incorporação N é pela fixação direta do ar pelos micro-organismos do solo e dos que se encontram nas raízes de plantas em um processo simbiótico. O processo de fixação biológica de N ocorre através de micro-organismos livres, como bactérias e fungos. Todo N acumulado na planta somente é incorporado ao solo, na medida em que os resíduos de raízes, folhas, galhos, cascas e troncos forem decompostos (ODUM, 1983; CLEVELAND et al., 1999).

Os estoques de nitrogênio orgânico no solo e na biota terrestre são insignificantes quando comparados ao estoque da atmosfera. Pequenas quantidades de N são encontradas também nos oceanos, rochas e sedimentos (CHAPIN et al., 2002). As atividades humanas têm duplicado as quantidades de N ciclado entre os ecossistemas terrestres e a atmosfera. Nesse sentido, a queima de combustíveis fósseis libera para a atmosfera quantidades de N superiores a 20 Tg a cada ano; por outro lado a fixação de N_2 atmosférico em fertilizantes aumentou de 10 Tg ano⁻¹, em 1950, para 80 Tg ano⁻¹, em 1990, sendo esperada em 2030 uma fixação maior que 135 Tg ano⁻¹ (VITOUSEK et al., 1997).

Levando em consideração toda a influência antrópica, é possível observar algumas mudanças no ciclo do N, sendo as principais: aumento na concentração global de óxido nítrico e óxido nitroso em decorrência da fertilização dos solos; intensificação nos eventos de chuva ácida; aumento na produtividade e nos estoques de C em regiões onde N é limitante; favorecimento de

invasão biológica e redução da diversidade; perdas por lixiviação e eutrofização de corpos d'água (HALL et al., 1996; RUSSOW et al., 2000).

2.3 A MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS)

As transformações que o C passa no solo compreendem-se pela velocidade de decomposição da MOS. Independente da forma em que se encontra no solo, esta é condicionada à inúmeros fatores, dentre eles: origem e natureza da MO, umidade, temperatura, textura do solo, clima, relevo e manejo do solo (PILLON et al., 2011).

A MOS é uma mistura de compostos em vários estágios de decomposição, que resultam da degradação biológica de resíduos de plantas e animais, e da atividade sintética de micro-organismos (STEVENSON, 1994; PEREIRA et al., 2013). Sua importância em solos tropicais e subtropicais se deve ao fornecimento de nutrientes às culturas, retenção de cátions e micronutrientes, complexação de elementos tóxicos, estabilidade estrutural do solo, fluxo de água, aeração e atividade biológica (BAYER & MIELNICZUK, 1999).

Os constituintes da MOS são: carbono (52 - 58%), oxigênio (34 - 39%), hidrogênio (3,3 - 4,8%), nitrogênio (3,7 - 4,2%) e enxofre (S) e fósforo (P), que somam aproximadamente 3% (SILVA et al., 2004). O conteúdo de MOS é considerado um dos principais indicadores de sustentabilidade e qualidade ambiental em agroecossistemas. Sistemas conservacionistas de manejo promovem o aumento do conteúdo de MOS (SÁ et al., 2001; MARTINS et al., 2009).

A degradação do solo está fortemente relacionada com a perda de quantidade e qualidade de MOS e a sua recuperação, na maioria dos casos, está relacionada com a promoção do aumento do conteúdo de biomassa vegetal (STEVENSON, 1994). Analisando o conceito de qualidade do solo, a MOS, tem sido reconhecida como um dos mais importantes atributos (DORAN e PARKIN, 1994). Este consenso em relação a MOS como indicador da qualidade do solo emana do fato de que sua concentração é muito sensível às práticas de manejo, principalmente nas regiões tropicais e subtropicais, onde, nos primeiros anos de cultivo, mais de 50% da MOS, previamente acumulada, podem ser perdidos por processos de decomposição microbiana ou erosão (PEIXOTO, 2008).

A MOS é indispensável para a manutenção da qualidade dos solos em ambientes tropicais, desempenhando papel relevante e importante na produtividade dos solos, uma vez que representa a reserva dominante de N, S e P para as plantas, influenciando diretamente nos processos físicos, químicos e biológicos (ZECH et al., 1997). Além disso, contribui para o sequestro de carbono da atmosfera (GLATZELA et al., 2003) e também na atividade microbiana e estabilidade de agregados do solo (KALBITZ et al., 2003).

2.3.1 Fatores que influenciam o armazenamento de matéria orgânica do solo

2.3.1.1 Textura e mineralogia do solo

Solos com maior concentração de partículas finas (argila e silte) apresentam maior superfície de contato (área de superfície específica) disponível para formação de complexos entre minerais e compostos orgânicos. Esses complexos estabilizam e protegem a matéria orgânica da atividade decompositora (ZINN et al., 2005b). A textura do solo desempenha um papel importante nos processos físicos (formação de macro e microagregados), químicos (capacidade de troca catiônica) e biológicos (taxas de decomposição microbiana), interferindo no funcionamento dos ecossistemas.

A proporção relativa de areia, silte e argila define a classe textural do solo e modifica o potencial de estoque de nutrientes, carbono e capacidade de retenção de água nos solos (SIX et al., 2002a; BITTAR et al., 2013). A textura, por estar relacionada à porosidade e aeração do solo, também afeta a dinâmica de ar neste meio, alterando a atividade microbiana e enzimática, com implicações sobre a decomposição da MOS (SIX et al., 2002b; PILLON et al., 2002; BAYER et al., 2011; BITTAR et al., 2013).

Em condições similares de clima, vegetação e manejo, solos argilosos tendem a ter maiores estoques de MOS que solos arenosos, especialmente por conta da maior área superficial específica e quantidade de cargas, possibilitando maiores interações organo-minerais e reduzindo as taxas de mineralização (DICK et al., 2009).

O conteúdo de argila atua como importante determinante na estabilização da MOS em muitos solos, e, geralmente, o conteúdo de C no solo está correlacionado com o conteúdo de argila. A incorporação da MOS dentro de agregados de argila resulta na proteção dos polímeros orgânicos ao ataque enzimático (ANDERSON, 1992). Além da estabilização física, as argilas também promovem estabilização química da MOS coloidal à porção mineral do solo. Como ambas possuem carga, cátions com mais de uma valência, como Ca^{++} , Mg^{++} , Al^{3+} e Fe^{3+} , podem promover ligações eletrostáticas relativamente estáveis entre a matéria orgânica e a porção mineral do solo (ANDERSON, 1992).

A proteção física da MOS pela microagregação, também está relacionada com a interação organo-mineral. Quanto mais intensa, maior é a possibilidade de formação de microagregados (< 250 μm de diâmetro), cuja estabilidade protege fisicamente a MOS, tanto por reduzir a difusão de oxigênio em seu interior, diminuindo, a atividade microbiana; quanto por atuar como uma barreira física que dificulta a chegada do micro-organismo ao substrato orgânico (BALESDENT et al., 2000). A proteção física por microagregação e a interação organo-mineral são processos associados, de forma que é difícil separar a ação de cada um na estabilização da MOS.

A mineralogia do solo constitui-se em área básica e essencial ao entendimento e desenvolvimento da Ciência do Solo. Ela constitui uma excelente ferramenta para o conhecimento e a avaliação da gênese do solo, do seu comportamento físico e químico, além de ser um indicativo da reserva potencial mineral de nutrientes para as plantas (SAMPAIO, 2006).

Uma importante parte da atividade agrícola, na região dos trópicos, ocorre sobre solos vermelhos e amarelos (Latosolos e Argissolos), dominados por argilas do grupo das caulinitas. De modo geral, esses solos apresentam baixo pH, baixa disponibilidade de P e de outros elementos (nutrientes) necessários para o desenvolvimento da planta, altas fixação de P e toxicidade de Al, baixa CTC, entre outras características ou propriedades relacionadas, direta ou indiretamente, com a mineralogia predominantemente caulinitica (CORRÊA et al., 2008).

A mineralogia tem efeito marcante na consistência e na resposta do solo à mecanização. Solos com o tipo de argilomineral 2:1 expansivas, como ocorre em solos escuros da fronteira oeste do RS, são muito plásticos e pegajosos quando úmidos e muito duros quando secos. A faixa de friabilidade, onde a umidade do solo é boa para manejo do solo é muito pequena, exigindo maquinária mais potente e em maior número para trabalhar o solo. O contrário se observa nos solos argilosos bem estruturados do Planalto Rio grandense, onde a mineralogia indica presença predominante de caulinita (argilomineral 1:1) imprimindo ao solo ampla faixa de friabilidade, facilitando o manejo (REINERT & REICHERT, 2006).

Solos tropicais intemperizados possuem mineralogia da fração argila caracterizada pela predominância de argilominerais do tipo 1:1 e de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (CAMARGO, 2009). SCHWERTMANN & TAYLOR (1989) citaram os diferentes óxidos de ferro que podem ocorrer no solo e suas características. Eles afirmaram que goethita e hematita são os minerais de maior ocorrência em solos intemperizados das regiões tropicais e subtropicais e que, geralmente, estes ocorrem associados. A maior solubilidade do silício em relação ao Fe e ao Al explicam a presença de goethita, hematita, caulinita e gibbsita em grandes quantidades na fração argila de solos altamente intemperizados em detrimento de outros minerais silicatados (SCHAEFER et al., 2008).

Segundo KÄMPF & CURI (2000), os óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio são importantes indicadores pedogenéticos por terem sua formação influenciada pelas condições do ambiente e por persistirem por longo tempo no solo. A complexidade do ambiente em que são formados os minerais da fração argila explica populações com características distintas desses minerais. A diferença entre as populações dos óxidos e hidróxidos de ferro pode ser encontrada até mesmo em uma microescala, fato este, relevante nos estudos de caracterização destes minerais (SCHWERTMANN & TAYLOR, 1989).

A substituição isomórfica do Fe^{3+} por Al^{3+} na estrutura do mineral pode afetar sua cristalinidade. Isto ocorre devido uma contração na cela unitária decorrente do menor raio iônico do Al^{3+} (NORRISH & TAYLOR, 1961) em relação ao Fe^{3+} . Este fenômeno também determina uma maior estabilidade dos cristais à reações redutivas, consequência do estado de oxidação constante do alumínio (INDA JÚNIOR et al., 2005).

Outro atributo dos óxidos de ferro, susceptível aos fatores do ambiente de formação dos minerais, é a área de superfície específica que depende das condições em que os cristais são formados. Por exemplo, ambientes com alta taxa de crescimento do cristal e com baixas temperaturas podem conduzir à formação de cristais mal ordenados e com alta área de superfície específica. O contrário ocorre em ambientes com baixas taxas de crescimento dos cristais e altas temperaturas. A área de superfície específica influencia a reatividade dos óxidos de ferro pois a quantidade dos grupos funcionais existentes na superfície desses minerais, que interagem com as espécies solúveis e gases, dependem deste atributo (CORNELL & SCHWERTMANN, 1996). Para a goethita do solo os valores da área de superfície específica estão entre 20 e 200 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ (SCHWERTMANN & MURAD, 1988) já para hematitas sintéticas o intervalo é de 2 a 90 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ (CORNELL & SCHWERTMANN, 1996).

2.3.1.2 Relevância do solo

As principais características genéticas de um solo comumente relacionadas ao relevo são: profundidade do *solum* (horizontes A + B), espessura e conteúdo de matéria orgânica do horizonte A, umidade relativa do perfil, cor do solo e grau de diferenciação dos horizontes, em que as variações na topografia, tais como, comprimento e inclinação das vertentes, podem influenciar na incidência da radiação solar sobre o solo, na condução das águas pluviais sobre a superfície, na distribuição da vegetação na paisagem e na atividade dos microorganismos do solo (BUOL et al., 1989).

No que tange à radiação solar, Jenny (1980) ressalta que, em regiões montanhosas, a orientação das encostas influencia significativamente na quantidade de radiação solar recebida. Nas encostas mais sombreadas as temperaturas são menores, resultando em solos com morfologia e composições diferenciadas se comparados com aqueles presentes nas encostas que recebem maior radiação solar. Segundo dados apresentados por Buol et al. (1989), nas vertentes com menor intensidade de insolação registrou-se a presença de um conteúdo maior de matéria orgânica nos 10 centímetros iniciais dos solos. Já na vertente que recebeu maior radiação solar, a produção de raízes e biomassa foi menor, resultando num conteúdo reduzido de compostos orgânicos. O relevo atua, também, de forma a limitar ou favorecer a penetração da água no perfil do solo. A variação do

volume de água que percola pelo perfil afeta diretamente a eficiência dos fenômenos de hidratação, hidrólise e dissolução que ocorrem durante a evolução do solo (OLIVEIRA et al., 1992). Perdas de C podem estar associadas a condições de baixa cobertura vegetal e elevado escoamento superficial da água, estando este último associado à conformação do terreno (CORADO NETO et al., 2015).

O relevo é um agente integrador nas mais diversas propriedades do solo na paisagem, além de ter correlação direta com o estabelecimento e a produtividade das culturas. Toledo (2009) explica que pequenas variações do relevo podem definir uma maior ou menor taxa de decomposição da MOS (MARQUES JÚNIOR, 2009).

As pesquisas indicam que em terrenos íngremes o predomínio do escoamento superficial associado a processos erosivos naturais leva a uma pedogênese incipiente, dando origem a solos pouco desenvolvidos. Neste caso, o relevo atua acentuando o mecanismo de rejuvenescimento do solo. Já os terrenos aplainados condicionam uma infiltração mais eficaz das águas pluviais que incidem sobre a superfície favorecendo a lixiviação e o aprofundamento da frente de intemperismo. Essa dinâmica geomorfológica conduz ao desenvolvimento de solos mais evoluídos. Nas depressões, ao contrário do que ocorre nos processos anteriormente citados, o sistema de drenagem restritivo facilita a ocorrência de fenômenos de redução, resultando em solos com características hidromórficas (HUGGETT, 1975 & PENNOCK *et al.*, 1987)

Quando se há conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas ou pecuários, estes geralmente resultam em perda do conteúdo de MOS, que é acompanhado pela mineralização de nutrientes orgânicos de forma mais acentuada (VORONEY et al., 1981; TIESSEN et al., 1982, 1992). Esta perda pode ser ainda maior em áreas de relevo ondulado, nas quais se acentuam os processos erosivos (FRAGA e SALCEDO, 2004).

2.3.1.3 Cobertura e uso do solo

Os principais componentes da MOS são o carbono e o nitrogênio e seus estoques variam em função das taxas de adição, por resíduos vegetais e/ou animais, e de perda, destacando-se as decorrentes da erosão e da oxidação pelos micro-organismos do solo. Em solos sem ação antrópica, a concentração e o estoque desses elementos são determinados basicamente pela temperatura, umidade, tipo de solo, relevo e vegetação (BAYER e MIELNICZUK, 1997).

A exploração agropecuária geralmente promove aumento na taxa de oxidação da MOS, favorecendo as emissões de CO₂. Em solos de clima temperado, metade do conteúdo inicial de C do solo é perdida em um intervalo de 50 a 100 anos de cultivo (FELLER e BEARE, 1997). Em ambientes tropicais e subtropicais as perdas tendem a serem maiores. Nos primeiros anos de cultivo, mais de 50% da matéria orgânica previamente acumulada é perdida por diversos processos, entre

esses, a decomposição microbiana e a erosão (ANDREUX, 1996). A conversão de mata nativa através de desmatamentos e queimadas para posterior implantação de atividade agrícola altera significativamente os estoques de carbono do solo. Esse resultado foi observado por Fujisaka et al. (1998), ao longo de 20 anos houve perdas de aproximadas 14 milhões de toneladas de C para a atmosfera, pelo efeito da conversão de áreas de floresta para o cultivo de lavouras e introdução de pastagem.

Comparando o efeito da conversão de uma área desmatada em 1980 que foi mantida sob pastagem por 10 anos no Espírito Santo e, posteriormente sendo cultivada com cana-de-açúcar por 12 anos, com outra área mantida sob pasto por 22 anos após desmatamento, chegaram aos seguintes resultados: o estoque de carbono nos primeiros 100 cm de profundidade na área de mata foi de 62 Mg ha⁻¹, na área de cana-de-açúcar de 50,9 Mg ha⁻¹ e no pasto de 70,8 Mg ha⁻¹. Embora a cana-de-açúcar tenha sido fertilizada (a soqueira recebeu 80 kg N ha⁻¹), a redução dos estoques de C provavelmente foi associada ao cultivo intensivo do solo, pela aração e gradagem, contribuindo para uma maior decomposição da matéria orgânica do solo. O efeito observado na área de pastagem foi em virtude do adensamento nas camadas sub superficiais do solo, contribuindo para o aumento do estoque de carbono (CAMPOS et al., 2004)

2.3.1.4 Clima

O clima, por meio da temperatura do ar e da precipitação pluvial, influencia no estoque e na taxa de mineralização da MOS e na adição da fitomassa no solo (BRONICK & LAL, 2005). Alterações da temperatura e umidade afetam a atividade microbiana, que alteram as taxas de decomposição. Temperaturas do ar mais altas resultam em maior respiração e atividade biológica no solo, enquanto que temperaturas mais baixas resultam em maior estoque de C (MOREIRA & SIQUEIRA, 2006; COSTA et al. 2008).

O clima também é considerado um fator ativo no processo de formação do solo, atuando em processos que causam alterações nas características dos solos durante sua gênese (FANNING & FANNING, 1989), como mineralogia, teor e tipo de óxidos de ferro, acúmulo de matéria orgânica no solo e seu grau de humificação (MARTIN NETO et al., 1998).

Com relação à temperatura do ar, especificamente, esse fator é determinante no processo de decomposição dos resíduos, uma vez que a taxa de perda de C é elevada nos períodos de maior amplitude térmica durante o ano, quando comparado com os períodos mais frios. A faixa de temperatura entre 30 e 40°C, em regiões subtropicais, é a mais favorável ao processo de decomposição dos resíduos no solo (HOLTZ, 1995). Entretanto, o efeito é extremamente complexo

devido às interações com outros fatores climáticos e com os tipos e características de cada classe de solo e das particularidades da matéria orgânica presente (HOLTZ, 1995).

Ainda que as condições climáticas de elevadas temperatura e precipitação possam potencializar a mineralização da MOS nos trópicos, a influência mútua organo-mineral pode contrabalançar os efeitos climáticos, sobretudo quando acompanhada de um maior aporte de fitomassa pelos vegetais (SOLLINS et al., 1996). A temperatura e a umidade influenciam diretamente as taxas metabólicas dos micro-organismos decompositores do solo. Em relação à umidade, verifica-se redução na atividade decompositora tanto em condições de dessecação quanto de encharcamento (DIAS, 2010).

2.4 FRACIONAMENTO FÍSICO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Estudos sobre a dinâmica da MOS e sua proteção diante da mineralização embasaram o conceito de compartimentalização da matéria orgânica (BEARE et al., 1994). O fracionamento físico de acordo com o tamanho ou densidade de partículas é utilizado objetivando conseguir subsídios relacionados a estabilização da MOS, a sua localização na estrutura do solo, e, também, a respeito de sua quantidade e qualidade (CHRISTENSEN, 1992; FELLER & BEARE, 1997; BALESSENT et al., 1998). Logo, este fracionamento físico é um procedimento importante para separar a MOS em compartimentos que diferem na composição, estabilidade, reatividade e função biológica (CHRISTENSEN; 1992).

O fracionamento físico do solo é baseado em técnicas de separação da MOS através de métodos granulométricos, densimétricos ou ambos. Esses métodos têm como objetivo principal a separação da MO com diferente composição e grau de associação com a matriz do solo (ROSCOE et al., 2006). Os métodos físicos são considerados menos destrutivos e mais relacionados com a função e estrutura da MOS (ROSCOE e MACHADO, 2002), que os métodos químicos de fracionamento.

O fracionamento físico granulométrico objetiva separar a MO do solo em duas frações: em material particulado associado à fração areia ($\geq 53 \mu\text{m}$), composto por resíduos de plantas e hifas de fungos; e material orgânico associado aos minerais, nas frações silte e argila ($< 53\mu\text{m}$), sendo definido como a fração que interage com as partículas minerais, formando complexos organo-minerais, estando protegido pelo mecanismo de proteção coloidal (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992).

O fracionamento com base no tamanho da partícula é fundamentado no conceito de que as frações da MOS associadas com partículas de distintos tamanhos e, portanto, de diferente composição mineralógica, diferem na estrutura e função e, como resultado, exercem distintas

funções na dinâmica da MOS (CHRISTENSEN, 1992; CHRISTENSEN, 2001). A MOS associada aos minerais compreende as moléculas orgânicas que proporcionam intensa interação com os minerais presentes nas frações silte e argila e, normalmente, apresentam um grau de decomposição mais avançado que a MO grossa (GREGORICH e JANZEN, 1996; GOLCHIN et al., 1997; CHRISTENSEN; 2001) e uma maior recalcitrância química. Essa MOS, geralmente é formada por subprodutos da decomposição microbiana, podendo também ocorrer compostos orgânicos oriundos dos resíduos vegetais presentes na MO grossa, principalmente polissacarídeos (CHRISTENSEN, 1992; STEVENSON, 1994; CHRISTENSEN; 2001). As proporções elevadas de C e N da fração da MOS associada aos minerais, são relacionadas à maior recalcitrância, à proteção física e inacessibilidade à decomposição biológica devido a sua interação com minerais de cargas variáveis, principalmente com os óxidos de ferro e alumínio (BALDOCK et al., 1992; BAYER et al., 2000a; BAYER et al., 2001).

Esse fracionamento é um procedimento útil no estudo da MOS, mostrando diferenças tanto na estrutura quanto na dinâmica da MO, quando esta se encontra ligada às partículas de diferentes tamanhos. O fracionamento granulométrico da MOS em compartimentos pode auxiliar na avaliação das modificações decorrentes do manejo do solo, devido a maior sensibilidade dessas frações, notadamente a curto prazo (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992).

2.5 A CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM PERNAMBUCO E ALAGOAS

No Brasil, o plantio da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*L.), matéria prima das usinas, se iniciou em São Vicente, no ano de 1522, trazida da Ilha da Madeira, por Martim Afonso de Souza. Foi em Pernambuco, porém, que ela floresceu, encontrando condições ideais para seu desenvolvimento nas terras úmidas em massapê ou massapé. Em 1553, Duarte Coelho Pereira trouxe também da Ilha da Madeira, a chamada cana crioula, que durante três séculos, foi a variedade dominante cultivada em Pernambuco (ANDRADE, 1989).

Há indicações que já havia anteriormente, cultura de cana-de-açúcar nas terras da ilha de Itamaracá. A primeira usina de Pernambuco foi a de São Francisco da Várzea, cuja primeira moagem aconteceu em 1875 (GONÇALVES & SILVA, 1929).

No início do século XIX, a cana crioula foi substituída pela cana caiana, quando os portugueses trouxeram essa variedade da Guiana Francesa e a introduziram aqui. Só depois foram sendo introduzidas variedades híbridas, oriundas das Antilhas, da Índia e da Indonésia. A cana-de-açúcar é plantada na zona da mata de Pernambuco, na chamada zona canavieira há quase 5 séculos. No início, os engenhos de açúcar devem ter sido movidos à tração humana, como as casas de farinha. Depois evoluíram para a tração animal (bois e éguas) e para os engenhos d'água. Só a partir do século XIX é que seriam introduzidos em Pernambuco os engenhos movidos a vapor e haveria uma revolução no comércio e indústria do açúcar, uma

vez que na Europa, a beterraba passou a ser utilizada na produção de açúcar, oferecendo um produto de melhor qualidade ao mercado consumidor(GASPAR, 2018).

Nas últimas décadas do século XIX, alguns proprietários mais ricos e empreendedores, melhoraram as condições técnicas dos seus engenhos, com a implantação de máquinas para a produção do açúcar cristal. Esses engenhos modernos seriam chamados de engenhos centrais e usinas. Os engenhos centrais não tinham diferença do ponto de vista técnico das usinas, mas sim do ponto de vista econômico: geralmente pertenciam a uma sociedade, não possuíam terras e não desenvolviam atividades agrícolas. A partir de 1871, houve uma mudança gradual na agroindústria açucareira em Pernambuco, com a decadência dos antigos engenhos banguês (que produziam um açúcar de cor escura, mascavo) e sua substituição pelos engenhos centrais e usinas. Foram poucos os engenhos banguês que conseguiram sobreviver até a segunda metade do século XX. A zona canavieira pernambucana já teve uma boa malha ferroviária, composta pelas ferrovias da antiga Great Western e pelos ramais construídos pelas usinas para o transporte da cana. No entanto, a partir da metade da década de 1960, as ferrovias ficaram abandonadas sendo substituídas pelas rodovias. A indústria da cana-de-açúcar é um importante elemento do vetor dinâmico da economia local bem como possui um singular valor cultural e histórico para empreendedores locais(GASPAR, 2018).

Em Alagoas, o processo de ocupação iniciou com o colonizador português. Pertencente a então capitania de Pernambuco, as terras alagoanas dispunham de condições excepcionais para o povoamento. Os solos férteis e bem drenados e a boa navegabilidade dos rios, que recortavam toda a costa alagoana, foram os principais atrativos (SANTOS et al., 2007).

Em 1718, Alagoas contava com apenas 23 engenhos, também denominados banguês, chegando, em meados do século XIX, a mais de 400 engenhos, sem contar as engenhocas que fabricavam rapadura. Naquela época, registrou-se um aumento da produção, dado a introdução do engenho a vapor; em 1851 existiam dois engenhos movidos a vapor em Alagoas, sendo que o primeiro no país foi instalado na Bahia, em 1815 (DIÉGUES JÚNIOR, 1980).

Muitos dos processos percebidos em Alagoas foram também vislumbrados em Pernambuco. Os engenhos eram constituídos de três instituições básicas: a casa grande e as senzalas, onde viviam, respectivamente, a família do proprietário e os escravos e uma capela. Junto à casa grande havia pequenas casas para os lavradores de cana e os empregados. Ao senhor de engenho era destinado dois terços da primeira produção e a metade da última. O modelo adotado para a produção da cana-de-açúcar em Alagoas era o regime de plantações (plantation) que se caracterizava por grandes latifúndios, com monocultura de exportação e a mão-de-obra essencialmente escrava (DIÉGUES JÚNIOR, 1980).

A produção concentrou-se na região da Mata e no Litoral Oriental. Devido à sua importância no que tange às exportações para a Europa Colonial, assim como a inserção de escravos para a produção, de acordo com Diégues Jr. (1980), esse modelo favoreceu ao plantation alagoano. Esse sistema agrícola dividia-se em dois grupos de culturas: um de cultura de exportação, realizada pelos

latifundiários e outro com agricultura de subsistência, realizada pelos escravos nas terras mais fracas não ocupadas pela cana-de-açúcar.

De acordo com Diégues Jr. (1980), a escravidão constitui um dos pontos essenciais na formação social e econômica de Alagoas, fundamentada na monocultura latifundiária e escravocrata, e determinante para a formação do estado que cresceu à sobra da cultura das senzalas. Os numerosos engenhos instalados em Alagoas durante as seis primeiras décadas de seu povoamento, iniciado a partir de 1570, eram movidos tanto à água, onde diminuía a dependência da mão-de-obra escrava, quanto à tração animal, requerendo mais trabalhadores para o seu funcionamento. A cana-de-açúcar cultivada em Alagoas era a crioula, que foi trazida do Oriente e adaptada no Mediterrâneo e nas ilhas do Atlântico, antes de ser cultivada no Brasil. Alagoas, em meados do século XVIII, já possuía quatro grandes vilas: Porto Calvo, Alagoas, Atalaia e Penedo, que juntas reuniam uma população superior a 20 mil habitantes, concentrados nas proximidades da costa, onde havia mais engenhos. Essas vilas receberam o nome de Alagoas, com 32 engenhos, Porto Calvo, com 23 e Penedo, que possuía 9 engenhos e Atalaia. Estes números diminuía com a aproximação do sul do Estado, onde a economia era dominada pela pecuária.

De acordo com Andrade (1997), no século XIX houve uma expansão paulatina para o interior da região Nordeste, na região denominada Tabuleiro, afastando-se 200 quilômetros da faixa litorânea e adentrando para Zona Agreste. A atividade canavieira começou a ser reestruturada no início do século XIX. Vários foram os fatores que provocaram o declínio dos engenhos, entre eles, o preço dos escravos elevou-se consideravelmente, a abolição da escravatura e os impostos que os senhores de engenho viam-se obrigados a pagar.

Para Carvalho (2009), no final dos séculos XIX e início do XX, introduziram-se no Nordeste pós-colonial técnicas modernas para produção de açúcar, devido ao desinteresse econômico europeu pelo açúcar nordestino, já que a concorrência entre os mercados centro e sul-americanos esbarravam nos preços oferecidos ao continente europeu. A partir da Primeira República (1890-1900), o parque açucareiro em Alagoas desenvolve-se, tornando-se o segundo maior exportador brasileiro de açúcar. De 1901 até 1914 houve uma queda do preço do produto no mercado internacional, contudo a produção continuou crescendo sem acompanhar na mesma proporção a produtividade. Desde a metade do século XIX, iniciaram-se tentativas de melhoria da agroindústria canavieira, tais como a instalação do engenho a vapor e a introdução de nova técnica de plantio da cana-de-açúcar.

Com a Primeira Guerra Mundial, a indústria europeia de açúcar de beterraba entrou em crise, ocasionando alta no preço do açúcar no mercado internacional, houve estímulo à produção de açúcar para exportação, forçando os engenhos a se modernizarem. Conforme Carvalho (2009), a baixa

produtividade dos engenhos nordestinos, incapazes de se colocarem diante de uma técnica mais avançada e de se modernizarem, fez com que muitos banguês fossem absorvidos por usinas.

De acordo com Carvalho (2009), entre os anos de 1923 e 1924, a produção de açúcar originada pelas poucas usinas instaladas na época conseguiu ultrapassar a produtividade dos conglomerados de engenhos que, mesmo em quantidade bem maior, já não produziam com tanta competitividade. Na década de 1950, houve apropriação de novos espaços pela cana-de-açúcar que se localizavam nas proximidades das usinas, região de tabuleiros.

De acordo com Andrade (1997), houve a derrubada de matas, da Mata Atlântica, que foram substituídas por diversas espécies de mudas de cana-de-açúcar. Esse plantio só pode ser concretizado devido ao uso de técnicas para a irrigação e ao uso de adubos geralmente inorgânicos, que fertilizavam rapidamente os pobres e arenosos solos dos tabuleiros.

Em outro momento, Carvalho (2000) observa que a necessidade de madeira para construção e consumo nas fornalhas dos engenhos era progressiva, portanto a desordenada expansão e mesmo violenta ação humana sobre as matas gerou uma insaciável dilatação das fronteiras canavieiras, diminuindo a faixa total da Mata Atlântica em Alagoas. A expansão dos canaviais nos tabuleiros, a partir dos anos 1950, realizou-se à custa de derrubadas de matas e da ocupação de áreas de outras lavouras também, assim como a queimada incontrolável dos canaviais deu a perda significativa da qualidade dos solos e da diminuição da biodiversidade na Zona da Mata. O despejo do vinhoto (tiberna ou vinhaça) e de águas usadas no processo de lavagem de canas foi o responsável pelo declínio dos rios daquela região, assim como a contaminação do lençol freático. Esses e muitos outros elementos marcaram, ao longo de séculos, a relação entre a cana e o meio ambiente da Zona da Mata de Alagoas. Entre os anos de 1974 a 1985, em Alagoas, a área colhida de cana-de-açúcar mais que duplicou, passando de, aproximadamente, 195 mil hectares para 495 mil hectares, chegando em 1985 a quase 25 milhões de toneladas de cana colhida. É preciso considerar que o crescimento da produção naquele período deveu-se muito mais aos volumes físicos do que à produtividade, devido à incorporação de novas áreas para o cultivo da cana-de-açúcar, bem como à utilização do plantio nos tabuleiros desde o início da década de 1950, que passou a ser adotado posteriormente pela maioria dos produtores de cana, açúcar e álcool. Segundo Lopes (1978, p.48), “essa nova fase do plantio da cana sobre os tabuleiros marca uma nova etapa ao crescimento da produção do açúcar alagoano”.

Santos et al. (2007) relatam que os incentivos públicos concedidos por volta dos anos 1980, por intermédio dos programas do governo federal em associação com os estaduais, nordestinos, principalmente das áreas envolvidas, desenvolveram projetos desenhados juntamente com o Instituto do Açúcar e Alcool (IAA), Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (Planalsucar) e Proálcool, criando as condições técnicas adequadas para o avanço do plantio em

áreas de fertilidade baixa e declividade acentuada, até então impróprias ao cultivo, o que se pode considerar um avanço na produção canavieira, em novas áreas da região nordestina.

De acordo com Andrade (1984) apud Santos et al. (2007), as principais consequências dessa expansão do setor sucroalcooleiro foram: a intensificação da concentração fundiária, com aquisição de propriedades de pequeno e médio porte pelo setor; desaparecimento das relações de trabalho do sistema de moradores, onde era permitido ao trabalhador viver na propriedade, dispondo de casa e de área para lavouras de subsistência; queda de padrão de vida do trabalhador rural que, embora passando a receber salário mínimo, deixou de ter tempo para dedicar-se ao cultivo de alimentos e criação de pequenos animais, além de ter menos oportunidade de lazer, convivência e educação. Esse processo também colaborou com o êxodo rural e a incorporação das propriedades familiares pelos grandes complexos agroindustriais.

Grande parte desse processo expansionista ocorreu durante a vigência do Proálcool, nos anos de 1980 e foi, segundo Carvalho (2009), onde houve a maior destruição das matas que cobriam os tabuleiros, tendo o pico de produção e desmatamento ocorrido no ano de 1985. Hoje é raro encontrar Mata Atlântica nas áreas tabulares do estado de Alagoas, restando apenas algumas áreas de reserva ambiental permanente. A maioria das reservas biológicas do estado está situada em áreas de difícil acesso, com declividade acentuada, tornando-se desinteressantes para o uso agrícola, logo essas áreas foram poupadas e transformaram-se em reservas ambientais.

Conforme Assis (1998), foi contabilizada uma percentagem de vegetação desmatada em Alagoas para as classes de vegetação existentes nas áreas onde se deu a ocupação histórica da cana-de-açúcar: o autor contabilizou o percentual de desmatamento superior aos 92%, por volta dos anos de 1998, porém, calcula-se que pouco mais de 4% da vegetação original tenha sido conservada após esse processo. Observa-se, então, que o Proálcool ajudou, não apenas na mudança espacial e formas de utilização da terra, mas também teve grande peso na organização da sociedade. A maior expansão da produção de cana-de-açúcar e um maior desenvolvimento tecnológico no setor sucroalcooleiro trouxeram a intensificação da concentração fundiária e, por consequência, o aumento das disparidades sociais em Alagoas.

Para Carvalho (2000), a desregulamentação estatal do setor em 1990 fez com que os preços do açúcar e do álcool caíssem, obrigando o setor a se reestruturar, principalmente no Nordeste, que sempre se beneficiou com o regime de cotas e preços implementado até então. Para garantir sua sobrevivência, a indústria sucroalcooleira viu-se obrigada a reduzir os custos de produção tornando-se mais competitiva

Outro caminho apontado por Soares (2003) foi a terceirização de atividades, garantida pela oferta de empresas especializadas. Contudo, esse processo tem trazido a redução dos direitos trabalhistas. A incorporação de novas tecnologias, embora tenha aumentado a produtividade,

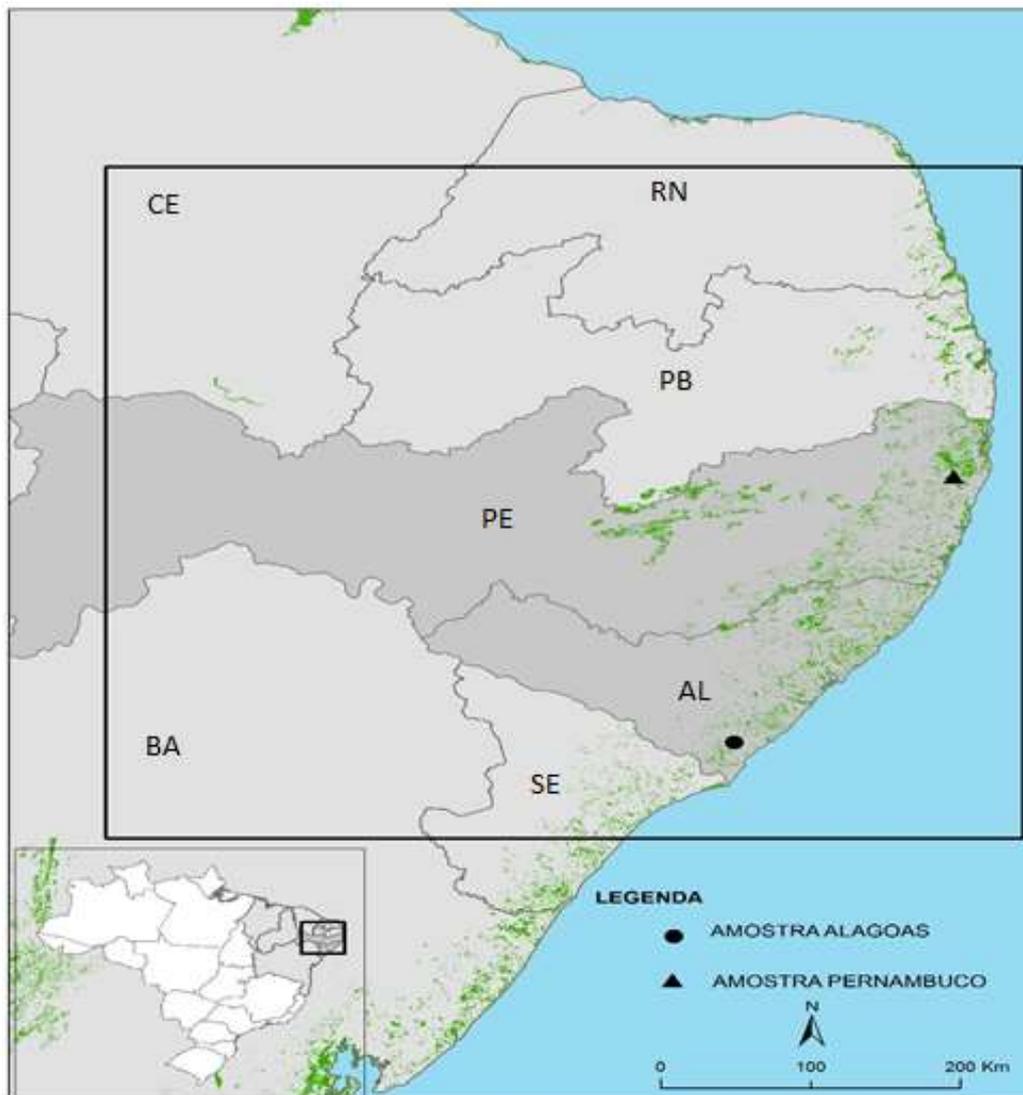
também está sendo responsável pela redução de muitos postos de trabalho. Para Lima (2002), de certo modo, a forma de apropriação do espaço, com a qual se constituiu Alagoas é de uma característica concentradora de renda, terra e poder político, econômico e social, que vem desde os tempos coloniais (século XVI) e ainda persistem nas mesmas peculiaridades feudais. Segundo Almeida; Santos (2010), os indicadores de desenvolvimento humano e qualidade de vida são negativos devido à essa forma pretérita de governar e gerenciar o estado, apresentando uma estatística negativa. Alagoas possui uma oligarquia do açúcar, como descreve o mesmo autor, que tem caráter antiabolicionista e antirrepublicana mantendo um grau de desigualdade e total descompromisso social e moral, bem como ético.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

As amostras de solo foram retiradas de duas unidades agroindustriais de cana-de-açúcar no nordeste do Brasil: Usina São José Agroindustrial (SJA), em Pernambuco, e Usina Coruripe (COR), em Alagoas (Figura 3).

Figura 3 - Localização das áreas de estudo nos estados de Pernambuco e Alagoas.



A Usina São José, situada no município de Igarassu-PE, possui 25 mil hectares, dos quais 16 mil são plantados com cana-de-açúcar, contendo mais de 100 fragmentos florestais. A Usina Coruripe, localizada no município de Coruripe-AL, tem 36 mil hectares, sendo 28 mil plantados com cana-de-açúcar.

Observando a abrangência das classes de solo do atual estudo (Tabela 2), inseridas no bioma Mata Atlântica (Zona da Mata), é possível constatar a importância dessas e a necessidade de dados de estimativas de estoques de carbono e nitrogênio em locais que ainda não foram levantadas essas informações nessas regiões.

Tabela 2. Usos e coberturas e abrangências das classes de solos nos estados de Pernambuco e Alagoas.

Usos e Coberturas		Região	Características	Abrangência das classes de solo
Vegetação Nativa	Floresta Ombrófila Densa	Zona da Mata Norte (PE)	Remanescente de Floresta subperenifólia, percebendo-se na zona Litoral e Mata que a floresta quase totalmente destruída.	Latossolos (9%)* ¹
Área Agrícola	Cana-de-açúcar		Áreas cultivadas com cana-de-açúcar por longos períodos no sistema convencional (aração, gradagem, adubação e correção do solo) e despalha a fogo.	Latossolo Vermelho-Amarelo (831,23 km ² – 0,84 %)* ¹
Vegetação Nativa	Floresta Ombrófila Densa	Zona da Mata Sul (AL)	Remanescente de Floresta subperenifólia, que devido ao uso intensivo das terras na zona úmida costeira, encontra-se muito devastada e cada vez mais cede lugar às atividades agropecuárias, sobretudo ao cultivo da cana-de-açúcar.	Argissolos (34%)* ²
Área Agrícola	Cana-de-açúcar		Cultivo intensivo convencional da cana-de-açúcar. Na zona do litoral destaca-se o cultivo de cana-de-açúcar como atividade principal e o manejo de despalha a fogo.	Argissolo Vermelho-Amarelo (3.464,78 km ² – 12,48 %)* ²

Fontes: adaptado de JACOMINE et al., 1973; (CONDEPE/FIDEM, 2006); ARAÚJO FILHO et al., 2000 *¹; EMBRAPA (1975) *²

3.2 HISTÓRICO DAS ÁREAS

Em 1891 foi fundada a Usina Coelho Pereira Leite, moendo pela primeira vez em 1906, conhecida como São José Agroindustrial desde 1952. Foram várias modificações, passando por diversas ampliações, inclusive de áreas plantadas com cana-de-açúcar. Desde o início foi utilizado no preparo do solo a técnica de subsolagem seguida de gradagem leve.

Por ocasião da renovação do canal (talhão) nos engenhos Cumbe e Piedade, estes receberam diretamente no sulco de plantio, resíduos de torta de filtro sem mistura (puro), entre 30 a 40 Mg ha⁻¹, como consta em Anexo A e 2 - caracterização da torta de filtro (comunicação pessoal do supervisor de campo). Através de comunicado do técnico de campo, em pesquisa realizada na base de dados da agroindústria, os engenhos estudados recebem torta de filtro e composto a base de torta de filtro (torta de filtro + bagaço da cana-de-açúcar + lodo de lavagem) - Anexo Ae 2, desde o ano de 2004. Foi relatado também que a cana soca ou soqueira recebe esse composto a cada corte na linha de cultivo (rebrotada da cana-planta).

Em média, os engenhos Cumbe e Piedade receberam na safra 2016/2017 (período de coleta das amostras de solo) em torno de 20 Mg ha^{-1} de composto a base de torta de filtro (massa seca), pois se encontravam na 3ª e 2ª folhas (ciclo de corte), respectivamente, por ocasião da colheita (Figura 4 - A e B). Não há relato de que estes engenhos tenham recebido aplicação de vinhaça proveniente da agroindústria.

Os solos do engenho Piedade foram corrigidos com aproximadamente $1,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico. Nesse engenho, anteriormente ao plantio, na socaria, foram aplicados 84 Kg ha^{-1} de N e 108 Kg ha^{-1} de K, em seguida, após 30 dias foram aplicadas em cobertura 126 kg ha^{-1} de P. O engenho Cumbe recebeu calcário na implantação da cultura, aplicando-se aproximadamente $2,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de calcário dolomítico. Em seguida, após cura, foram incorporados ao solo 80 Kg ha^{-1} de N e 113 Kg ha^{-1} de P. A produtividade média (toneladas de cana por hectare - TCH) nos dois engenhos foi de aproximadamente 66 Mg ha^{-1} na safra 2016/2017. Em cana-planta a produtividade nesses engenhos oscilam entre 80 e 100 Mg ha^{-1} , podendo chegar a 150 Mg ha^{-1} de cana colhida em áreas de várzea. O corte da cana-de-açúcar nos dois engenhos é realizado manualmente e a despalha realizada com fogo.

Figura 4 - Localização com imagem de satélite dos pontos selecionados para as estimativas dos estoques de carbono e nitrogênio nos estados de Pernambuco e Alagoas, considerando o uso do solo (\triangle Floresta Ombrófila Densa e \oplus Cana-de-açúcar)



Usina / Engenho: SJA / Piedade (A); SJA / Cumbe (B); COR / Topless (C) e COR / Miai de baixo (D).

Em Alagoas, a Usina Coruripe foi fundada em fevereiro de 1925, mas somente em 1978 extensas áreas com cultivo de cana-de-açúcar foram adquiridas pela usina. Nas primeiras renovações feitas pela usina, foram utilizadas, no preparo do solo, grade pesada, grade leve e, em seguida, feito o sulcamento para o plantio da cultura. A partir da década de 90, passou-se a utilizar apenas a subsolagem seguida de gradagem leve. Tanto na implantação do canavial quanto nas renovações das áreas foram feitas calagens, aplicando-se em torno de 2,0 e 2,5 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico nos engenhos denominados Topless e Miai de Baixo (Figura 4, C e D). Por ocasião do plantio, foram aplicados 84 kg ha⁻¹ de N, 30 kg ha⁻¹ de P e 144 kg ha⁻¹ de K.

A produtividade média de cana-de-açúcar (TCH) foi de aproximadamente 72 Mg ha⁻¹ na safra 2016/2017 nos engenhos Topless e Miai de Baixo, no estado de Alagoas. O corte da cana-de-açúcar na Usina Coruripe, nos dois engenhos foi realizado com colhedora mecanizada, porém, antes, ocorreu a despalha com fogo. Os engenhos denominados Miai de Baixo e Topless estavam em fase de renovação do canavial, no momento das aberturas das trincheiras e amostragem de solo, onde foi possível observar a presença da torta de filtro (Anexo C - caracterização da torta de filtro). Foi aplicado 10 Mg ha⁻¹ de torta de filtro nos dois engenhos. Nas trincheiras dos engenhos de cana-de-açúcar, em Alagoas, na ocasião da abertura das trincheiras, foi nítida a presença de carvão (em profundidade) e cinzas na superfície do solo, bem como de raízes de espécies florestais em decomposição.

As adubações foram realizadas no momento do plantio e após trinta dias (em cobertura), seguindo as recomendações e necessidades da cultura da cana-de-açúcar. Nos locais onde foram realizados os estudos das quantificações do conteúdo e dos estoques de C e N (em PE e AL), não tivemos relato de qualquer outra cultura anteriormente cultivada.

A irrigação propriamente dita (plena) não ocorreu, mas, os engenhos receberam a chamada “irrigação de salvamento ou salvação”, que, nesse caso, serviu para cana-planta em Alagoas, e soqueira em Pernambuco. Recebendo também irrigação aplicada após o corte (soqueiras – nos ciclos seguintes), como de fato observado, onde se fez aplicação de três lâminas, cada uma de aproximadamente 30 mm, em Pernambuco (nos dois engenhos na cana soca) e uso de três lâminas de água (30 mm, aproximadamente), quando em caso de cana-planta (renovação do canavial ou talhão), em Pernambuco, garantindo a germinação (em torno de 15 dias) e sobrevivência no cultivo inicial da cana-de-açúcar com aplicações de lâminas de irrigação (irrigação complementar) subsequentes a cada dez dias.

As observações com relação às informações de irrigação durante o plantio ou renovação de talhão (cana-planta) e os cortes posteriores (cana soca) se repetiram nos engenhos avaliados em Alagoas. Outra informação importante observada, similares entre as unidades agroindustriais é com

relação à renovação do canavial. Nesse sentido, as unidades em PE e AL exploraram até no máximo o 5º corte (ou mesmo até o 6º, dependendo das condições que favoreçam o adiamento).

Todos os dados sobre o manejo da cultura (histórico de implantação, renovação, calagem, adubação e irrigação) foram obtidos, de relatos dos técnicos de campo (supervisores), acervo documental das Usinas São José Agroindustrial e Coruripe.

3.3 CLASSES DE SOLO AVALIADAS

As classes de solo identificadas na Usina São José foram Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) e Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), enquanto que na Usina Coruripe o solo classificado foi como sendo Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), onde foram realizadas amostragens na profundidade de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. Os solos identificados foram classificados até o segundo nível categórico (Tabela 3), de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018).

Tabela 3. Usina/engenho, classe de solo, localização (latitude e longitude) e usos.

Usina ¹ /Engenho	Classe de solo ²	Latitude (S)	Longitude (O)	Usos
SJA / Cumbe	PVA	07°46'27"	35°02'34"	Floresta Ombrófila Densa
SJA / Cumbe	PVA	07°46'29"	35°02'86"	Cana-de-açúcar
SJA / Piedade	LVA	07°50'12"	34°59'49"	Floresta Ombrófila Densa
SJA / Piedade	LVA	07°50'10"	34°59'44"	Cana-de-açúcar
COR / Miai de Baixo	PVA	10°12'39"	36°13'40"	Floresta Ombrófila Densa
COR / Miai de Baixo	PVA	10°12'41"	36°13'42"	Cana-de-açúcar
COR / Topless	PVA	09°59'36"	36°14'12"	Floresta Ombrófila Densa
COR / Topless	PVA	09°59'24"	36°14'97"	Cana-de-açúcar

¹SJA = São José Agroindustrial, COR = Coruripe; ²PVA = Argissolo Vermelho-Amarelo, LVA = Latossolo Vermelho-Amarelo

O total de pontos amostrados foi de 24 trincheiras, conforme o seguinte: duas usinas (PE - São José e AL - Coruripe), em cada usina duas localidades (Cumbe/Piedade e Miai de Baixo/Topless), em cada localidade dois usos da terra (floresta e cana-de-açúcar), em cada uso da terra três trincheiras (repetições) abertas, como destaca a Figura 4, apenas os pontos centrais em cada uso da terra em Pernambuco (imagens A e B) e Alagoas (imagens C e D).

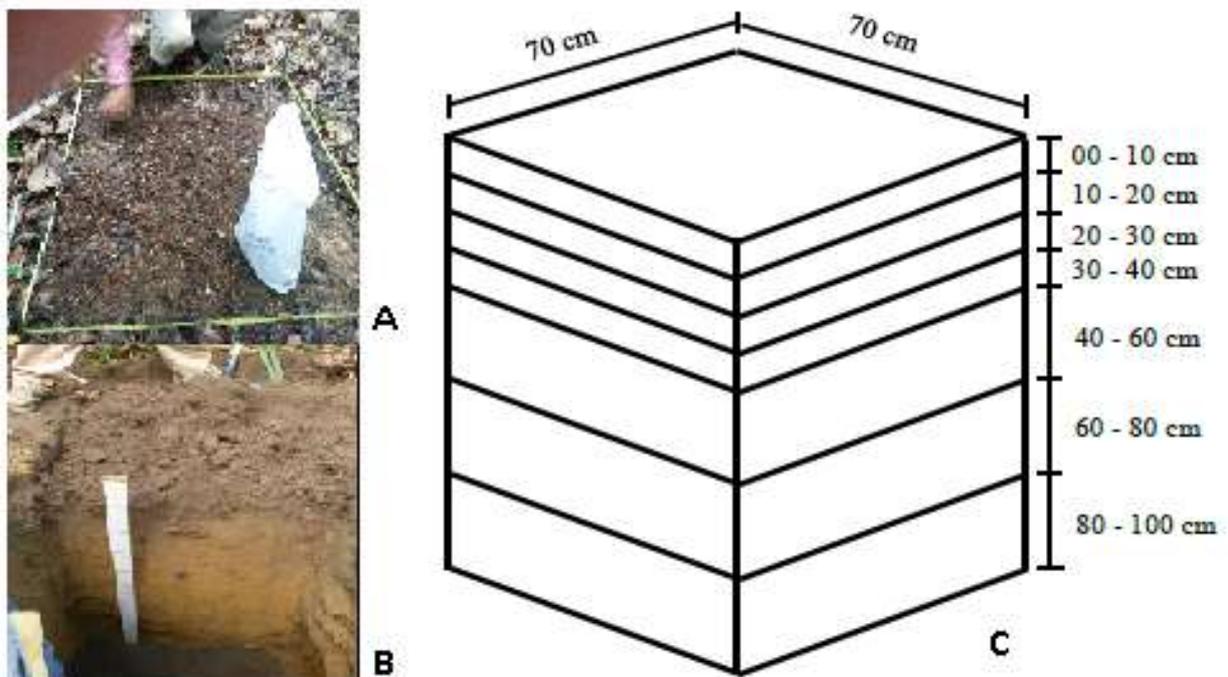
Na ocasião da seleção dos locais, foi levado em consideração os usos floresta ombrófila densa e cana-de-açúcar existentes na região da Zona da Mata nos estados de Pernambuco e Alagoas, em concordância com as classes de solo (Argissolo e Latossolo).

A estratificação ambiental (clima, classe de solo, relevo e vegetação) e as interferências antrópicas pelo manejo da cultura de cana-de-açúcar, como as queimadas (despalha com fogo), variedades de cana-de-açúcar utilizadas nas duas unidades agroindustriais (RB86 7515 e RB92 579), assim como as adubações minerais (N, P e K) e orgânicas (composto a base de torta de filtro e torta de filtro sem mistura), garantem que os principais fatores que interferiram diretamente no conteúdo e na qualidade da MOS foram analisados nesse estudo.

3.4 COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO

Inicialmente foram removidos os resíduos vegetais superficiais antes da amostragem para evitar contaminação das amostras com os restos culturais ou serapilheira. Em cada ponto amostral foram coletadas amostras do solo até a profundidade de 1 m, com trincheiras dimensionadas em 0,7 x 0,7 x 1,0 m, nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm de profundidade (Figura 5). Foram coletadas amostras do solo até a profundidade de 1 metro (Estudo 1), porém, para o segundo estudo, foram selecionadas as seguintes camadas: 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, etiquetadas e encaminhadas ao laboratório de Energia da Biomassa na Universidade Federal de Pernambuco, UFPE.

Figura 5 - Medida padrão utilizada para coleta de amostras de solo.



(A) Gabarito - marcação da trincheira e limpeza da área interna. (B) trincheira de 0,7 x 0,7 x 1m e régua com demarcação a cada 10 cm. (C) estratificação do perfil do solo em camadas para coleta de amostras deformadas e indeformadas de solo.

As amostras de solo foram coletadas em duas campanhas: a primeira, em março de 2016 em Pernambuco e a segunda em novembro de 2016 em Alagoas.

Em cada trincheira, foi determinada a densidade do solo por camada, em amostragem única, utilizando o método do anel volumétrico (100 cm³) (Figura 6) como descrito em EMBRAPA (1997). No laboratório, as amostras indeformadas de solo foram colocadas para secar em estufa (Figura 6) a 105°C por 72 horas, para determinação da massa seca. A densidade do solo foi calculada utilizando a seguinte equação (eq. 1):

$$\text{Densidade (g cm}^{-3}\text{)} = \frac{\text{massa de solo (g)}}{\text{Volume do cilindro (cm}^{-3}\text{)}} \quad (1)$$

Figura 6 – Coleta de amostras para determinação da densidade do solo.



1. Cilindro utilizado para coleta; 2. áreas selecionadas; 3. trincheiras abertas; 4. coletas; 5 e 6. preenchimento do cilindro com amostra de solo nas camadas; 7. armazenamento e identificação das amostras; 8. acondicionamento em latinhas para pesagem com pré-pesagem; 9. secagem em estufa com circulação de ar até peso constante e 10. pesagem das amostras.

3.5 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS

As amostras de solo deformadas foram secas ao ar e passadas em peneira com malha de 2 mm para a obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente, uma fração de cada amostra foi macerada em almofariz e passada em peneira com malha de 0,149 mm (100 mesh) para determinação das concentrações de C e N, via combustão seca a 925 °C, em analisador elementar CHNS-O (Thermo Flash 2000 IRMS) (Figura 7). Para determinação foram utilizados aproximadamente 3 mg de amostra de solo e padrão da marca Thermo (C= 1,755%, N= 0,195% e

S=0,039%). Essas análises foram realizadas na Embrapa Tabuleiros Costeiros em Rio Largo, Alagoas.

Figura 7 - Analisador elementar de CHNS-O.



Fonte: autor (2018)

3.6 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DOS SOLOS

Nas amostras deformadas foram determinados pH (água), Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^+ (KCl, 1 M), K^+ e P (Mehlich I), H + Al (acetato de cálcio, pH 7) e Na^+ (acetato de amônio a pH 7,0), Soma de bases (SB), CTC (Capacidade de Troca de Cátions) e saturação por bases (V%), foram obtidos em seguida (EMBRAPA, 1997).

A determinação da granulometria (textura) foi realizada para todas as amostras de solo (profundidades 0-20 e 20-40 cm). O método utilizado para determinar as concentrações de areia, silte e argila foi o densímetro, que consiste em dispersar a amostra de solo com solução de hexametáfosfato de sódio ou hidróxido de sódio. Todas as caracterizações dos atributos físico-químicos dos solos avaliados (Tabela 4) seguiram a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997).

Tabela 4. Caracterização física e química dos solos nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm nos estados de Pernambuco e Alagoas.

Uso Engenho Classe de solo ¹	Prof. (cm)	pH (água)	P (mg dm ⁻³)	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Al ³⁺	Al+H	SB	CTC	V (%)	Ds (g cm ⁻³)	Areia	Silte %	Argila
(Usina São José Agroindustrial - SJA) - Pernambuco																
Floresta Cumbe	0-20	4,9	1,7	0,07	0,13	0,48	0,05	0,90	4,53	0,7	5,2	13	1,42	80	2	18
PVA	20-40	5,3	1,0	0,05	0,08	0,45	0,05	0,73	3,68	0,6	4,3	14	1,37	64	5	31
Cana-de-açúcar Cumbe	0-20	5,7	4,7	0,09	1,12	0,70	0,03	0,13	2,80	1,9	4,7	40	1,51	80	3	17
PVA	20-40	4,7	1,7	0,07	0,30	0,52	0,03	0,97	3,73	0,9	4,6	20	1,41	63	5	32
Floresta Piedade	0-20	4,9	1,0	0,05	0,23	0,47	0,04	0,58	5,80	0,8	6,6	12	1,31	73	4	23
LVA	20-40	5,2	1,0	0,03	0,13	0,42	0,04	0,77	4,72	0,7	5,4	13	1,26	66	2	32
Cana-de-açúcar Piedade	0-20	6,0	4,5	0,16	1,10	0,63	0,04	0,00	4,20	1,9	6,1	31	1,37	76	2	22
LVA	20-40	5,5	2,0	0,08	0,45	0,53	0,04	0,37	4,48	1,1	5,6	20	1,30	69	5	26
(Usina Coruripe - COR) - Alagoas																
Floresta Miai de Baixo	0-20	6,3	1,8	0,10	4,11	1,14	0,09	0,00	2,39	5,4	7,7	70	1,47	79	9	12
PVA	20-40	6,0	1,3	0,06	0,81	0,57	0,07	0,08	2,36	1,5	3,9	38	1,36	82	3	15
Cana-de-açúcar Miai de Baixo	0-20	6,4	29,8	0,75	3,55	0,85	0,10	0,00	2,06	5,3	7,3	72	1,44	84	8	8
PVA	20-40	6,7	2,8	0,36	1,62	0,64	0,07	0,00	1,36	2,7	4,0	67	1,43	83	5	12
Floresta Topless	0-20	5,8	3,0	0,07	2,40	0,68	0,07	0,04	3,32	3,2	6,5	49	1,53	83	11	6
PVA	20-40	5,9	1,8	0,05	0,58	0,49	0,06	0,04	2,21	1,2	3,4	35	1,55	88	4	8
Cana-de-açúcar Topless	0-20	6,4	27,3	0,16	1,62	0,76	0,07	0,00	2,33	2,6	4,9	53	1,59	86	5	9
PVA	20-40	6,2	22,0	0,12	0,23	0,50	0,06	0,02	3,02	0,9	3,9	23	1,60	85	3	12

Prof.: profundidade; pH: potencial hidrogeniônico; SB: soma de base; CTC: capacidade de troca de cátions; V: saturação por bases; Ds: densidade do solo; ¹PVA = Argissolo Vermelho-Amarelo, LVA = Latossolo Vermelho-Amarelo

3.7 CÁLCULO DOS ESTOQUES DE CARBONO E NITROGÊNIO DO SOLO

Com base nas concentrações de C e N foram calculados os estoques totais de C e de N (Mg ha^{-1}). Os estoques totais para cada profundidade foram calculados pelos métodos de Carvalho et al (2009), baseado nos trabalhos de Moraes et al. (1996) e Veldkamp (1994). Partindo da premissa proposta por Veldkamp (1994), de que a relação entre a densidade aparente e a espessura da camada permanece constante em relação ao solo de referência, o cálculo do estoque de cada camada amostrada pode ser calculado pela equação 2. Por esse método a correção é feita para cada camada estudada, corrigindo-se a espessura da mesma em relação à área de referência.

Os estoques totais de C e N foram calculados pela equação (2).

$$\text{Est}(\text{Mg ha}^{-1}) = \frac{C_s * D_s * \left(\frac{D_{ref} * e}{D_s}\right)}{10} \quad (2)$$

Em que,

Est (Mg ha^{-1}) = estoque de C e N em determinada profundidade (Mg ha^{-1})

C_s = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g kg^{-1})

D_s = densidade do solo na profundidade amostrada (kg dm^{-3})

D_{ref} = densidade do solo para profundidade amostrada na área de referência (kg dm^{-3})

e = espessura da camada considerada (cm)

3.8 Análise estatística dos dados dos estoques de C e N do solo

As concentrações foram comparadas separadamente, isto é, em cada usina, entre as camadas de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm no perfil do solo e entre uso do solo. No entanto, para os estoques houve comparação entre uso do solo (Floresta ombrófila densa e cana-de-açúcar).

Nesse caso, a comparação dos estoques entre as áreas estudadas foi realizada em massas iguais de solo, pelo fato dos diferentes usos e práticas utilizadas terem alterado a densidade do solo.

Os dados foram submetidos ao teste de hipóteses, utilizando-se o *software* estatístico *SISVAR*[®] versão 5.6 (FERREIRA, 2011). Para verificar se apresentavam distribuição normal e atendiam aos critérios necessários para aplicação de um teste paramétrico, os dados foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO e WILK, 1965). Depois foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos, foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% ($P < 0,05$) de significância.

3.9 COLETA DAS AMOSTRAS DE SOLO DO ESTUDO DE FRACIONAMENTO FÍSICO DA MOS

Para cada uso do solo (Floresta Ombrófila Densa e Cana-de-açúcar) foram selecionados seis pontos amostrais, dois em cada tipo de uso do solo, ficando o arranjo amostral da seguinte forma: 2 tipos de uso x 2 locais x 6 repetições = 24. Sob cultivo da cana-de-açúcar, as amostras de solo foram coletadas entre as linhas de cultivo.

3.10 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS DE SOLO

Foram avaliados o carbono orgânico total (COT) e o carbono de diferentes frações do fracionamento por tamanho de partícula da MOS (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1993), obtendo-se o carbono orgânico particulado (COp) ou matéria orgânica particulada (MOP) e carbono orgânico associado aos minerais (COam). Aproximadamente 20g de solo e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5g L^{-1}) foram agitados durante 15 horas em agitador horizontal Wagner. A seguir, a suspensão foi passada por peneira com malha de 53 μm ou 0,053 mm (270 Mesh) com auxílio de jato de água. O material retido na peneira (COp) foi seco em estufa a 50°C até atingir massa constante, e quantificada a concentração de COT em relação a sua massa. Posteriormente, subamostras foram moídas em gral de porcelana e analisados em relação as concentrações de C total. O COam foi obtido a partir da diferença entre o C orgânico total (presente na matéria orgânica total) e o COp. As concentrações de COT foram determinados via combustão seca em analisador elementar CHNS-O (Thermo Flash 2000 IRMS).

Para determinação das concentrações de carbono total do solo foi utilizado padrão de referência do analisador elementar CHNS-O da marca Thermo (Thermo Flash 2000 IRMS), que contém C= 1,755%, N= 0,195% e S=0,039%.

Essas análises foram realizadas na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Agrobiologia), Seropédica – Rio de Janeiro.

3.11 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS DO FRACIONAMENTO FÍSICO DO SOLO

Foi realizada análise estatística dos resultados do fracionamento físico da MOS entre usos do solo; e classe de solo. Para os dados obtidos em campo, em cada profundidade, por se tratarem de dados ambientais (sistema aberto), foi empregado o teste de normalidade e homogeneidade das variâncias dos erros nos dados utilizando o *software* estatístico *SISVAR*[®] versão 5.6, com o intuito de verificar se os mesmos apresentavam distribuição normal (FERREIRA, 2011).

Uma vez constatada a normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk (SHAPIRO e WILK, 1965), os dados de fracionamento granulométrico foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com aplicação do teste F e os valores médios, quando significativos, foram comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% ($P < 0,05$) de significância.

Os usos do solo (Floresta Ombrófila Densa e Cana-de-açúcar) foram comparados entre si, e isoladamente em cada estado (PE e AL) nas camadas de 0-10, 10-20, 20-30 e 30-40 cm. Para os cálculos dos estoques de COT (Mg ha^{-1}), foi realizado correção da massa de solo como consta no *item* 3.1.8.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estratégia de se utilizar coletas de solo em profundidade no mesmo período do ano (seco) foi adotada para permitir a quantificação e estudo dos estoques de C e N do solo e das frações da MOS do solo, sem a necessidade de ter que aguardar longo período de tempo até que potenciais alterações nos estoques e nas características físicas e químicas do solo pudessem ocorrer, uma vez que existe uma busca premente por indicadores de qualidade do solo.

O COS é destaque dentre os parâmetros utilizados para o monitoramento da qualidade do solo, sendo o indicador químico mais sensível para a análise dos processos ou comportamento do solo frente às mudanças de uso. A vantagem, portanto, desta forma de avaliação em estudos de curto e médio prazos é a praticidade de amostragem em uma só época, uma vez certificadas que as áreas apresentam condições similares sob os aspectos de textura do solo, clima e topografia (refletem a mesma realidade em cada engenho), manejo do solo com a cana-de-açúcar (aração, gradagem, correção do solo e adubação mineral e orgânica), condição de vegetação similar em cada estado (Floresta ombrófila), variando os ciclos de cultivo em cana-de-açúcar em cada engenho (soqueiras com cortes distintos), sendo o manejo da colheita uniforme em todas as áreas de cana-de-açúcar (despalha com fogo). Contudo, a variabilidade da textura do solo, identificada nos engenhos Cumbe (Argissolo) e Piedade (Latosolo), em Pernambuco (textura média) e dos engenhos Miai de baixo e Topless (ambos de textura arenosa), em Alagoas, pode ser fator limitante, sem, contudo, prejudicar os estudos comparativo dos estoques de C e N do solo após remoção de floresta em áreas atualmente cultivadas com cana-de-açúcar.

4.1. CONCENTRAÇÕES DE C POR CAMADA E USO DO SOLO EM PERNAMBUCO E ALAGOAS

As concentrações de C nas áreas de cana-de-açúcar em Cumbe e Piedade, Pernambuco, variaram de 0,63 a 1,72 % e 0,90 a 2,63 %, respectivamente. Em floresta, as concentrações de C variaram de 0,62 a 2,19 % e 0,74 a 2,25 %, respectivamente em Cumbe e Piedade. Nos dois engenhos houve redução da concentração de C com aumento da profundidade do solo (Tabela 5).

No engenho Cumbe, observou-se uma diminuição da concentração de C em cana-de-açúcar em comparação à Floresta Ombrófila (Argissolo Vermelho-Amarelo ou PVA),

principalmente na camada superficial do solo (0-10 cm). A concentração de C sob vegetação de floresta para a camada de 0-10 cm foi de 2,19 %, enquanto que para cana-de-açúcar o valor foi de 1,72%. Isso representa redução de 21 % da concentração de C em comparação a vegetação de floresta (Tabela 5).

Tabela 5. Concentrações médias (n=3) de carbono (%) em solos sob diferentes usos em áreas de floresta ombrófila densa e cana-de-açúcar em Pernambuco e Alagoas na profundidade de 0-100 cm.

Pernambuco				
Argissolo Vermelho-Amarelo			Latosolo Vermelho-Amarelo	
Engenho Cumbe			Engenho Piedade	
Prof. (cm)	Flor. Om. (%)	Cana-de-açúcar (%)	Flor. Om. (%)	Cana-de-açúcar (%)
0-10	2,19aA	1,72aB	2,25aB	2,63aA
10-20	1,91bA	1,43bB	2,07aA	1,97bA
20-30	1,73bA	1,25cB	2,00aA	1,66bA
30-40	1,30cA	1,02dB	1,35bA	1,45cA
40-60	0,89dA	0,76eA	0,99cA	1,16cA
60-80	0,70dA	0,67eA	0,81cA	1,07cA
80-100	0,62dA	0,63eA	0,74cA	0,90cA
CV%^{*2}	13,26		13,76	
Alagoas				
Argissolo Vermelho-Amarelo				
Engenho Miai de Baixo			Engenho Topless	
0-10	2,21aA	1,59aB	2,86aA	2,66aA
10-20	1,82aA	1,83aA	0,90bB	1,68bA
20-30	1,15bA	1,50aA	1,07bA	1,18cA
30-40	1,13bA	1,38aA	1,03bA	0,93cA
40-60	0,68bA	1,11aA	1,06bA	0,93cA
60-80	0,86bA	1,32aA	0,94bA	0,80cA
80-100	0,83bB	1,35aA	0,88bA	0,61cA
CV%^{*2}	26,73		30,08	

¹Flor. Om. Densa: Floresta Ombrófila Densa; CV%^{*2} Coeficiente de variação em % entre usos; Letras minúsculas na coluna comparam as camadas do solo em cada uso e letras maiúsculas na linha comparam os usos em cada local considerando o mesmo elemento. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Com a mudança de uso do solo, na profundidade de 0-40 cm, em Cumbe, a concentração de C para floresta foi superior estatisticamente em comparação à cana-de-açúcar, obtendo resultado contrário na camada de 0-10 cm, no engenho Piedade. Para a camada de 40-100 não houve diferença estatística ($P < 0,05$) entre floresta e cana-de-açúcar nos engenhos Cumbe e Piedade (Tabela 5).

Nas áreas de cultivo de cana-de-açúcar existe a prática da despalha com fogo para posterior colheita. Essa prática, aliada ao manejo intensivo, contribui de forma

significativa para as reduções das concentrações de C do solo desse estudo. Alguns trabalhos ressaltam a importância do fogo na perda e modificação da matéria orgânica do solo (GONZÁLES-PEREZ et al., 2004).

Maia e Ribeiro (2004) verificaram que após 30 anos de cultivo com cana-de-açúcar em um Argissolo Amarelo, houve uma redução de 2,12 para 1,22 % na camada superficial em comparação a área de vegetação natural. Davidson e Ackerman (1993) verificaram perdas de 30 % de carbono do solo 20 anos após a conversão de floresta em cultivo de cana-de-açúcar. Silva et al. (2007) observaram decréscimo no teor de C após a conversão da vegetação nativa para cana-de-açúcar, seguida por um gradativo aumento nos estoques após 25 anos de cultivo. Razafimbelo et al. (2006), que observaram redução de 15% nos teores de C quando manejado com queima da palhada em comparação ao manejo mecanizado para a profundidade de 0-10 cm, passando de 2,37 para 2,07 % de C no solo.

Apenas no engenho Piedade, resultado contrário foi verificado na camada de 0-10 cm, em Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA), ocorrendo, portanto, incremento na concentração de C de 14% após conversão de cana-de-açúcar em floresta (2,25 para 2,63 %) (Tabela 5). Esse resultado está correlacionado com aplicação de resíduo agrícola (composto a base de torta de filtro - Anexo A e 2) proveniente da indústria nas áreas de cana-de-açúcar. O resíduo aplicado provavelmente contribui para o aumento da concentração de C, principalmente, no engenho Piedade, uma vez que na camada de 0-10 cm, apresentou resultado superior, em comparação a área de floresta.

Por outro lado, as perturbações antrópicas do sistema da cana-de-açúcar acarretam mais perdas do que ganhos de carbono, principalmente pelo preparo intensivo do solo, com aumento da oxidação de compostos orgânicos pela sua exposição, ruptura ou fragmentação de agregados e exposição da superfície do solo ao impacto das gotas de chuva (BERTOL et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2004). Em média, aproximadamente 42 % do total de carbono orgânico do solo (0-100 cm) estão estocados nos primeiros 20 cm de profundidade no solo (Cumbe e Piedade), em Pernambuco, nas áreas de floresta ombrófila e cana-de-açúcar, respectivamente (Tabela 5).

De modo geral, as maiores concentrações de C se apresentaram nas áreas de Floresta Ombrófila Densa (0-10 cm). As maiores concentrações de C observadas sob vegetação de floresta ombrófila na camada superficial quando comparados às áreas de cana-de-açúcar estão em concordância com os resultados encontrados por Galdos et al. (2009); Czyca (2010) e Souza et al. (2012). Os maiores valores de C dos solos sob floresta

ombrófila são atribuídos à preservação da serapilheira, à ausência de revolvimento do solo, ao maior aporte de resíduo vegetal cobrindo o solo e à maior atividade biológica (BROMICK & LAL, 2005), além de ser uma região extremamente rica em macro, meso e micro-organismos, bem como é bastante ocupada pelo sistema radicular das plantas (BRADY & WEIL, 2002; PLANTE et al., 2011).

As maiores perdas de C ocorrem na camada de 0-10 cm em áreas de produção agrícola, sob sistema de preparo convencional, estimadas entre 35 % a 70% do conteúdo original do C do solo (BAYER et al., 2000; SÁ et al, 2001; GUO & GIFFORD, 2002; SLEUTEL et al., 2010; JANTALIA et al., 2007; DOMINY et al., 2002; DEL GALDO et al., 2003). Sabe-se que existe uma relação próxima dos valores mais elevados de C localizados na camada superficial do solo, sobretudo sob vegetação nativa comparadas a solos que sofreram mudanças no uso do solo (SIX et al., 1999). Causas da redução significativa da concentração do C do solo com a mudança de uso do solo são a retirada da vegetação nativa (desmatamento/queimadas) e preparo do solo com aração e gradagem. Ambas ações contribuem para a redução das concentrações de carbono do solo, uma vez que a camada arável é modificada e expõe os agregados do solo à variações de temperatura (BLAIR et al., 1998).

Foi observado no presente estudo que ao considerar a camada arável do solo ou aquela faixa de solo onde há maior interferência das atividades agrícolas, camada de 0-30 cm, as perdas de C chegaram a 12,26 % quando da conversão de Floresta ombrófila em agricultura (cana-de-açúcar), correspondendo a 13,55 Mg ha⁻¹ de C. Esse resultado demonstra a perda de C do solo com a substituição da vegetação nativa (Floresta Ombrófila Densa) pelo cultivo de cana-de-açúcar.

Outra característica, principalmente nas áreas de cana-de-açúcar é a pouca variabilidade em profundidade (40-100 cm) da concentração de C observado em Pernambuco (Tabela 5). O que está relacionado ao reduzido aporte de biomassa vegetal, sobretudo, pelo aporte reduzido da biomassa radicular após desmatamento, opostamente aos resultados observados em áreas de floresta. As maiores concentrações de C ocorrem nas camadas superficiais dos solos (BAYER et al., 2003; PORTUGAL et al., 2008), sobretudo pela deposição de serapilheira ou resíduos vegetais (acúmulo de MOS), ou pela aplicação de resíduos agrícolas, no caso da cana-de-açúcar, na camada superficial do solo (BRADY & WEIL, 1999).

Em um Latossolo Vermelho Distroférico cultivado com cana-de-açúcar, em São Paulo, a concentração de C na camada de 0-20 cm foi equivalente a 1,54 % em áreas com

queima (LUCA et al., 2008). Canellas et al. (2003) reportaram que em área de cana-de-açúcar queimada, a concentração de C é de 1,31 % na camada superficial, o que confirma valores médios próximos aos apresentados neste estudo. Dados do presente estudo apresentam concentrações médias de C de 1,93 % (Cumbe e Piedade) na camada de 0-20 cm, um pouco acima dos resultados dos dois últimos trabalhos mencionados, levando em consideração as mesmas condições de colheita (colheita realizada após a despalha com fogo).

Práticas agrícolas como o revolvimento mínimo do solo e o aporte e acúmulo de biomassa na camada superficial em áreas de cultivo auxiliam na proteção do solo e preservação da MOS. A matéria orgânica do solo influencia a fertilidade e outras propriedades chave do solo e por isso é importante a sua preservação. O sistema de manejo convencional que usa o preparo do solo com aração e gradagem para a produção vegetal constitui o principal fator dessas perdas (BRUCE et al., 1999).

Em Alagoas, as concentrações de C nas áreas de cana-de-açúcar em Miai de Baixo e Topless, variaram de 1,11 a 1,83 % e 0,61 a 2,66 %, respectivamente. Em floresta, as concentrações de C variaram de 0,68 a 2,21 % e 0,88 a 2,86 %, respectivamente em Miai de baixo e Topless. Foi observado redução da concentração de C com aumento da profundidade do solo nos engenhos citados acima (Tabela 5).

Ocorreu redução significativa da concentração de C em cana-de-açúcar no engenho Miai de baixo em comparação à Floresta Ombrófila após a conversão, em Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), na camada superficial do solo (0-10 cm). As concentrações de C sob vegetação de floresta naquela camada foram de 2,21 e 2,86 %, enquanto que em cana-de-açúcar os valores foram de 1,59 e 2,66% em Miai de baixo e Topless, respectivamente. Portanto, com a conversão foram observadas redução de 28 % e incremento de 7 % da concentração de C nos engenhos Miai de Baixo e Topless, respectivamente, na camada de 0-10 cm (Tabela 5).

Houve diferença estatística significativa ($P < 0,05$) da concentração de C no engenho Miai de baixo, na camada de 0-10 cm, com resultado superior para floresta em comparação à cana-de-açúcar e na camada de 80-100 cm com resultado superior para cana-de-açúcar. No engenho Topless, cana-de-açúcar obteve resultado estatístico superior ($P < 0,05$) em comparação a floresta na camada de 10-20 cm (Tabela 5).

Os resultados em cana-de-açúcar superiores aos de floresta são em decorrência da incorporação de resíduo agrícola, torta de filtro (Anexo C) da indústria sucroalcooleira, como observado em outros estudos (OMAY et al., 1997; PAUSTIAN et al., 1997;

KANCHIKERIMATH e SINGH, 2001), interferindo no aumento da concentração de C do solo. A camada subsuperficial (10-20 cm) nos engenhos Miai de Baixo e Topless armazenam cerca de 16 % e 19 % do COT do solo (0-100 cm) entre as áreas de floresta ombrófila densa e cana-de-açúcar, respectivamente (Tabela 5).

De maneira geral, observou-se na camada superficial (0-10 cm) maiores concentrações de C nas áreas de Floresta ombrófila em comparação a cana-de-açúcar. Isso decorre das elevadas temperaturas, solos com excessiva mobilização e submetidos a queimadas constantes, ocasionando reduções do conteúdo de MOS (ALEXANDER, 1977). A quantidade de serapilheira verificada no local, proveniente da vegetação nativa, tende a ser máxima, sem revolvimento do solo, de forma que o impacto é mínimo e o aporte de biomassa se torna mais elevado do que em áreas cultivadas (ZECH et al., 1997).

Além disso, no presente estudo, as áreas com cultivo de cana-de-açúcar praticaram anteriormente à colheita, despalha com fogo (relato e observação de campo). Por outro lado, essas mesmas áreas, em Alagoas, recebiam resíduo agrícola (torta de filtro) produzido pela agroindústria. Alguns trabalhos relatam a importância da presença do fogo na perda e modificação da MOS (GONZÁLES-PEREZ et al., 2004).

De modo geral, nas áreas de cana-de-açúcar, em decorrência do revolvimento contínuo do solo, expondo e aumentando a oxidação da MOS, e da maior quebra dos macroagregados pelo revolvimento do solo (SILVA et al., 1999), ocasiona reduções nas concentrações de C do solo. Portanto, ocorre maior potencial em preservar os conteúdos de C da MOS do solo sob Floresta ombrófila densa do que o sistema de cana-de-açúcar, devido as constantes modificações no solo, aliada as práticas de manejo intensivas e degradadoras. Nesse sentido, Mello Ivo (2012) observou que em solos cultivados com cana-de-açúcar por mais de 30 anos (MELLO IVO, 2012), com despalha a fogo, há reduções nas concentrações de C.

Com a mudança de uso da terra, ocorre significativa perda de C do solo (KASCHUK et al., 2011). Em áreas de cana-de-açúcar com queima da palhada, a concentração de C na camada 0-10 cm do solo decresceu de 4 a 5 %, para 1,7 %, em um solo mais arenoso, e para 3,3 % em um solo mais argiloso, após 20 a 30 anos de cultivo contínuo (DOMINY et al., 2002). Estudos tem mostrado reduções nas concentrações de C com a conversão de florestas nativas em áreas cultivadas (preparo convencional do solo) (ZINN et al., 2002; LEITE et al., 2003; LAL, 2005), confirmando os resultados de declínio das concentrações de C observados.

Na conversão ou mudança de uso do solo, além do efeito físico dos implementos convencionais utilizados em áreas de cana-de-açúcar impactando na compactação das camadas, ocorre também exposição do material orgânico localizado no interior dos agregados (ruptura dos agregados do solo) e, portanto, protegido do ataque de micro-organismos. Além disso, existe uma intensificação das condições de aeração, aumentando a taxa de decomposição da MOS (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1993; BAYER, 1996), contribuindo para reduções nas concentrações de C do solo. Em estudo sobre levantamento de perda de C do solo, no Havaí, foi verificado perda entre 12-26 % em áreas acima de 50 anos de cultivo de cana-de-açúcar do que em áreas de vegetação nativa adjacentes (OSHER et al., 2003). Reduções significativas das concentrações de C a partir da conversão da vegetação nativa em agricultura são evidenciados em diversos estudos (DEL GALDO et al., 2003; SLEUTEL et al., 2010; CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1993; BAYER, 1996; LEITE et al., 2003; LAL, 2005).

Em um levantamento em cronossequência foram observadas reduções nas concentrações de C, onde observaram redução acentuada no COT do solo logo após conversão da vegetação nativa em cana-de-açúcar, seguido por um gradativo aumento. Mas, logo após 25 anos de cultivo de cana-de-açúcar, as concentrações ainda eram inferiores aos da condição de floresta (mata nativa), medidos em uma área de mata adjacente ao canavial (SILVA et al., 2007). Conforme Galdos et al. (2009), a dinâmica do C pode ser influenciada pelo grau de revolvimento do solo durante a reforma do canavial, pois parte do C presente no solo pode ser perdido por meio do manejo da reforma. Six et al. (2002) verificaram correlação positiva entre o grau de distúrbio por meio do manejo na reforma e aumento da mineralização do C do solo.

Os coeficientes de variação observados entre os usos Floresta ombrófila e cana-de-açúcar na Tabela 5, considerando as concentrações de C em todo o perfil do solo situaram-se em torno de 13 e 30 % em Pernambuco e Alagoas, respectivamente. Os limites propostos por Warrick & Nielsen (1980) para classificar as variáveis do solo estabelece as seguintes classes: baixo $CV < 12\%$, médio de 12 a 60% e alto $CV > 60\%$. De acordo com esta classificação, os teores de COT apresentaram variabilidade média. Mesmo com esta classificação, é notória a variabilidade entre os usos do solo nos dois estados (Tabela 5). Este fato decorre entre outros fatores da textura do solo, onde, taxas de mineralização da MOS são menores em solos argilosos do que em solos arenosos (DALAL & MAYER, 1986a), visto que a proteção física do C orgânico por microagregados não é afetada expressivamente pelos métodos de preparo em solos com

maiores conteúdos de argila (BAYER, 1996). Nesse sentido, os solos de Pernambuco foram identificados como sendo de textura média e, em Alagoas, de textura arenosa, dessa forma, explicando, em parte, a menor variabilidade ou amplitude identificada nos solos de Pernambuco quando comparado à variabilidade observada em Alagoas. Por outro lado, nas áreas de cana-de-açúcar, foram identificadas adições de resíduos procedentes das unidades agroindustriais (torta de filtro), inclusive com renovação recente de áreas de plantio para o cultivo da cana-de-açúcar, dessa forma, elevando o conteúdo de MOS, conseqüentemente, elevando a concentração de C, sobretudo, nas camadas iniciais do solo. Nicoloso (2005) atribuiu à maior variação nos teores de COP à alta dependência dos resíduos vegetais.

A maior heterogeneidade na camada de 0-30 cm observada neste estudo pode estar relacionada com fatores como as entradas de material orgânico, regime de atividade da fauna do solo e os efeitos de distúrbios e do manejo do solo (agrossistema da cana-de-açúcar), que são os processos definidores da dinâmica da camada superficial do solo e estão sujeitos a variabilidade espacial elevada (MONTERO, 2008), interferindo no conteúdo de MOS e C do solo. Segundo alguns autores, normalmente há maior variabilidade do teor de C em superfície do que em profundidade (CONANT, PAUSTIAN, 2001; CERRI et al., 2004).

Métodos de preparo mais agressivos, com maior intensidade de revolvimento, como o convencional, expõem o solo ao processo oxidativo da MOS, pela redução dos mecanismos de proteção física da MOS, como a agregação e assim as perdas de MOS, logo, redução da concentração de C do solo (NICOLOSO, 2005).

4.2 CONCENTRAÇÕES DE N POR CAMADA E USO DO SOLO EM PERNAMBUCO E ALAGOAS

Nos dois engenhos, em Pernambuco, os resultados de nitrogênio seguiram a mesma tendência do carbono orgânico no solo, redução da concentração com aumento da profundidade (Tabela 6). Assim como ocorreu para as concentrações de C na camada superficial, as maiores concentrações de N observadas devem-se a deposição da serapilheira nas áreas de floresta ombrófila e de restos culturais e resíduos da agroindústria no caso das áreas de cana-de-açúcar (CZYCZA, 2009).

Esse declínio natural do conteúdo de MOS com o aumento de profundidade, observado no atual estudo, concorda com os resultados apresentados por outros trabalhos

(LOCATELLI et al., 2006; NEVES et al., 2004; LAL, 2002). Isso é decorrente do maior acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo e ao menor volume radicular verificado em maior profundidade, principalmente nas áreas de cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2008). A redução da concentração de N em profundidade nos solos tem sido confirmada em outros estudos (LAL, 2005; PAIVA et al., 2011; MELLO IVO, 2012; JESUS, 2017).

As concentrações de N nos engenhos Cumbe e Piedade, em cana-de-açúcar, variaram de 0,05 a 0,11 % e 0,10 e 0,21 %, respectivamente. Em Floresta ombrófila, as variações para N foram de 0,05 a 0,14 % e 0,05 a 0,19 % em Cumbe e Piedade, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6. Concentrações médias (n=3) de nitrogênio (%) em solos sob diferentes usos em áreas de floresta ombrófila densa e cana-de-açúcar em Pernambuco e Alagoas na profundidade de 0-100 cm.

Pernambuco				
Argissolo Vermelho-Amarelo			Latossolo Vermelho-Amarelo	
Engenho Cumbe		Engenho Piedade		
Prof. (cm)	Flor. Om. %	Cana-de-açúcar %	Flor. Om. %	Cana-de-açúcar %
0-10	0,11bA	0,11aA	0,19aA	0,21aA
10-20	0,14aA	0,10bB	0,17aA	0,15bA
20-30	0,13aA	0,09cB	0,16aA	0,13bA
30-40	0,10bA	0,08dB	0,10bA	0,13bA
40-60	0,07cA	0,06eA	0,08bA	0,10bA
60-80	0,06cA	0,06eA	0,05cB	0,10bA
80-100	0,05cA	0,05eA	0,05cB	0,10bA
CV%^{*2}		12,12		20,49
Alagoas				
Argissolo Vermelho-Amarelo				
Engenho Miai de Baixo		Engenho Topless		
0-10	0,10aA	0,07aA	0,14aA	0,13aA
10-20	0,09aA	0,08aA	0,07bA	0,09bA
20-30	0,09bA	0,07aA	0,07bA	0,07bA
30-40	0,08bA	0,07aA	0,07bA	0,07bA
40-60	0,08bA	0,07aA	0,08bA	0,07bA
60-80	0,07bA	0,06aA	0,06bA	0,05cA
80-100	0,07bA	0,07aA	0,06bA	0,05cA
CV%^{*2}		34,94		27,41

¹Flor. Om. Densa: Floresta Ombrófila Densa; CV%^{*2} Coeficiente de variação em % entre usos; Letras minúsculas na coluna comparam as camadas do solo em cada uso e letras maiúsculas na linha comparam os usos em cada local considerando o mesmo elemento. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em solos sob clima tropical, a concentração de N total pode variar entre 0,02 e 0,4%, podendo, em casos extremos de solos orgânicos, chegar a até 2% conforme mencionado por Stevenson (1994), confirmando que as concentrações de N total do atual estudo estão dentro do esperado.

As concentrações de N em Floresta ombrófila e cana-de-açúcar se mantiveram semelhantes após mudança de uso do solo no engenho Cumbe na camada de 0-10 cm. Em contrapartida, no engenho Piedade, embora não tenha sido estatisticamente diferente, foi numericamente superior, havendo aumento da concentração de N em cana-de-açúcar em comparação à Floresta Ombrófila na camada de 0-10 cm do solo, verificando-se aumento de 9 % da concentração de N em comparação a vegetação de floresta (Tabela 6). Através de relato e observação de campo, constatou-se a aplicação de resíduo agrícola (composto a base de torta de filtro - Anexo A e 2) proveniente da indústria nas áreas de cana-de-açúcar (Cumbe e Piedade), demonstrando que o resíduo aplicado contribuiu para o aumento das concentrações de N no engenho Piedade na camada de 0-10 cm em cana-de-açúcar.

Considerando a profundidade de 0-40 cm, após a conversão de ecossistema natural (floresta) para a agrossistema de cana-de-açúcar, estatisticamente ($P < 0,05$), a floresta ombrófila obteve resultado superior em comparação à cana-de-açúcar na camada de 10-40 cm no engenho Cumbe. Sabe-se que existe uma relação próxima dos valores mais elevados de N localizados na camada superficial do solo, sobretudo sob vegetação nativa comparadas a solos que sofreram mudanças no uso do solo (SIX et al., 1999, SÁ, 2001). Essa redução é acentuada em áreas de cana-de-açúcar quando a despalha é realizada com fogo, reduzindo ainda mais as concentrações de N do solo. Com a queima da palhada da cana-de-açúcar, segundo Urquiaga et al. (1991), são perdidos aproximadamente $50 \text{ kg N ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$. Não houve diferença estatística ($P < 0,05$) entre floresta e cana-de-açúcar na camada de 40-100 cm no engenho Cumbe. No engenho Piedade ocorreu diferença estatística significativa ($P < 0,05$) na camada de 60-100 cm, com resultado superior para cana-de-açúcar (Tabela 6).

Para Dalal et al. (2003), semelhante ao que ocorre com a dinâmica de acúmulo de C-orgânico no solo, o N-total é determinado pela relação entre a taxa de adição de N ao solo e a de perda. Sendo assim, os maiores estoques de N nos sistemas com gramíneas e algumas oleaginosas é devido à maior entrada de N no sistema solo-planta, o qual é proveniente da fixação biológica de N_2 realizada por estes vegetais.

Diekow et al. (2005) observou maiores estoques de N-total em sistemas de culturas com gramíneas. A elevação da concentração de N na camada de 60-100 cm, no engenho Piedade, tem relação direta com a entrada de resíduo da agroindústria (composto a base de torta de filtro), por longo período de tempo, com concentração média de N de 1,1 % (11 g Kg^{-1} - Anexo A e 2), associado ao uso de fertilizante nitrogenado. Cerca de 90% do N do solo encontra-se no compartimento orgânico, o que torna inevitável a associação de sua disponibilidade com o teor de MOS (CANTARELLA et al., 2008).

Para o N, na camada de 0-20 cm, as variações observadas entre a mínima e a máxima concentração nas áreas de cana-de-açúcar foram de 0,10 e 0,21 %, respectivamente. Luca et al. (2008) observaram que as concentrações de N da camada 0-20 cm, variaram de 0,10 a 0,13 % e de 0,13 a 0,14 % em áreas com cultivo de cana-de-açúcar com e sem queima, respectivamente, portanto, confirmando os resultados obtidos no atual estudo (Tabela 6).

A alteração da concentração de N na camada de 0-20 cm está relacionada ao sistema de cultivo e às influências que essas exercem sobre a estabilidade da matéria orgânica no solo. Nesse sentido, as perturbações antrópicas do sistema da cana-de-açúcar acarretam mais perdas do que ganhos de nitrogênio, principalmente pelo preparo intensivo do solo, com aumento da oxidação de compostos orgânicos pela sua exposição, ruptura ou fragmentação dos agregados e exposição da superfície do solo ao impacto das gotas de chuva (NEVES et al., 2004; BERTOL et al., 2004; OLIVEIRA et al., 2004).

Em média, aproximadamente 40 % do nitrogênio total (0-100 cm) estão estocados nos primeiros 20 cm de profundidade no solo (Cumbe e Piedade), em Pernambuco, nas áreas de Floresta ombrófila e cana-de-açúcar (Tabela 6).

Causas da redução significativa da concentração do N do solo com a mudança de uso do solo, são a retirada da vegetação nativa (desmatamento/queimadas) e preparo do solo com aração e gradagem (convencional). Ambas ações contribuem para a redução das concentrações de nitrogênio do solo, uma vez que a camada arável é modificada e expõe os agregados do solo à variações de temperatura (BLAIR et al., 1998).

Foi observado no presente estudo que ao considerar a camada arável do solo ou aquela faixa de solo onde há maior interferência das atividades agrícolas, camada de 0-30 cm, as perdas de N chegaram a 21 % quando da conversão de Floresta ombrófila em agrossistema (cana-de-açúcar), no engenho Cumbe, correspondendo a $0,77 \text{ Mg ha}^{-1}$ de N (Tabela 6). Esse resultado evidencia a perda de N do solo com a substituição da vegetação nativa (Floresta Ombrófila Densa) pelo cultivo de cana-de-açúcar.

Com exceção do engenho Piedade na camada de 60-100 cm (Tabela 6), as concentrações de N diminuíram com o aumento de profundidade, comportamento similar a das concentrações de C. Isso se deve ao fato de o N e o C serem componentes da matéria orgânica intrinsecamente associados (DIAS et al., 2007). Esses resultados concordam com os de Bayer et al. (2000), sendo os solos degradados pelo cultivo e com baixa concentração de C, também deficientes em N, o que limita a recuperação dos estoques de C no solo, principalmente em sistemas constituídos por gramíneas. Em diversos biomas no Brasil, vários autores demonstraram existir uma relação linear entre as concentrações de COT e NT do solo (DOU et al., 2007; SÁ e LAL, 2009; MAIA et al., 2010; FRAZÃO et al., 2010).

Em Alagoas, a concentração de N em profundidade seguiu o mesmo padrão de redução observado para o C nos engenhos Miai de Baixo e Topless. Isso é efeito causado pelo maior acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo, somado ao menor volume radicular verificado em profundidade (OLIVEIRA et al., 2008), ocasionando redução natural da concentração de N em profundidade no solo, conforme ocorreu em estudo realizado por Signor (2010), onde identificou redução da concentração de N até a profundidade de 100 cm em área de cana-de-açúcar após seis anos de reforma (renovação), despalha com fogo, em Latossolo Vermelho.

Não foi observada diferença estatística ($P < 0,05$) entre os usos para concentração de N até 100 cm nos engenhos. Independente do resultado estatístico, de maneira geral, a camada de 0-10 cm foi a que obteve maior concentração de N em ambos os usos (Tabela 6). Considerando a camada de 0-20 cm, os engenhos Miai de Baixo e Topless armazenaram aproximadamente 32 e 40 % do NT entre as áreas de floresta ombrófila densa e cana-de-açúcar, respectivamente (Tabela 6).

As concentrações de N nos engenhos Miai de Baixo e Topless, em cana-de-açúcar, variaram de 0,06 a 0,08 % e 0,05 a 0,13 %, respectivamente. Em Floresta ombrófila, as variações para N foram de 0,07 a 0,10 % e 0,06 e 0,14 % em Miai de Baixo e Topless, respectivamente (Tabela 6). Stevenson (1994), verificou em solos sob clima tropical que a concentração de N total pode variar entre 0,02 e 0,4%, confirmando os resultados do atual estudo.

4.3 ESTOQUES DE C EM SOLOS SOB FLORESTA E CANA-DE-AÇÚCAR EM PERNAMBUCO E ALAGOAS

A distribuição dos estoques de C entre as camadas seguiu o mesmo padrão de redução das concentrações de C em relação a profundidade verificada na tabela 5, sobretudo entre as camadas de 0-40 cm. Entre as camadas de 40-100 cm é possível observar, principalmente, na camada de 40-60 cm, pequeno aumento do estoque de C do solo, efeito causado pela junção das camadas abaixo de 40 cm (40-60; 60-80 e 80-100 cm), ocasionando, em maior estoque de C, chegando, inclusive, a valores próximos dos estoques observados na camada de 0-20 cm (Tabela 7).

Ainda, em Pernambuco, os estoques de C na camada de 0-10 cm no engenho Cumbe após a mudança de uso do solo foram de 31,09 e 25,90 Mg C ha⁻¹ em floresta ombrófila e cana-de-açúcar, respectivamente, ocasionando redução de 16 % do estoque de C do solo. Leite et al. (2003) relataram redução dos estoques de COT quando na conversão de florestas nativas por sistemas agrícolas, devido ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da matéria orgânica e oxidação do COT e, às menores quantidades de aportes orgânicos em sistemas manejados comparativamente às florestas nativas.

No engenho Piedade, houve incremento do estoque de C do solo de 18 %, com resultado superior para cana-de-açúcar (Tabela 7). Essa diferença no estoque de C, em superfície (0-10 cm), em favor da cana-de-açúcar, pode ter sido influenciada, possivelmente, pelas aplicações sucessivas de resíduo agroindustrial (composto a base de torta de filtro), por longos períodos, elevando a concentração de C na camada superficial do solo. Desta forma, áreas que recebem grandes quantidades de resíduos, podem ter seus estoques de carbono aumentados comparativamente as áreas que não recebem e, conseqüentemente, apresentam potencial de sequestro de carbono, assim como melhorias das qualidades químicas do solo (RESCK et al., 2008; ROSSET et al., 2014).

Os estoques de C em áreas cultivadas com cana-de-açúcar recebem influência, entre outros fatores, da textura e do manejo do solo, além da aplicação de fertilizantes minerais (inorgânicos) e orgânicos como a aplicação de vinhaça e torta de filtro (GALDOS et al., 2009).

Os estoques de C, considerando até 100 cm, variaram em Floresta ombrófila de 16,63 a 31,09 Mg C ha⁻¹ e de 16,73 a 29,75 Mg C ha⁻¹ nos engenhos Cumbe (Argissolo Vermelho Amarelo-PVA) e Piedade (Latosolo Vermelho Amarelo-LVA), respectivamente, ambos de textura média. Em cana-de-açúcar as variações foram de 14,30 a 25,90 Mg C ha⁻¹ e de 18,11 a 36,46 Mg C ha⁻¹, respectivamente, nos engenhos Cumbe e Piedade (Tabela 7).

Tabela 7. Estoques médios (n=3) totais de carbono (Mg ha⁻¹) em solos sob Floresta Ombrófila Densa e Cana-de-açúcar em Pernambuco e Alagoas na profundidade de 0-100 cm.

Pernambuco				
Argissolo Vermelho-Amarelo			Latossolo Vermelho-Amarelo	
Engenho Cumbe		Engenho Piedade		
Prof. (cm)	Flor. Om. Mg ha ⁻¹	Cana-de-açúcar Mg ha ⁻¹	Flor. Om. Mg ha ⁻¹	Cana-de-açúcar Mg ha ⁻¹
0-10	31,09A	25,90B	29,75B	36,46A
10-20	27,09A	21,53B	26,98A	26,64A
20-30	23,48A	17,66B	25,62A	22,27A
30-40	17,84A	14,30A	16,73A	18,11A
40-60	23,86A	20,41A	24,51A	26,23A
60-80	18,66A	17,96A	20,05A	23,54A
80-100	16,63A	16,62A	18,07A	20,67A
CV%^{*2}	12,47		11,61	
Alagoas				
Argissolo Vermelho-Amarelo				
Engenho Miai de Baixo		Engenho Topless		
0-10	28,29A	22,86A	38,07A	40,63A
10-20	26,27A	26,10A	15,19B	27,85A
20-30	16,50A	21,48A	17,08A	19,79A
30-40	17,03A	19,89A	15,59A	14,27A
40-60	29,80A	32,09A	30,41A	26,58A
60-80	25,59B	38,40A	26,53A	22,60A
80-100	24,42B	39,15A	21,60A	16,84A
CV%^{*2}	27,13		14,21	

¹Flor. Om. Densa: Floresta Ombrófila Densa; CV%² Coeficiente de variação em Mg ha⁻¹ entre usos do solo; Letras maiúsculas na linha comparam os usos dentro de cada local considerando o mesmo elemento. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Com a mudança de uso do solo, analisando a profundidade de 0-30 cm, no engenho Cumbe, o estoque de C para floresta foi superior estatisticamente (P<0,05) em comparação à cana-de-açúcar, onde, foi observado resultado estatístico contrário na camada de 0-10 cm, no engenho Piedade (Tabela 7).

Considerando o estoque médio de C na camada de 0-40 cm em Floresta ombrófila e cana-de-açúcar, com resultados de 99,29 e 91,43 Mg C ha⁻¹, respectivamente, nos engenhos Cumbe (PVA) e Piedade (LVA). Isso representa redução de 8 % no estoque de C do solo. Aproximadamente 62 e 59% do C foi encontrado até a profundidade de 0-40cm em floresta ombrófila e cana-de-açúcar, respectivamente, em razão da maior quantidade de resíduos, nutrientes e atividade biológica observados nessas camadas.

Em solos cujo manejo não inclui a deposição da palhada, além de não possibilitar aumento do teor e estoque de C no solo, no momento da reforma possibilita perdas

significativas por erosão, sendo a MO carregada com as partículas do solo (GALDOS, 2007). Ao contrário do verificado no presente estudo, a adição da palhada e a ausência de queima na despalha com fogo possibilitam prolongar de 4 para 8 anos de cultivo sem renovação da cana-de-açúcar. Este manejo possibilitou maior incremento nos teores e estoque de C, uma vez que parte do C poderia ser perdido durante a reforma do canavial quando o solo seria preparado para o plantio do próximo ciclo por meio de aração, gradagem e subsolagem (CANELLAS et al., 2003).

Analisando em subsuperfície (40-100 cm), os estoques médios nos engenhos Cumbe e Piedade foram de 60,89 e 62,71Mg C ha⁻¹, respectivamente, incremento de 2,9 % de C em área de cana-de-açúcar em profundidade (Tabela 7). Dando continuidade, os estoques de C ao considerarmos a camada subsuperficial (40-100 cm), nos engenhos Cumbe e Piedade, valores médios indicam resultados superiores para cana-de-açúcar em comparação aos de Floresta ombrófila densa. Para Oliveira et al. (2008), nas camadas mais profundas o estoque de C contribui de forma mais estável para o acúmulo deste elemento no solo, o que pode ser explicado pelo menor efeito dos fatores climáticos, por fatores inerentes de resíduos aplicados, e pela menor chance de perturbação do solo.

Em 100 cm de profundidade, em Floresta ombrófila, foi verificado estoque total de 158,65 e 161,71Mg C ha⁻¹, respectivamente, nos engenhos Cumbe e Piedade. Em cana-de-açúcar, os estoques totais foram de 134,38 e 173,92Mg C ha⁻¹, respectivamente, nos engenhos Cumbe e Piedade. Um ponto importante que deve ser levado em consideração é que ao compararmos os estoques totais de C (0-100 cm) entre os engenhos Cumbe e Piedade, os maiores estoques de C em Floresta ombrófila e cana-de-açúcar estão localizados no engenho Piedade, ambos os solos de textura média. Esse efeito pode ter sido causado pela declividade acentuada que o engenho Cumbe apresentava, não permitindo dessa forma um maior acúmulo de MO na superfície do solo, principalmente, do resíduo do composto a base de torta de filtro aplicado pela usina e, também, da perda de parte da serapilheira da Floresta ombrófila através do carreamento deste material até áreas mais baixas, conseqüentemente, perdendo pelo escoamento superficial no solo uma parte desse material.

Dando seqüência, entre as áreas de Floresta ombrófila, o engenho Piedade foi o que mais estocou C, sendo que a maior contribuição para esse estoque foi do C depositado a partir de 30 cm de profundidade. A entrada de C no solo em profundidade é devido a alguns fatores, como: MO dissolvida, produtos radiculares (biomassa, exsudados) e partículas transportadas da superfície (KALBITZ et al., 2005). O C estocado em

profundidade em Floresta ombrófila é devido a MO mineralizada que foi sendo depositada na superfície na sua fase de desenvolvimento, que foi sendo carregada para o subsolo ao longo dos anos (FERNANDES et al., 2007). Diversos autores afirmam, porém, que o C estocado em profundidade é em grande parte composto por C radicular, configurando-se como a principal entrada de C nas camadas mais profundas do solo (SCHMIDT et al., 2011; SIX et al., 2002). As raízes são as principais responsáveis pelo depósito de C em profundidade nos solos, devido ao seu material ser muito lignificado, o que leva a uma decomposição mais lenta que outras biomassas depositadas no solo, contribuindo para o estoque de COS em profundidade (NAIR et al, 2009).

O resultado superior em cana-de-açúcar comparado à Floresta ombrófila, no engenho Piedade, se deve, principalmente, a incorporação de resíduo da agroindústria (Vide Anexo A e 2), destacada no presente estudo, fazendo elevar as concentrações e os estoques de C do solo na camada superficial. Outro fator importante e condição que deve ser considerada para o aumento desse estoque nas camadas iniciais (0-30 cm) em área de cana-de-açúcar é a participação das gramíneas como fator chave, tendo em vista a sua eficiência na incorporação de MO no solo, atribuída à constante deposição de biomassa pelo seu sistema radicular e uniforme distribuição dos exsudados no solo (OLIVEIRA et al, 2016), podendo chegar a estocar mais COS, que outros sistemas agrícolas, devido à menor erosão superficial e deposição mais elevada de resíduos na superfície do solo (LAL, 2003).

Em Alagoas, ocorreu redução dos estoques de C com o aumento da profundidade do solo, especificamente na camada de 0-40 cm. Na camada de 40-60 cm de profundidade os valores de estoques de C do solo são próximos, ou mesmo superiores (engenho Miai de Baixo, floresta e cana-de-açúcar) aos estoques da camada superficial (0-10 cm). Esse efeito decorre do somatório das camadas abaixo de 40 cm (40-60; 60-80 e 80-100 cm), evidenciando maior estoque de C do solo (Tabela 7).

O resultado do estoque de C apresentado na camada superficial (0-10 cm) foi superior para floresta ombrófila (28,29 Mg C ha⁻¹) em comparação à cana-de-açúcar (22,86 Mg C ha⁻¹) no engenho Miai de Baixo, com redução de 19 % após a mudança de uso do solo. Na camada de 0-10 cm, além da serapilheira, as raízes passam a ter um importante papel na adição de C ao solo, como relatado por Bayer et al. (2011), normalmente apresentam uma conversão maior do C adicionado em à MOS, em comparação com a biomassa da parte aérea. Uma possível resposta para o estoque de C na camada 0-10 cm verificado em floresta ombrófila (Miai de Baixo), seria, portanto,

resultado da estabilização bioquímica, devido à baixa degradabilidade de constituintes inacessíveis acumulados no solo nas áreas de floresta ombrófila (SIX et al. 2000; SIX et al., 2002; DICK et al., 2009). Quando o ecossistema natural é substituído por uma cultura submetida ao manejo intensivo, como a cana-de-açúcar que expõe o solo, os estoques de COT do solo tendem a decrescer em relação ao sistema natural (CERRI, 1986).

Resultado contrário foi verificado no engenho Topless na camada de 0-10 cm, onde houve incremento de 6 % no estoque de C do solo em cana-de-açúcar (Tabela 7). Esses resultados guardam certa aproximação, em virtude, das aplicações sucessivas de resíduo agroindustrial (torta de filtro – Vide Anexo C), por longos períodos nas áreas de cana-de-açúcar avaliadas, devendo-se ao fato de a maior parte desses resíduos orgânicos permanecerem depositados na superfície do solo (FREIXO et al., 2002; SILVA et al., 1994), contribuindo para elevar os estoques de C no solo.

Considerando todo o perfil do solo (0-100 cm), os estoques de C em Floresta ombrófila variaram de 16,50 a 29,80 Mg C ha⁻¹ e de 15,59 a 38,07 Mg C ha⁻¹ nos engenhos Miai de Baixo e Topless, respectivamente, ambos apresentando textura arenosa. Em cana-de-açúcar as variações foram de 19,89 a 39,15 Mg C ha⁻¹ e de 14,27 a 40,63 Mg C ha⁻¹, respectivamente, nos engenhos Miai de Baixo e Topless (Tabela 7).

Ocorreu diferença estatística ($P < 0,05$) superior para cana-de-açúcar no engenho Topless na camada de 10-20 cm. Resultado similar foi verificado na camada de 60-100 cm no engenho Miai de Baixo (Tabela 7). Os demais resultados não foram significativos. Os estoques de C do solo mais elevados em profundidade em área de cana-de-açúcar podem ser interpretados como uma influência direta dos resíduos vegetais provenientes do efeito da decomposição das raízes em profundidade oriundas da mata originalmente estabelecida e do efeito da junção das camadas. Essa variação pode estar ligada a variabilidade espacial do solo, no entanto, poderá ser também reflexo do acúmulo contínuo de C procedente da Floresta ombrófila, oriundos possivelmente da decomposição das raízes mais finas. Uma hipótese seria a de que estas raízes levam maior tempo para decompôr e o C presente nelas poderia enriquecer os horizontes mais profundos do solo, conseqüentemente elevando as concentrações e estoques desses elementos (BAYER et al., 2011). Os solos raramente estão em equilíbrio, em virtude das flutuações frequentes ligadas ao crescimento das plantas e das entradas, decomposição e mineralização do C das florestas, demonstrando a importância da manutenção e preservação desses ecossistemas naturais como forma de manutenção dos estoques de carbono orgânico (WATZLAWICK et al., 2012).

Considerando o estoque médio de C na camada de 0-40 cm em cana-de-açúcar ($96,43 \text{ Mg C ha}^{-1}$) nos engenhos Miai de Baixo e Topless, comparado ao estoque médio de C em floresta ombrófila ($87,01 \text{ Mg C ha}^{-1}$), sendo observado incremento de 9 % no estoque de C do solo (Tabela 7) com a mudança de uso do solo. Normalmente a substituição da vegetação nativa por cultivos anuais demonstram efeito contrário ao observado no atual estudo, onde verifica-se redução do estoque de C no solo (FELLER et al., 1991). Em trabalho realizado por Leite (2002), os estoques de C orgânico total foram diminuídos após a mudança de uso e cobertura da terra (Floresta Atlântica para a agricultura), corroborando com as informações do atual estudo. Em linhas gerais, os estoques de C são influenciados por fatores como o clima, tipo de vegetação, textura do solo (DIECKOW et al., 2009), manejo do solo, principalmente tipo de preparo (BAYER et al., 2006), entrada de material orgânico (CAMPOS et al., 2011a; FIORENTIN et al., 2015) e adubações nitrogenadas (URQUIAGA et al., 2010), além do tempo da conversão do uso do solo.

Em trabalho realizado por Coutinho et al., (2010) em Latossolo Vermelho-Amarelo na profundidade de 0-100 cm, constatou que 60 % do C estava estocado na camada de 0-40 cm do solo. No presente estudo, aproximadamente 66 % do C está estocado na camada de 0-40 cm nas áreas de Floresta ombrófila e 62 % em cana-de-açúcar (Tabela 7). Os maiores estoques de C na camada de 0-40 cm estão relacionados a maior quantidade de resíduos depositados na superfície do solo, nutrientes e a maior atividade biológica observadas nas camadas iniciais dos solos (BAYER et al., 2011; SIX et al., 2000).

O estoque médio de C na camada de 40-100 cm, em cana-de-açúcar ($87,83 \text{ Mg C ha}^{-1}$) nos engenhos Miai de Baixo e Topless foi superior em 10 % comparado ao de Floresta ombrófila ($79,17 \text{ Mg C ha}^{-1}$). A ciclagem mais rápida nos solos tropicais tende a uma estabilização maior de compostos de C mais recalcitrantes, justificando os elevados valores de C do solo sob cana-de-açúcar em profundidade (SIX et al., 2002). Por outro lado, nas camadas mais profundas o estoque de C contribui de forma mais estável para o acúmulo deste elemento no solo, o que pode ser explicado pelo menor efeito dos fatores climáticos, por fatores inerentes de resíduos aplicados, e pela menor chance de perturbação do solo (OLIVEIRA et al., 2008). No engenho Topless, considerando a camada de 40-100 cm, o estoque de C em Floresta ombrófila ($78,53 \text{ Mg C ha}^{-1}$) foi superior em 16 % comparado ao de cana-de-açúcar ($66,02 \text{ Mg C ha}^{-1}$). Esse resultado confirma a entrada de C no solo em profundidade em floresta ombrófila, principalmente,

devido as raízes sendo decomposta lentamente (NAIR et al., 2009), e a ciclagem mais rápida nos solos tropicais, proporcionado uma estabilização maior de compostos de C mais recalcitrantes (SIX et al., 2002).

Os estoques totais de C (0-100 cm), nos engenhos Miai de Baixo e Topless, em floresta ombrófila foram, respectivamente de 167,90 e 164,47 Mg C ha⁻¹. Em cana-de-açúcar, os estoques totais foram de 199,97 e 168,56 Mg C ha⁻¹, registrando, portanto, aumento de 16 % no estoque de C do solo e redução de 2 % após a mudança de uso do solo, correspondendo, respectivamente aos engenhos Miai de Baixo e Topless (Tabela 7).

Áreas que recebem quantidades significativas de resíduos, geralmente, têm seus estoques de carbono elevados quando comparados com áreas que não receberam, logo, proporcionando potencial de sequestro de carbono, de tal modo que implica em melhorias das qualidades químicas do solo (RESCK et al., 2008; ROSSET et al., 2014).

As mudanças de uso do solo relacionadas à conversão de ecossistemas florestais em áreas de agricultura (cana-de-açúcar) têm ocasionado redução de 42% no estoque de C dos solos. Nestes casos, quando a profundidade de amostragem é superior aos 60 cm, as reduções detectadas são diminuídas (GUO e GUIFORD, 2002), indicando que as perdas em profundidade são menores ou mais lentas, uma vez que os impactos relacionados ao preparo do solo são diminuídos. Assim, o reservatório de C em profundidade passa a contribuir significativamente para o armazenamento deste elemento no solo (INÁCIO, 2009).

Em estudo sobre a distribuição das frações do COS sob distintos uso e manejo do solo, Tan et al. (2007) encontraram proporções que indicavam que a perda do C após a conversão de floresta para agricultura deveu-se a uma redução em ambas as frações do C, leve e pesada. Enquanto o ganho de C com a conversão do preparo convencional para o plantio direto foi atribuído principalmente à fração leve. Isto é, existe um material que, como os próprios autores definiram, representa um reservatório intermediário entre os resíduos não decompostos e a MOS humificada. Um material com poucas possibilidades de aumentar rapidamente a CTC dos solos, pois é a fração pesada que exerce grande influência na reatividade dos solos (DICK et al., 2009).

Os estoques de C contidos nos solos sob vegetação nativa sofrem modificações quando esses sistemas são convertidos ao uso agrícola. Dependendo do sistema de manejo empregado esses estoques podem permanecer iguais, aumentar ou diminuir em relação ao sistema natural (Floresta ombrófila).

4.4 ESTOQUES DE N EM SOLOS SOB FLORESTA E CANA-DE-AÇÚCAR EM PERNAMBUCO E ALAGOAS

A distribuição do estoque de N em profundidade seguiu o mesmo padrão de redução do estoque de C entre as camadas de 0-40 cm e de 40-100 cm. Observa-se que na camada de 40-60 cm ocorre aumento dos estoques de N do solo, efeito causado pela junção das camadas abaixo de 40 cm (40-60; 60-80 e 80-100 cm), acarretando em valores de estoques de N próximos dos observados na camada de 0-20 cm (Tabela 8).

Tabela 8. Estoques médios (n=3) totais de nitrogênio (Mg ha^{-1}) em solos sob Floresta Ombrófila Densa e Cana-de-açúcar em Pernambuco e Alagoas na profundidade de 0-100 cm.

Pernambuco				
Argissolo Vermelho-Amarelo			Latosolo Vermelho-Amarelo	
Engenho Cumbe			Engenho Piedade	
Prof. (cm)	Flor. Om. Mg ha^{-1}	Cana-de-açúcar Mg ha^{-1}	Flor. Om. Mg ha^{-1}	Cana-de-açúcar Mg ha^{-1}
0-10	1,55A	1,79A	2,48A	2,88A
10-20	2,09A	1,58B	2,17A	2,05A
20-30	1,86A	1,37B	2,00A	1,78A
30-40	1,42A	1,15B	1,27A	1,61A
40-60	1,95A	1,69A	1,88A	2,25A
60-80	1,60A	1,58A	1,44A	1,89A
80-100	1,47A	1,42A	1,28A	1,75A
CV%^{*2}	11,21		17,56	
Alagoas				
Argissolo Vermelho-Amarelo				
Engenho Miai de Baixo			Engenho Topless	
0-10	1,35A	1,13A	1,94A	2,10A
10-20	1,27A	1,28A	0,96B	1,58A
20-30	1,34A	1,06A	1,12A	1,11A
30-40	1,26A	1,04A	1,17A	1,18A
40-60	2,30A	2,07A	2,16A	2,07A
60-80	2,22A	1,87A	1,77A	1,58A
80-100	2,16A	2,02A	1,40A	1,26A
CV%^{*2}	35,75		26,70	

¹Flor. Om. Densa: Floresta Ombrófila Densa; CV%² Coeficiente de variação em Mg ha^{-1} entre usos do solo; Letras maiúsculas na linha comparam os usos dentro de cada local considerando o mesmo elemento. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Ainda, em Pernambuco, os estoques de N na camada de 0-10 cm no engenho Cumbe após a mudança de uso do solo foram de 1,55 e 1,79 Mg N ha^{-1} em Floresta ombrófila e cana-de-açúcar, respectivamente, ocasionando aumento de 13 % do estoque de N do solo (Tabela 8). No engenho Piedade, o incremento observado do estoque de N

na mesma camada do solo foi de 14 %, com resultado superior em cana-de-açúcar (2,88 Mg N ha⁻¹) comparado ao resultado de Floresta ombrófila (2,48 Mg N ha⁻¹).

Como pode ser observado neste estudo, o aumento dos estoques de N em cana-de-açúcar observados na camada inicial (0-10 cm) guarda certa aproximação, em virtude, das aplicações sucessivas de resíduo agroindustrial (composto a base de torta de filtro – Anexo A e 2) e por longos períodos de tempo.

Os estoques de N em áreas cultivadas com cana-de-açúcar recebem influência, entre outros fatores, da textura e do manejo do solo, além da aplicação de fertilizantes minerais (inorgânicos) e orgânicos como a aplicação de vinhaça e torta de filtro (GALDOS et al., 2009), devendo-se, ainda, ao fato de que a maior parte dos resíduos orgânicos incorporados ao solo permanecerem depositados na superfície do solo (FREIXO et al., 2002; SILVA et al., 1994), contribuindo para o aumento do conteúdo de MOS, elevando os estoques de N na camada superficial do solo.

Considerando todo o perfil do solo (0-100 cm), os estoques de N variaram em Floresta ombrófila de 1,42 a 2,09 Mg N ha⁻¹ e de 1,27 a 2,48 Mg N ha⁻¹ nos engenhos Cumbe (PVA) e Piedade (LVA), respectivamente. Em área de Floresta ombrófila, de maneira geral, foi observado maior estoque de N nas camadas iniciais (0-30 cm), onde, a MOS (presença da serapilheira) é muito importante na determinação dos estoques de N e está concentrada em camadas mais próximas à superfície, influenciando em maiores concentrações e estoques de nitrogênio no solo. Em cana-de-açúcar as variações foram de 1,15 a 1,79 Mg N ha⁻¹ e de 1,61 a 2,88 Mg N ha⁻¹, respectivamente, nos engenhos Cumbe e Piedade, ambos de textura média, analisando a camada de 0-100 cm (Tabela 8).

Em estudo de campo, Signor (2010), avaliando estoque de N na camada de 0-100 cm em solo cultivado com cana-de-açúcar, colhidas com queima, verificou variação dos estoques entre 0,97 e 2,22 Mg N ha⁻¹, considerando que 72 % do N estocado no solo se encontrava na camada inicial (0-40 cm) do solo. No presente estudo foi verificado resultado um pouco abaixo (57 % do N do solo), analisando o estoque de N na camada de 0-40 cm, em Pernambuco.

Não houve diferença estatística (P<0,05) dos estoques de N entre os usos do solo no engenho Piedade. No engenho Cumbe foi observada diferença estatística significativa (P<0,05) na camada de 10-40cm, com resultado superior em Floresta ombrófila (Tabela 8). Os estoques médios de N na camada de 0-40 cm em Floresta ombrófila e cana-de-açúcar foram de 7,42 e 7,10 Mg N ha⁻¹, respectivamente, nos engenhos Cumbe e Piedade, representando redução de 4 % no estoque de N do solo após mudança de uso do solo.

As respostas para a redução dos estoques de N do solo estão ligadas ao uso excessivo do solo, com práticas de manejo de uso do solo intensivas, como a aração e gradagem, que expõem a MOS com a quebra dos macroagregados do solo e aumento na intensidade e no número de ciclos úmidos e secos (SYERS & CRASWELL, 1994; GRAHAM et al., 2002a; SIX et al., 2004).

Outro fator de aumento na mineralização da MOS de solos cultivados é a entrada de maior quantidade de O₂, criando um ambiente mais oxidativo e favorecendo a atividade microbiana (REICOSKY, 2002). Também foi possível verificar redução nos estoques de N do solo na camada de 0-40 cm em cana-de-açúcar, com manejo utilizando fogo no processo de despalhada (LUCA et al., 2008), reduzindo o aporte de MO no solo.

Por outro lado, analisando em subsuperfície (40-100 cm), os estoques médios de N nos engenhos Cumbe e Piedade foram de 4,81 e 5,29 Mg N ha⁻¹, respectivamente, incremento de 9 % no estoque de N do solo em área de cana-de-açúcar (Tabela 8).

Lovato et al. (2004) e Diekow et al. (2005), observaram maiores estoques de N-total em sistemas de culturas com gramíneas. Para Dalal et al. (2003), semelhante ao que ocorre com a dinâmica de acúmulo de CO no solo, o N-total é determinado pela relação entre a taxa de adição de N ao solo e a de perda. Sendo assim, os maiores estoques de N nos sistemas com gramíneas e algumas oleaginosas é devido à maior entrada de N no sistema solo-planta, o qual é proveniente da FBN realizada pela simbiose dos vegetais.

Em 100 cm de profundidade, em floresta ombrófila, foi verificado estoque total de 11,94 e 12,52 Mg N ha⁻¹, respectivamente, nos engenhos Cumbe e Piedade. Em cana-de-açúcar, os estoques totais de N no solo foram de 10,58 e 14,21 Mg N ha⁻¹, respectivamente, nos engenhos Cumbe e Piedade. É possível observar, maiores estoques de N em Floresta ombrófila e cana-de-açúcar no engenho Piedade comparado aos estoques de N do engenho Cumbe.

Ambos os solos, tanto no engenho Cumbe (Argissolo Vermelho-Amarelo), quanto no engenho Piedade (Latosolo Vermelho-Amarelo) apresentaram textura média. Mas neste estudo, visto que, o grau acentuado de declividade do solo no engenho Cumbe, provavelmente não permitiu acúmulo de MO na superfície do solo, principalmente, do resíduo do composto a base de torta de filtro aplicado pela usina, facilitando, dessa forma, o carreamento deste material até as áreas mais baixas, tanto em área de floresta ombrófila quanto em cana-de-açúcar, ocasionando, uma conseqüente perda pelo escoamento superficial no solo desse material (ROSA et al., 2014).

O mesmo comportamento de redução em profundidade do estoque de N do solo em Pernambuco, também foi constatado em Alagoas, entre as camadas de 0-40 cm e de 40-100 cm. A semelhança do que ocorre com o estoque de C, há diminuição no conteúdo de N em função da profundidade do solo (BERNOUX et al., 1999). Na camada de 40-60 cm os valores dos estoques de N foram superiores aos da camada superficial (0-10 cm), em ambos os engenhos (Tabela 8). Esse efeito decorre da união (soma) das camadas abaixo de 40 cm (40-60; 60-80 e 80-100 cm).

Analisando a camada de 0-10 cm, em Alagoas, o estoque de N do solo no engenho Miai de Baixo após a mudança de uso do solo reduziu em 16 %, passando de 1,35 Mg N ha⁻¹ para 1,13 Mg N ha⁻¹. Normalmente a substituição da vegetação nativa por cultivos anuais têm conduzido a uma redução do estoque de N no solo (FELLER et al., 1991). Em trabalho realizado por Leite (2002), os estoques de N total foram diminuídos após a mudança de uso e cobertura da terra (Floresta Atlântica para a agricultura), corroborando com as informações do atual estudo.

Porém, no engenho Topless, houve incremento do estoque de N no solo de 7 %, com resultado superior em cana-de-açúcar (2,10 Mg N ha⁻¹) comparado ao resultado de Floresta ombrófila (1,94 Mg N ha⁻¹). Uma possível resposta para o estoque de N na camada 0-10 cm verificado em floresta ombrófila (Topless), seria, portanto, resultado da estabilização bioquímica, devido à baixa degradabilidade de constituintes inacessíveis acumulados no solo nas áreas de floresta ombrófila (SIX et al. 2000; SIX et al., 2002; DICK et al., 2009).

Outra resposta voltada para o maior estoque de N do solo observado na camada superficial em área de cana-de-açúcar, seria, portanto, a entrada contínua da torta de filtro (Anexo C). O nitrogênio existente na torta de filtro é liberado de forma gradativa, por mineralização e por ataque de microrganismos no solo (SANTOS et al., 2010), sendo depositada na camada superficial do solo e favorecendo a entrada de MOS, sendo mineralizada por longo período de tempo. Somado a isso, há a possibilidade da forte influência das raízes da cana-de-açúcar na camada superficial do solo.

A torta de filtro, segundo Rossetto & Dias (2005), quando incorporada ao solo, em doses elevadas, apresenta propriedades corretivas da acidez do solo, devido aos efeitos quelantes da matéria orgânica sobre o alumínio. Por ser um material orgânico, a torta de filtro mostra elevada capacidade de retenção de água a baixas tensões e esta propriedade contribui tanto para aumentar a produtividade da cana-de-açúcar, especialmente em

regime não irrigado, como para assegurar melhor brotação em plantios realizados em épocas desfavoráveis.

As variações em Floresta ombrófila dos estoques de N em todo o perfil do solo (0-100 cm) foram de 1,26 a 2,30 Mg N ha⁻¹ e de 1,12 a 2,16 Mg N ha⁻¹ nos engenhos Miai de Baixo e Topless, respectivamente. Já em cana-de-açúcar, as variações dos estoques de N no solo foram de 1,04 a 2,07 Mg N ha⁻¹ e de 1,11 a 2,10 Mg N ha⁻¹, respectivamente, em Miai de Baixo e Topless (Tabela 8). Os resultados do presente estudo estão em concordância com os resultados encontrados em Signor (2010), que avaliou os estoques de N em profundidade (0-100 cm), em área de cana-de-açúcar, com a despalha sendo realizada com fogo (variação entre 0,97 e 2,22 Mg N ha⁻¹).

Não foi verificada diferença estatística ($P < 0,05$) entre os usos do solo nos estoques de N no engenho Miai de Baixo, considerando a camada de 0-100 cm. No engenho Topless, na camada de 10-20 cm houve diferença significativa ($P < 0,05$) no estoque de N, apontando resultado superior em cana-de-açúcar (Tabela 8).

Em termos de valor, analisando os valores dos estoques de N entre Floresta ombrófila (10,41 Mg N ha⁻¹) e cana-de-açúcar (10,48 Mg N ha⁻¹) na camada de 0-40 cm, foi verificado que houve incremento de 0,7 % com o cultivo da cana-de-açúcar, considerando os engenhos Miai de Baixo e Topless.

Esses resultados se confirmam e esse efeito no aumento do estoque de NT nos solos nas áreas de cana-de-açúcar estão associados, possivelmente, ao maior volume de resíduos adicionados ao solo (torta de filtro – Anexo C), principalmente no engenho Topless e, também, aos maiores estoques de CO nesses sistemas verificados na tabela 7, onde, o maior armazenamento de CO implica em maior disponibilidade de NT, uma vez que mais de 95 % do NT do solo está presente na forma orgânica (CAMARGO et al., 1999).

Por outro lado, foi verificado em sub superfície (40-100 cm), nos engenhos Miai de Baixo e Topless redução de 9,5 % no estoque de N do solo, isto é, após a mudança de uso do solo, apresentando valores de 12,01 e 10,87 Mg N ha⁻¹, respectivamente, em Floresta ombrófila e cana-de-açúcar (Tabela 8).

Os estoques totais de N no solo (0-100 cm) verificados em floresta ombrófila foram de 11,90 e 10,52 Mg N ha⁻¹, respectivamente, nos engenhos Miai de Baixo e Topless. Em cana-de-açúcar, os estoques totais foram de 10,47 e 10,88 Mg N ha⁻¹, respectivamente, nos engenhos Miai de Baixo e Topless (Tabela 8). No engenho Topless,

em cana-de-açúcar, o estoque total de N no solo foi superior (3,3 %) ao de floresta ombrófila devido ao aporte de resíduo (torta de filtro) destinado na área.

Segundo Korndorfer & Anderson (1997), a torta de filtro promove alterações significativas nos atributos químicos do solo, tais como aumento na disponibilidade de fósforo, cálcio e nitrogênio, aumento nos teores de carbono orgânico e capacidade de troca de cátions e, ainda, diminuição nos teores de alumínio trocáveis.

Especificamente em relação ao aumento dos estoques totais de N no solo, este poderá ocorrer através da fixação biológica atmosférica, pelas chuvas ou pela adubação orgânica e mineral. Enquanto que as perdas ocorrem devido à exportação pelas culturas, lixiviação, erosão e volatilização (SCHULTEN; SCHNITZER, 1998).

4.5 RELAÇÃO C/N NOS SOLOS

A relação C:N do solo sob floresta ombrófila (engenho Cumbe e Miai de baixo) apresentou alta variação nos primeiros 40 cm e nas camadas inferiores (40-100 cm), e, também, em cana-de-açúcar, em Alagoas (Tabela 9).

A relação C/N é um indicador do grau de decomposição e qualidade da matéria orgânica no solo. A tendência geral sugere uma diminuição na relação C/N com o aumento da profundidade, o que reflete em grau mais avançado da matéria orgânica armazenada nas partes inferiores do solo (BATJES, 1996). A MOS apresenta uma relação C/N bastante estável, variando de 8 a 14, quando ocorre a estabilização da MOS (húmus). Essa característica está diretamente relacionada ao tipo de solo, clima e vegetação. Áreas sob florestas e cultivos agrícolas apresentam valores de relação C/N em torno de 12 (BATJES, 1996).

Os valores calculados situaram-se no intervalo previsto para a relação C/N da matéria orgânica dos solos (DICK et al., 2009), com média geral de 13 e 15, em Pernambuco e Alagoas, respectivamente, de relação C:N. Em geral, os resultados de nitrogênio seguiram a mesma tendência do carbono orgânico no solo.

O efeito do fogo na cana-de-açúcar sob as concentrações de nitrogênio orgânico no solo tem relação com os dados da relação C/N relativamente altos verificados nas áreas canavieiras, sobretudo de Alagoas (Tabela 9), mais evidentes nas três primeiras profundidades (0-10, 10-20 e 20-30 cm). Isso se deve, possivelmente, à queima da palhada da cana-de-açúcar, onde são perdidos aproximadamente 50 kg N ha⁻¹ano⁻¹ (URQUIAGA et al., 1991).

Tabela 9. Relação C/N sob diferentes usos do solo na profundidade de 0-100 cm em áreas de Floresta Ombrófila Densa e Cana-de-açúcar.

Pernambuco				
Argissolo Vermelho-Amarelo			Latossolo Vermelho-Amarelo	
Engenho Cumbe		Engenho Piedade		
Prof. (cm)	¹ Flor. Om. Densa	Cana-de-açúcar	Flor. Om. Densa	Cana-de-açúcar
0-10	20,06A	14,48B	12,01A	12,97A
10-20	12,95B	13,64A	12,43A	13,17A
20-30	12,63A	12,87A	12,87A	12,63A
30-40	12,53A	12,37A	13,14A	11,76A
40-60	12,23A	11,77A	13,02A	11,98A
60-80	11,61A	11,41A	13,97A	12,71A
80-100	11,31A	11,76A	12,61A	11,17A
CV%^{*2}	22,67	8,89	4,82	5,86
Alagoas				
Argissolo Vermelho-Amarelo – PVA				
Engenho Miai de Baixo		Engenho Topless		
0-10	21,03A	20,19A	22,23A	19,32A
10-20	21,06A	20,24A	15,27A	17,61A
20-30	13,55B	20,20A	15,56A	17,86A
30-40	14,65A	19,14A	13,61A	12,06A
40-60	13,97A	16,67A	14,25A	13,36A
60-80	12,72A	14,63A	15,06A	15,85A
80-100	12,41B	12,70A	15,65A	14,68A
CV%^{*2}	24,16	17,35	17,97	16,55

¹Flor. Om. Densa: Floresta Ombrófila Densa; Letras minúsculas na coluna comparam as camadas do solo dentro de cada uso isoladamente e letras maiúsculas na linha comparam os usos em cada local. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

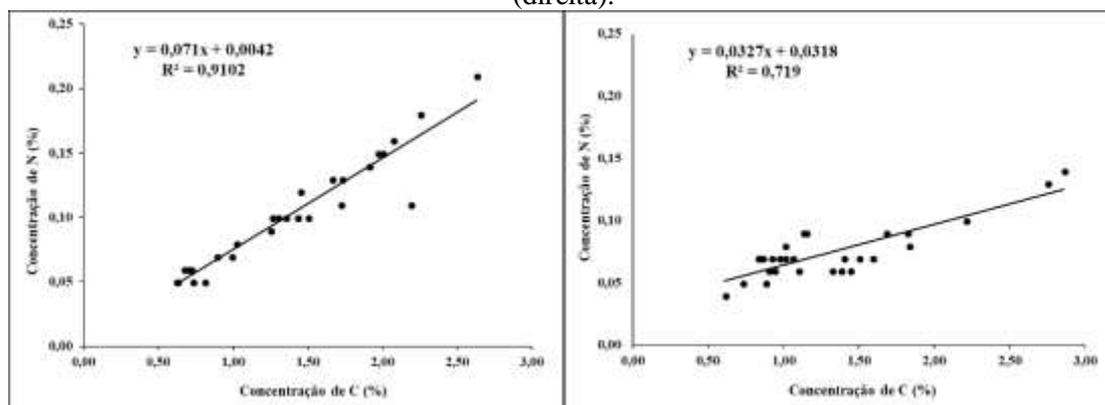
Ao comparar a relação C/N com base no uso do solo, observa-se que não houve diferença estatística ($P < 0,05$) entre Floresta ombrófila e cana-de-açúcar, com exceção para Cumbe nas camadas de 0-10 e 10-20 cm; e no engenho Miai de Baixo nas camadas 20-30 e 80-100 cm, apresentando resultados estatísticos superiores em cana-de-açúcar. Ainda em Miai de baixo (cana-de-açúcar), foi possível observar uma manutenção dos resultados entre as camadas de 0-30 cm da relação C/N, ocorrendo declínio entre as camadas de 30 a 60 cm com valores próximos e posteriormente redução da relação C/N a partir da camada 60-100 cm de profundidade. Estes resultados indicam maior grau de decomposição do solo sob uso agrícola (cana-de-açúcar), como também ser devido às diferenças no aporte e na composição química dos resíduos vegetais adicionados ao solo sob cana-de-açúcar (torta de filtro – Anexo C), principalmente, relacionada as concentrações de C e N (Tabela 9).

Este resultado também pode ser atribuído ao efeito da adição de resíduos com alta relação C/N ao solo, em profundidade, ou mesmo, pela coleta de algumas amostras terem sido realizadas próximas ao sistema radicular remanescente de Floresta ombrófila. Outra vertente é que essas diferenças, são decorrentes da alteração da taxa de adição desse resíduo, ou mesmo, do aumento da taxa de mineralização dos resíduos vegetais e da perda de estabilidade dos agregados quando sob uso agrícola (SIX et al., 1998; BALESSENT et al., 2000).

Em trabalhos com levantamento da dinâmica de C em profundidade, derivado da cana-de-açúcar, foi observado acúmulo desse elemento (SKJEMSTAD et al., 1999; EPRON et al., 2009), contabilizando como fator de enriquecimento de C derivado da cana-de-açúcar, sendo esta uma outra vertente. Em outro estudo de campo, Mello Ivo (2012) constatou em camada profunda de solo (80-100 cm) a interferência da decomposição de raízes de Floresta ombrófila nas concentrações de C em áreas atualmente cultivadas com cana-de-açúcar, decorrente da degradação das raízes (principalmente grossas).

Observou-se correlação positiva entre as concentrações de C e N no solo. Houve bom grau de ajuste estatístico em Pernambuco ($r^2 = 0,91$) e Alagoas ($r^2 = 0,72$). As concentrações de C e N correlacionaram-se positivamente, havendo diferença significativa ($P < 0,01$) entre a concentração de C e N orgânico do solo em Pernambuco e em Alagoas na camada de 0-100 cm (Figura 8).

Figura 8 - Correlação entre as concentrações de C e N para Pernambuco (esquerda) e Alagoas (direita).



Isso confirma a importância do N para o acúmulo de C no solo. De acordo com Alves et al. (2002), para acumular 1 Mg ha^{-1} de C no solo na forma de MOS é necessário pelo menos 80 kg N ha^{-1} .

Também foi possível observar correlação do C e N com a profundidade do solo (0-100 cm), ambos apresentando uma correlação inversa do C e do N com o aumento da profundidade do solo nos engenhos avaliados em Pernambuco e Alagoas (Tabela 10).

Tabela 10. Coeficiente de correlação de Pearson em relação as concentrações de carbono e nitrogênio em profundidade (0-100 cm) em áreas de Floresta Ombrófila Densa e Cana-de-açúcar.

	Pernambuco	Alagoas
Correlação C:N	0,9102**	0,7190**
Prof/C	-0,74027	-0,52274
Prof/N	-0,72702	-0,40351

** : Nível de significância < 0,01; Prof/C e Prof/N¹: correlação entre as concentrações de carbono e nitrogênio e a profundidade do solo.

De modo geral, com a mudança de uso do solo foi verificada diferença estatística significativa ($P < 0,05$) com maiores valores de relação C/N na camada superficial (0-10 cm) em Floresta ombrófila comparado aos resultados de cana-de-açúcar, consequentemente pelo aporte de resíduo, serapilheira e raízes, demonstrando a importância da incorporação de resíduo como forma de armazenamento do carbono no solo (FORTES et al., 2012; ROBERTSON; THORBURN, 2007; BASANTA et al., 2003).

Com relação ainda ao efeito da mudança de uso do solo nas concentrações de MOS foi mais acentuado no Argissolo, em Alagoas, comparado ao Argissolo e Latossolo em Pernambuco, conforme indicam os resultados e as diferenças das concentrações de C e N entre o solo sob vegetação nativa (Floresta ombrófila densa) e uso agrícola (cana-de-açúcar) (Tabela 9), obtidos nos dois estados (Pernambuco e Alagoas).

Possivelmente, o efeito diferencial entre os solos avaliados, em relação as concentrações de C e N (Tabela 4) em suas respectivas amostras de referência, está relacionado com a textura. A textura e a estrutura do solo exercem um importante efeito na decomposição da MOS (ZECH et al., 1997; BALESSENT et al., 2000). Há uma maior proteção física da MOS em solo argiloso que em solo arenoso (STEVENSON, 1994). Como consequência, solo argiloso apresenta maior concentração de C e N que solo arenoso, quando adicionado similar quantidade de resíduos.

Resultados similares foram observados na classe de solo Argissolo, de textura arenosa, em Alagoas, proporcionando uma proteção física à MOS menos acentuada (BAYER, 1996; BAYER et al., 2000a; BAYER et al., 2001; BAYER et al., 2002).

No entanto, em decorrência da adição contínua e por longo tempo de resíduo da agroindústria (torta de filtro), associada à aplicação de fertilizantes minerais e adição em

superfície de resíduos da palhada remanescente da queima (despalha) incorporada à MOS ao longo dos anos, apresentando, dessa forma, elevada relação C/N, principalmente na camada de 0-10 cm nas áreas de cana-de-açúcar. Já em Pernambuco, nas duas classes de solo verificadas (Argissolo - Cumbe e Latossolo - Piedade), essas foram identificadas como sendo de textura média, evidenciando em uma maior interação organo-mineral e uma proteção física da MOS mais intensa frente ao processo de mineralização, sendo esse efeito observado no engenho Cumbe, na camada 0-10 cm (Tabela 9).

Nas amostras, os resultados médios das relações C/N das florestas de Pernambuco (Argissolo e Latossolo) e Alagoas (Argissolo) em todo o perfil (0-100 cm) foram de 13 e 16, respectivamente. Para cana-de-açúcar, os valores das relações C/N foram de 13 e 17 em Pernambuco e Alagoas, respectivamente. As relações C/N dos solos variaram de 11,31 a 20,06 e 11,41 a 14,48 em Cumbe e de 12,61 a 13,97 e 11,17 a 13,17 em Piedade entre as áreas de Floresta ombrófila e cana-de-açúcar, respectivamente, no estado de Pernambuco. Para o estado de Alagoas, os valores da relação C/N variaram de 12,41 a 21,06 e de 12,70 a 20,24 em Miai de baixo e de 13,62 a 22,23 e 12,06 a 19,32 em Topless entre as áreas de Floresta ombrófila e cana-de-açúcar, respectivamente, considerando a profundidade de 0-100 cm (Tabela 9). O valor médio global encontrado da relação C/N no Argissolo em Alagoas (16,27) foi superior ao do Argissolo e Latossolo (12,79) verificados em Pernambuco, o que poderá ser indicativo da presença de matéria orgânica menos decomposta.

De modo geral, os resultados do presente estudo corroboram com os encontrados por Graham, Haynes e Meyer (2002), que verificaram valores de relação C/N do solo entre 15 e 19 para áreas de cana-de-açúcar na África do Sul.

4.6 CONCENTRAÇÕES DE CARBONO DAS FRAÇÕES DA MOS

As concentrações de carbono orgânico total (COT) do solo tendem a diminuir gradativamente em profundidade nas camadas estudadas (0-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm) independente da classe de solo e uso da terra (Tabela 11).

Os valores mais elevados são o da camada superficial (0 a 10 cm), sobretudo em Floresta Ombrófila Densa, apesar de não apresentarem resultados estatísticos significativos ($P < 0,05$) nessa camada (0-10 cm) em ambos os usos e classes de solo (Tabela 11). Ainda, comparando os sistemas de uso do solo nas classes de solo identificadas em Pernambuco, ocorreu efeito estatístico significativo ($P < 0,05$) na camada

de 10-20 cm em Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), apresentando resultado superior em Floresta ombrófila (Tabela 11).

Tabela 11 -Concentração de carbono orgânico total (COT) e estoque de COT em função dos diferentes sistemas de uso do solo em Argissolo Vermelho-Amarelo - PVA (PE e AL) e Latossolo Vermelho-Amarelo LVA (PE).

Sistema de uso do solo	COT (g Kg ⁻¹)		
	PVA (PE)	LVA (PE)	PVA (AL)
		0-10 cm	
Floresta Ombrófila Densa	2,19 A ^{ns}	2,25 A ^{ns}	2,54 A ^{ns}
Cana-de-açúcar	1,72 A ^{ns}	2,63 A ^{ns}	2,13 A ^{ns}
		10-20 cm	
Floresta Ombrófila Densa	1,91 Aa	2,07 Aa	1,36 Ab
Cana-de-açúcar	1,43 Bb	1,97 Aa	1,76 Aa
		20-30 cm	
Floresta Ombrófila Densa	1,73 Aa	2,00 Aa	1,11 Bb
Cana-de-açúcar	1,25 A ^{ns}	1,67 A ^{ns}	1,34 A ^{ns}
		30-40 cm	
Floresta Ombrófila Densa	1,30 A ^{ns}	1,35 A ^{ns}	1,08 A ^{ns}
Cana-de-açúcar	1,02 A ^{ns}	1,45 A ^{ns}	1,15 A ^{ns}
		Estoque de COT (Mg ha⁻¹)	
		0-40 cm	
Floresta Ombrófila Densa	24,88 A ^{ns}	24,77 A ^{ns}	21,75 A ^{ns}
Cana-de-açúcar	19,85Bc	25,87 Aa	24,10 Ab

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre os sistemas de uso do solo para cada classe de solo, pelo teste de Tukey a 5%. Letra minúscula igual na linha não difere entre as classes de solo para cada sistema de uso do solo, pelo teste F a 5%. ^{ns} Não-significativo a 5% pelo teste F entre as classes de solo.

Esses resultados demonstram a influência dos resíduos vegetais incorporados pela Floresta ombrófila (raízes mortas, folhas, galhos, cascas e troncos de árvores), elevando a concentração e o estoque total de C do solo, sendo possível identificar essa influência em profundidade observando o incremento de 20 % do estoque de C na camada de 0-40 cm em Floresta ombrófila (24,88 Mg C ha⁻¹), comparado ao estoque de cana-de-açúcar (19,85 Mg C ha⁻¹).

Na Floresta ombrófila existe uma maior produção de biomassa vegetal que é depositada sobre o solo, caracterizando uma cobertura (serapilheira). Esse material auxilia na manutenção da umidade do solo e evita o contato direto dos raios solares com o solo, com a conseqüente diminuição da temperatura na camada superficial do solo e, concomitantemente, da mineralização da MOS (LOSS et al., 2009).

Foi possível observar maiores concentrações de COT nas profundidades de 10-20, 20-30 e 30-40 cm sob cana-de-açúcar quando comparado a área de floresta ombrófila em Argissolos Vermelho-Amarelo (Alagoas), apresentando diferença estatística (P<0,05)

apenas na camada de 20-30 cm. Isso se deve, provavelmente, ao efeito causado pela incorporação contínua da torta de filtro (Anexo C) e acúmulo em sub superfície, sendo o resíduo remanescente do plantio anterior incorporado e homogeneizado nas camadas iniciais do solo para posterior plantio da cana-de-açúcar (histórico do manejo).

Possivelmente, o manejo com a inclusão desse material em sucessivas aplicações e por tempo prolongado fez com que houvesse a incorporação da MO e sua mineralização, promovendo o aumento das concentrações de COT do solo nas camadas iniciais e em sub superfície nas áreas de cana-de-açúcar. Ainda, complementando, foi possível observar que o estoque total de C na camada de 0-40 cm foi superior em cana-de-açúcar em 10 % aproximadamente, comparado ao resultado observado em floresta ombrófila, em Alagoas (Tabela 11).

Os estoques totais de C em áreas de cana-de-açúcar, sobretudo, em Latossolo e Argissolo, em Pernambuco e Alagoas, respectivamente, submetidas ao manejo com fertilizante orgânico (aplicação de torta de filtro), propiciaram resultados acima dos observados em Floresta ombrófila. Os solos de cana-de-açúcar que apresentaram maiores estoques de carbono na camada de 0-40 cm, podem ter recebido influência do aumento da velocidade de decomposição e também ter apresentado elevada velocidade das reações químicas no solo, com uma mineralização rápida da MOS associadas à estação do verão (período com maior disponibilidade de água e temperaturas mais altas), conduzindo, ainda, a elevar os estoques de C nas áreas de cana-de-açúcar em profundidade, como observado na tabela 11.

Diversos autores (DIAS et al., 2007; GUEDES et al., 2006; GOULART, 2017) constataram aumento nas concentrações de COT em Latossolo Vermelho após aplicação de resíduo (lodo de esgoto) em plantio de milho e eucalipto, sobretudo, nas camadas superficiais, elevando também as concentrações de MOS (SIMONETE et al., 2003; BARBOSA et al., 2002; KITAMURA et al., 2008). Outros trabalhos (PINHEIRO et al., 2010; MELLO IVO, 2012), conduzidos com a cana-de-açúcar em um Argissolo, utilizando a torta de filtro como fertilizante incorporado ao solo, também verificaram efeito positivo sobre as concentrações e estoques de COT nas camadas iniciais e em profundidade.

Ao comparar os resultados entre as classes de solos sob vegetação de floresta ombrófila e cana-de-açúcar, em Pernambuco e Alagoas, não houve diferença estatística significativa ($P < 0,05$) nas camadas de 0-10 e 30-40 cm do solo. Houve resultado estatístico significativo ($P < 0,05$) na camada de 10-20 cm para as classes Argissolo e

Latossolo em Pernambuco e, resultado contrário para a classe Argissolo em Alagoas, considerando sistema de uso Floresta ombrófila. Para o sistema de uso do solo de cana-de-açúcar, os resultados foram estatisticamente significativos ($P < 0,05$) para as classes Latossolo e Argissolo, em Pernambuco e Alagoas, respectivamente. Na camada de 20-30 cm, ocorreu diferença estatística significativa ($P < 0,05$) no sistema de uso do solo floresta ombrófila, superior para as classes Argissolo e Latossolo, ambas em Pernambuco (Tabela 11). Esse resultado decorre, possivelmente, de uma melhor preservação dos recursos naturais e da própria vegetação da floresta ombrófila (observação de campo) no estado de Pernambuco, favorecendo a entrada (*input*) de biomassa vegetal e, conseqüentemente, do maior acúmulo da MOS (CAMPOS et al., 2011a; ROSSET, 2012). Outra possível resposta para esse resultado é o período com maior disponibilidade de água e temperaturas mais elevadas, podendo assim, ter aumentado a decomposição e a velocidade das reações químicas no solo, ocasionando em uma mineralização mais rápida da MOS, conduzindo a concentrações de COT mais elevadas, conseqüentemente, alterando os estoques de COT do solo.

4.7 CARBONO DA FRAÇÃO LEVE EM FUNÇÃO DO USO DO SOLO

As concentrações de COp e COam avaliadas foram superiores na superfície, diminuindo em profundidade nas classes de solo (Tabela 12), corroborando com os resultados obtidos por Amado (2006) e Loss et al. (2009).

Verificou-se que a fração COp (carbono orgânico particulado) é eficiente para evidenciar diferenças entre os sistemas de uso do solo, principalmente nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm, em ambos os solos. Isso decorre de um maior acúmulo dos resíduos vegetais nas camadas superficiais dos solos sob vegetação de Floresta ombrófila. Por outro lado, a influência direta do manejo contínuo do solo sob a cultura da cana-de-açúcar, com incorporação de resíduos orgânicos frequentes, reflete positivamente na dinâmica da MOS (Tabela 12).

Tabela 12—Concentrações de carbono das frações da MOS (g kg^{-1}) em função dos diferentes sistemas de uso do solo em Argissolo Vermelho-Amarelo - PVA (PE e AL) e Latossolo Vermelho-Amarelo LVA (PE).

Sistemas de uso do solo	COp (g Kg^{-1})		
	PVA (PE)	LVA (PE)	PVA (AL)
	0-10 cm		
Floresta Ombrófila Densa	2,80 A ^{ns}	3,06 A ^{ns}	4,10 A ^{ns}
Cana-de-açúcar	1,18 Bb	1,15 Bb	3,13 Ba
	10-20 cm		
Floresta Ombrófila Densa	1,35 Aa	1,03 Ab	1,06 Bb
Cana-de-açúcar	0,53 Bb	0,87 Ab	1,69 Aa
	20-30 cm		
Floresta Ombrófila Densa	0,99 Aa	0,53 Ac	0,77 Ab
Cana-de-açúcar	0,45 Bb	0,45 Ab	0,88 Aa
	30-40 cm		
Floresta Ombrófila Densa	0,51 A ^{ns}	0,43 A ^{ns}	0,57 A ^{ns}
Cana-de-açúcar	0,28 Ab	0,35 Ab	0,58 Aa
	COam (g Kg^{-1})		
	0-10 cm		
Floresta Ombrófila Densa	19,13 A ^{ns}	19,43 B ^{ns}	21,34 A ^{ns}
Cana-de-açúcar	16,04 A ^{ns}	25,17 A ^{ns}	18,60 A ^{ns}
	10-20 cm		
Floresta Ombrófila Densa	17,73 A ^{ns}	19,73 A ^{ns}	12,59 A ^{ns}
Cana-de-açúcar	13,75 B ^{ns}	18,85 A ^{ns}	15,87 A ^{ns}
	20-30 cm		
Floresta Ombrófila Densa	16,30 Aa	19,44 Aa	9,55 Ab
Cana-de-açúcar	12,06 B ^{ns}	16,23 A ^{ns}	13,78 A ^{ns}
	30-40 cm		
Floresta Ombrófila Densa	12,46 A ^{ns}	13,13 A ^{ns}	10,45 A ^{ns}
Cana-de-açúcar	9,92 A ^{ns}	14,17 A ^{ns}	10,94 A ^{ns}

COp=carbono orgânico particulado; COam=carbono orgânico associado aos minerais. Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferem significativamente entre os sistemas de uso do solo em cada classe de solo separadamente, pelo teste de Tukey a 5%. Letra minúscula na linha não difere entre as classes de solo em cada sistema de uso do solo, pelo teste F a 5%. ^{ns} Não-significativo a 5% pelo teste F entre as classes de solo no mesmo sistema de uso do solo.

Nicoloso (2005), avaliando a influência do aumento da intensidade de utilização das pastagens de inverno e diferentes sistemas de culturas de verão sobre a dinâmica da MOS e de suas frações granulométricas de um Argissolo Vermelho em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema de plantio direto (SPD), constatou que o COp foi mais eficaz para avaliar as modificações nas concentrações de carbono orgânico decorrentes do manejo, em especial nos primeiros centímetros do solo (0,0-2,5 e 2,5-5,0cm).

O aumento das concentrações de COp e COam observados nas áreas de cana-de-açúcar, principalmente em Argissolo (Alagoas), nas profundidades de 10-20, 20-30 e 30-40 cm, provavelmente deve-se à incorporação da torta de filtro (Vide Anexo C) em superfície por longo tempo, advindos da indústria sucroalcooleira, resultando na

mineralização da MOS, elevando as concentrações de C em superfície e profundidade, auxiliado pelos processos de aração e gradagem quando na renovação do canavial. Resultados obtidos por outros autores (NICOLOSO, 2005; LOSS et al., 2009) demonstraram que a variação das concentrações de COP na camada superficial do solo (0-5cm) foi resultado da adição de resíduos vegetais.

Dando sequência, esse mesmo resíduo, aplicado por sucessivos anos (acima de 30 anos), pode ter influenciado nos resultados estatísticos nas concentrações de COP em cana-de-açúcar, em Alagoas, na classe de solo Argissolo Vermelho-Amarelo (textura arenosa), de maneira que em todas as camadas (0-40 cm) avaliadas, os resultados estatísticos foram significativos ($P < 0,05$) e superiores para esta classe sob manejo de cana-de-açúcar (Tabela 12).

Esse resultado pode ter sido influenciado pela textura do solo e aplicação contínua da torta de filtro (Vide Anexo C) no estado de Alagoas. Com relação a textura do solo, as taxas de mineralização da MOS são menores em solos argilosos do que em solos arenosos (DALAL & MAYER, 1986a), visto que a proteção física do C orgânico por micro agregados não é afetada expressivamente pelos métodos de preparo em solos com maiores conteúdos de argila (BAYER, 1996). Outro fator que pode explicar esse resultado é o próprio método empregado. Na separação das partículas do solo em tamanho, através do fracionamento físico da MOS, são separados os restos vegetais parcialmente decompostos e de baixa densidade dos compostos orgânicos mais resistentes a decomposição. Neste método a MOS é separada em: carbono orgânico particulado (COP), que fica associado as frações mais grossas (como a fração areia), referindo-se a de maior labilidade (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992; BAYER et al., 2002). Com a renovação recente em Alagoas nas áreas de cana-de-açúcar, esse material (torta de filtro e restos culturais após as despalhas com fogo), parte dos resíduos podem ter sido incorporados pelo processo de aração do solo, sendo possível identificar através dos resultados estatísticos das concentrações de COP observados em profundidade (Tabela 12).

Deste modo, sistemas de uso do solo que propiciam a adição de resíduos na superfície do solo, influencia na manutenção dos valores de COP. Esta característica, de acúmulo de carbono na fração particulada, nessas camadas, está intimamente relacionada ao aporte recente de resíduos na superfície do solo, justificando os resultados em sub superfície. Por outro lado, parte da palhada não é eliminada na presença de fogo, já que a queima não consegue eliminar 100 % do material vegetal. Os valores observados estão associados às práticas de manejo, histórico e tempo de uso de cada área.

Por outro lado, em Floresta ombrófila, não houve diferença estatística significativa ($P < 0,05$) nas camadas de 0-10 e 30-40 cm para as concentrações de COp nas classes de solo em Pernambuco e Alagoas. Por fim, foram identificadas diferença estatística significativa ($P < 0,05$) nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, com resultado superior em Floresta ombrófila na classe de solo Argissolo Vermelho-Amarela (PE). Rosset (2012) observou as maiores concentrações de COp em Latossolo Vermelho, para a área de mata nativa em todas as profundidades avaliadas, observando paralelamente diferentes sistemas de manejo em área de produção comercial da Usina LDC-SEV localizada no município de Maracaju-MS.

Em Pernambuco, considerando os sistemas de uso do solo, houveram diferenças significativas ($P < 0,05$) superiores para floresta em detrimento de cana-de-açúcar nas camadas de 0-10 cm (em PVA e LVA), 10-20 e 20-30 cm (em PVA). Esses resultados confirmam a necessidade de preservação da floresta para o maior acúmulo de MOS no solo, conseqüentemente elevando as concentrações de C do solo. O declínio do COp com a conversão da floresta em cana-de-açúcar, após 50 anos de cultivo contínuo com queima foi observado por Galdos (2007). Outro estudo, avaliando o impacto do cultivo de cana-de-açúcar nas frações do carbono em Latossolo Amarelo, descrevem um acentuado declínio das concentrações de COp após a conversão da floresta em cana-de-açúcar, seguido por um acréscimo gradativo, mas sem alcançar as mesmas concentrações iniciais após 25 anos de cultivo contínuo (SILVA et al., 2007).

Por meio das diferenças estatísticas observadas na tabela 12, verificou-se que, na fração COp, as mudanças provenientes dos sistemas de uso do solo são mais sensíveis, em comparação com o COT na camada superficial do solo (Tabela 12). Desse modo, verifica-se que o COp é um bom indicador da qualidade da MOS em relação às alterações de manejo do solo em curto prazo. Esse comportamento também foi observado por Conceição et al. (2005) e Loss et al., (2009), avaliando a qualidade do solo sob diferentes sistemas de manejo com cereais e leguminosas em experimentos de longa duração no Sul do Brasil, na profundidade de 0-5 cm.

Com relação aos resultados do COam, estatisticamente não houve diferença significativa ($P < 0,05$) considerando as classes de solo entre as camadas de 0-40 cm, com exceção para a camada de 20-30 cm, observando-se resultados superiores para Argissolo e Latossolo, ambos em PE, em Floresta ombrófila. Por outro lado, houve diferença estatística ($P < 0,05$) na camada de 0-10 cm, em Pernambuco, para o Latossolo Vermelho-Amarelo (textura média), apresentando resultado superior de 23 % em cana-de-açúcar

para COam. Nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, houve resultado estatístico significativo ($P < 0,05$) entre os usos do solo, com resultado superior para as áreas de floresta ombrófila em comparação ao resultado em cana-de-açúcar, aumentos de 22 e 26 % na concentração de COam em Argissolo Vermelho-Amarelo (textura média). Por fim, não foi verificada diferença estatística significativa ($P < 0,05$) entre os sistemas de uso do solo na camada de 30-40 cm para a concentração de COam (Tabela 12).

O COam é, normalmente, menos modificado pelas diferentes formas de manejo adotadas, principalmente a curto prazo (BAYER et al., 2004). Rosset (2012) verificou a predominância da fração COam em detrimento da fração COP nas áreas de cana-de-açúcar manejadas com e sem queima, e com aplicação de vinhaça e torta de filtro. As maiores concentrações verificadas pelo autor foram para a área de mata nativa e cana-de-açúcar com aplicação de torta+vinhaça com valores da ordem de $30,05 \text{ g Kg}^{-1}$ e $20,93 \text{ g Kg}^{-1}$ na camada de 0-5 cm; $23,05 \text{ g Kg}^{-1}$ e $19,42 \text{ g Kg}^{-1}$ na camada de 5-10 cm; e $16,61 \text{ g Kg}^{-1}$ e $15,08 \text{ g Kg}^{-1}$ na camada de 10-20 cm. Estes valores estão de acordo com os encontrados no atual estudo.

A contribuição das frações COP e COam no COT do solo é variada. Em camadas superficiais, a fração COP da MOS contribui com até 40% do total do C presente no solo (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992), mas comumente, essa contribuição chega a 20% (BAYER et al., 2004). No presente estudo, a concentração de COP contribuiu com aproximadamente 22 % do COT. O efeito do manejo nos sistemas de uso do solo (cana-de-açúcar) pode ter alterado o COP em virtude da presença do fogo, sendo mais pronunciado na camada superficial (0-10 cm), onde se pode observar que a queima dos resíduos vegetais contribuiu significativamente na perda desta fração e que, nas camadas inferiores, à adição dessa fração ocorreu, provavelmente, através da incorporação mecânica e pela MOS do sistema radicular da cana-de-açúcar.

De modo geral, os estoques de COT do solo são compostos em mais de 80% pela fração COam (BAYER et al., 2004), como verificado no presente estudo. Isso acontece porque o COam participa de interação com a fração mineral do solo e formação de compostos organo-minerais que promovem estabilização físico-química e recalcitrância bioquímica (CHRISTENSEN, 1996), acarretando em menor sensibilidade ao manejo pela sua ciclagem mais lenta (BAYER et al., 2004). A fração COam está entre aquelas mais estáveis da MOS, exercendo papel significativo na estabilização dos micro agregados (CAMBARDELLA & ELLIOTT, 1992).

Os estoques de COT são compostos em mais de 80% pelo COam (NICOLOSO, 2005; BAYER et al., 2004). O presente trabalho concorda com a afirmação, pois o fracionamento físico evidenciou que o C esteve mais associado a fração mineral do solo (COam).

5 CONCLUSÕES

Estudo 1

1. Houve redução na distribuição com o aumento da profundidade das concentrações, dos estoques e da relação C/N;

2. Observou-se que as concentrações e estoques totais de C e N em todo o perfil do solo em cana-de-açúcar nos engenhos Piedade (PE), Miai de baixo e Topless (AL) indicaram resultados superiores em comparação à Floresta ombrófila;

3. Dados gerais indicam que após a conversão da vegetação observou-se acréscimo no estoque de carbono de $3,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ e redução do estoque de nitrogênio de $0,4 \text{ Mg ha}^{-1}$ até os 30 cm de profundidade;

4. Os solos de Floresta ombrófila estocam a mais que cana-de-açúcar 2 % do COT e 1 % do NT considerando os 30 cm iniciais de profundidade do solo;

5. Após a mudança de uso do solo considerando a camada de 0-100 cm, em Pernambuco, houve redução do estoque de C (3,8 %) e aumento do estoque de N (1,3 %). Em Alagoas, houve aumento no estoque de C (9,8 %) e redução no estoque de N (4,8 %);

6. Os dados universais indicam que cana-de-açúcar estocou 3,6 % de C a mais que Floresta ombrófila, em contrapartida, o estoque de N reduziu em 1,6 % do estoque original.

Estudo 2

1. Houve redução da proteção física após a conversão de vegetação em razão da perda de 33 % da fração carbono orgânico particulado (COp), em decorrência do manejo intensivo em todo o perfil do solo. A fração carbono orgânico associado aos minerais (COam) reduziu em 3 % da concentração de C original;

2. A fração COp mostrou-se mais adequado e mais sensível que o COT para evidenciar reduções provenientes da mudança de uso do solo, principalmente, na camada de 0-10 cm, portanto, mais sensível à degradação pelo cultivo, sendo utilizada como um indicador da qualidade do solo;

3. Observou-se perda significativa na fração COp de 0-10 cm de profundidade, com redução de 60 e 24 % em Pernambuco e Alagoas, respectivamente. Na fração COam houve aumento de 7 % e redução de 13 % da concentração de C em Pernambuco e Alagoas, respectivamente, após a conversão;

4. O carbono associado à fração mineral fina do solo (fração menor que 53 μm) representa a maior parte do COT do solo, sofrendo pouca modificação pelas práticas de manejo adotadas nos sistemas de uso dos solos estudados com destaque para floresta ombrófila com 3 % do conteúdo de C a mais que cana-de-açúcar;

5. O efeito do sistema de cultivo em cana-de-açúcar, provavelmente, necessita de maior tempo para aumentar o conteúdo de C no solo na fração COp, sobretudo na camada de 0-10 cm, além do período de observação deste estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conversão de floresta por desmatamentos e/ou queimadas em agricultura reduz os estoques de carbono e nitrogênio do solo. No entanto, em Alagoas, foi observado maiores estoques em área de cana-de-açúcar comparado à Floresta ombrófila, onde este aumento deve ser interpretado com cautela, uma vez que a quantidade de resíduos disponibilizado ao longo de mais de trinta anos pode ter elevado os estoques de carbono e, principalmente, nitrogênio, uma vez que a quantidade de N no solo pode ser facilmente alterada pela adição de resíduos orgânicos e fertilizantes nitrogenados.

Grande parte dos dados de floresta ombrófila demonstraram superiores comparados aos de cana-de-açúcar, evidenciando a susceptibilidade da MOS quando exposta pelo manejo intensivo, degradando e reduzindo os estoques de C e N do solo.

Os estoques de C e N do solo são muito susceptíveis ao cultivo, uma vez que a estabilização deles nestes solos (textura média e arenosa) reside, principalmente, na recalitrância intrínseca e em mecanismos de proteção física do solo. Por outro lado, algumas práticas de manejo podem aumentar os níveis de carbono e nitrogênio com grandes quantidades de resíduos. Nesse sentido, é importante que se façam novas investigações, determinando os estoques de C e N em profundidade (0-100 cm) nessas áreas, com o intuito de verificar novos resultados e compará-los.

É importante lembrar também que a conservação dos recursos naturais deve ser incentivada cada vez mais. A adoção de práticas conservacionistas na produção agrícola, como a utilização dos resíduos da produção sucroalcooleira no cultivo da cana-de-açúcar e da prática de colheita da cana crua nos canaviais, favorece o acúmulo da matéria orgânica do solo.

Nessa perspectiva, o poder público deve atuar na promoção de uma transição para um modelo sustentável, com a definição de políticas que privilegiem a eficiência energética e o melhor uso dos recursos naturais (solo e água) em todas as atividades. O sucesso dessas medidas implica em mudança de comportamento da sociedade e no possível desbalanceamento entre o custo individual e o benefício coletivo. Isso significa que para que haja uma difusão de tecnologias mais eficientes e limpas, é necessário que se tenha uma política pública mandatória, como exigência de padrões mínimos de eficiência, taxaçaõ, entre outros instrumentos.

Esta geração tem a responsabilidade de salvaguardar e sustentar o ambiente e entregá-lo para a próxima geração em uma condição razoável. Existem comprovações de

que os solos não foram manuseados/protegidos de forma adequada, com evidências de dano permanente. No entanto, a população do mundo está aumentando rapidamente (esperado para 10 bilhões até 2050). Assim, haverá maior pressão para produzir mais alimento para população, existindo evidências fortes de degradação do solo, apontando declínio da fertilidade do solo.

A transição para uma economia de baixo carbono é inevitável e pode ser vista como uma das várias tecnologias a serem introduzidas a fim de somar esforços no sentido de tornar possível uma realidade que não traga prejuízos às gerações futuras, reduzindo ou mitigando as emissões atmosféricas de CO₂ (sequestro de C).

O mundo caminha para um período com maiores restrições ambientais. Assim, o planejamento sustentável não poderá ficar defasado no modelo de desenvolvimento do futuro.

Por fim, torna-se evidente a realização de estudos futuros sobre o potencial dos indicadores químicos de qualidade do solo, tanto para a avaliação atual, como para o monitoramento futuro dos sistemas de manejo e conservação dos solos, podendo estabelecer os limites e detectar mudanças adversas na qualidade do solo.

REFERÊNCIAS

ADHIKARI, K.; HARTEMINK, A. E. Linking soils to ecosystem services - a global review. **Geoderma**, v.262, p.101-111, 2016.

ALEXANDER, M. Organic matter decomposition. In: ALEXANDER, M., ed. **Introduction to soil microbiology**. New York, J. Willey, p.128-147, 1977.

ALVES, B. J. R.; ZOTARELLI, L.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. Soybean benefit to a subsequent wheat cropping system under zero tillage. In: **Nuclear Techniques in Integrated Plant Nutrient, Water and Soil Management**. IAEA, Viena, p. 87-93, 2002.

AMADO, T. J. C.; BAYER C.; CONCEIÇÃO, P. C.; SPAGNOLLO E., CAMPOS, B. C.; VEIGA, M.; Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern brazil. **Journal Environ.** v.35, p.1599-1607, 2006.

ANDERSON, J. M. Responses of soils to climate change. **Advances in Ecological Research**, v.22, p.63-91, 1992.

ANDRADE-LIMA, D. **Contribuição ao estudo do paralelismo da flora amazônica nordestina**. Recife: Instituto de Pesquisas Agronômicas - IPA, 30 p., 1966a.

ANDRADE, M. C. **História das usinas de açúcar de Pernambuco**. Recife: FJN. Ed. Massangana, 1989. 114 p.

ANDRADE, M. C. O. **Usinas e destilarias das Alagoas: uma contribuição ao estudo da produção do espaço**. Maceió: Edufal, 1997.

ANDREUX, F. Humus in wordsoils. In PICCOLO, A. (Ed.) **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, p. 45-100, 1996.

ARAÚJO, M. S. B.; SALCEDO, I. H.; SAMPAIO, E. V. S. B. Efeito de fertilizações fosfatadas anuais em solo cultivado com cana-de-açúcar. I. Intensidade e formas de acumulação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.389-396, 1993.

ARAÚJO FILHO, J. C.; BURGOS, N.; LOPES, O. F.; SILVA, F. H. B. B; MEDEIROS, L. A. R; MELO FILHO, H. F. R; PARAHYBA, R. B. V; CAVALCANTI, A. C.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, F. B. R.; LEITE, A. P.; SANTOS, J. C. P.; SOUSA NETO, N. C.; SILVA, A. B.; LUZ, L. R. Q. P.; LIMA, P. C.; REIS, R. M. G.; BARROS, A. H. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro: Embrapa solos, Boletim de Pesquisa, n. 11, 382 p., 2000.

ASSIS, J. S. de. **Razões e ramificações do desmatamento em Alagoas**. In: DINIZ, J.A.F.; FRANÇA, V.L.A. (Org.). Capítulos de geografia nordestina. Aracaju: NPGeo, p.325-355. 1998.

BALDOCK, J. A.; OADES, J. M.; WATERS, A. G.; PENG, X.; VASSALLO A. M.; WILSON, M. A. Aspects of the chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state ^{13}C NMR spectroscopy. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.16, p.1-42, 1992.

BALDOTTO, M. A.; VIEIRA, E. M.; SOUZA, D. D. O.; BALDOTTO, L. E. B. Estoque e frações de carbono orgânico e fertilidade de solo sob floresta, agricultura e pecuária. **Revista Ceres**, v.62, n.3, p.301-309, 2015.

BALESDENT, J.; BESNARD, E.; ARROUAYS, D.; CHENU, C. CHENU. The dynamics of carbon in particle size fractions of soil in a forest cultivation sequence. **Plant and Soil**. Dordrechster, v.201, p.49-57, 1998.

BALESDENT, J.; CHENU, C., BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.53, p.215-230, 2000.

BARBOSA, G.M.C.; TAVARES FILHO, J. & FONSECA, I.C.B. Avaliações de propriedades físicas de um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. **Sanare**, v.17, p.94-101, 2002.

BASANTA, M. V.; DOURADO-NETO, D.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S.; OLIVEIRA, J. C. M.; TRIVELIN, P. C. O.; TIMM, L. C.; TOMINAGA, T. T.; CORRECHEL, V.; CÁSSARO, F. A. M.; PIRES, L. F.; MACEDO, J. R. de. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.116, p.235–248, 2003.

BATJES, N. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, v.47, p.151-163, 1996.

BATJES, N.H.; SOMBROEK, W. G. Possibilities for carbon sequestration in tropical and subtropical soils. **Global Change Biology**, Oxford, v. 3, n. 2, p. 161-173, 1997.

BATJES, N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, n.1, v.65, p.10-21, 2014.

BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. 240f. (**Tese de Doutorado em Ciência do Solo**) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, p.105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Editora: Genesis, p.9-26, 1999.

BAYER, C., MIELNICZUK, J., AMADO, T. J. C., MARTIN-NETO, L., FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research.**, v.54, p.101-109, 2000.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. CERETTA, C. A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil Tillage Research**, v.53, p.95-104, 2000.

BAYER, C. et al. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.65, p.1473-1478, 2001.

BAYER, C. et al. Effects of no-till cropping systems on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance of ^{13}C . **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v.53, p.95-104, 2000a.

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDER, L. P.; ERNANI, P. R.; ALBURQUERQUE, J. A. Incremento de carbono e nitrogênio num Latossolo pelo uso de plantas estivas para a cobertura do solo. **Ciência Rural**, v.33, p.469-475, 2003.

BAYER, C. et al. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, 2004.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIECKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soil under no-till. **Soil & Tillage Research**, v.86, p.237-245, 2006.

BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C. E. P; DIECKOW, J.; ZANATTA, J. A.; NICOLOSSO, R. S; CARVALHO, P. C. F. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões dos gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. In: Filho, O. K.; Mafra, A. L.; Gatiboni, L. C. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, SBCS, Vol VII, p.55-117, 2011.

BEARE, M. H. et al. Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.58, p.787-795, 1994.

BERNOUX, M.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; GERALDES, A. P. A.; FERNANDES, S. A. P. Carbono e nitrogênio em solo de uma cronosequência de floresta tropical - pastagem de Paragominas. **Sci. agric.** v.56, n°4, 1999.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M.C.S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 66, n. 3, p. 888-896, 2002.

BERTOL, I.; ALBURQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em

rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Bras. Ciência do Solo**, v.28, p.155-163, 2004.

BITTAR, I. M. B.; et al. Influência da textura do solo na atividade microbiana, decomposição e mineralização do carbono de serapilheira de sítios do bioma Cerrado sob condições de incubação. **Bioscience Journal**, v.29, p.1952-1960, 2013.

BLAIR, G. J.; CHAPMAN, L.; WHITBREAD, A. M.; BALL-COELHO, B.; LARSEN, P.; TIESSEN, H. Soil carbon changes resulting from sugar cane trash management at locations in Queensland, Australia, and North-East Brazil. **Australian Journal of Soil Research**, p.873-883, 1998.

BOJKO, O.; KABALA, C. Organic carbon pools in mountain soils - Sources of variability and predicted changes in relation to climate and land use changes. **Catena**, v.149, p.209-220, 2017.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas - ZAAL**. 2008. Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/publico/download/ZAAL_install.zip>. Acesso em: setembro, 2016.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. New Jersey: Prentice Hall. 881p. 1999.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 13th.ed. New Jersey: Prentice Hall, p.960, 2002.

BROMICK, C.J.; LAL, R. Soil structure and management: A review. **Geoderma**, v.124, p.3-22, 2005.

BRUCE, J.P.; FROME, M.; HAITES, E.; JANZEN, H.; LAL, R. Carbon sequestration in soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, v.54, p.382-389, 1999.

BU, X.; RUAN, H.; WANG, L.; MA, W.; DING, J.; YU, X. Soil organic matter in density fractions as related to vegetation changes along an altitude gradient in the Wuyi Mountains, southeastern China. **Applied Soil Ecology**, v.52, p.42-47, 2012.

BUOL, S. W.; HOLE, F. D.; McCRAKEN, R. J. **Soil genesis and classification**. Iowa: The Iowa State University Press, Ames, 3^a ed. 446 p. 1989.

CAMARGO, F. A. C.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J. & VIDOR, C. Nitrogênio orgânico do solo. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre, Genesis, p.117-137, 1999.

CAMARGO, L. A. Mineralogia da argila e atributos físicos de um argissolo em curvaturas de relevo. 111 f. (**Dissertação de mestrado em Produção Vegetal**). Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal, São Paulo, 2009

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOTT, E.T. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, p.777-783, 1992.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Methods for physical separation and characterization of soil organic matter fractions. **Geoderma**, v.56, p.449-457, 1993.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.1071-1076, 1993.

CAMPOS, D. V. B. Uso da técnica ^{13}C e fracionamento físico da matéria orgânica em solos sob cobertura de pastagens e cana-de-açúcar na região da mata atlântica. 220f. (**Tese de Doutorado em Ciência do Solo**). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2003.

CAMPOS, D. V. B. de; BRAZ, S. P.; MACHADO, P. L. O. de A.; SANTOS, G. A. dos; LIMA, E.; ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S. **Mudança no conteúdo de matéria orgânica do solo sob a cultura de cana-de-açúcar e pastagem em argissolo de Conceição da Barra – ES**. Circular Técnica. Seropédica-RJ, 2004.

CAMPOS, B. C; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; NICOLOSO, R. S.; FIORIN, J. E. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.805-817, 2011a.

CANELLAS, L. P.; VELLOSO, A. C. X.; MARCIANO, C. R.; RAMALHO, J. F. G. P.; RUMJANEK, V. M.; REZENDE, C. E.; SANTOS, G. A. Propriedades químicas de um cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.935-944, 2003.

CANTARELLA, H., ANDRADE, C. A., MATTOS JÚNIOR, D. M. Matéria orgânica do solo e disponibilidade de nitrogênio para as plantas. In: SANTOS, G. A. de; SILVA, L. S. da; CANELLAS, L. P; CAMAGO, F. A. O. (Eds) **Fundamentos da Matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. Rev. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 582p.

CARVALHO, C. P. de O. Setor sucroalcooleiro de Alagoas: a ultra-especialização como estratégia competitiva (1990/2009). In: **Congresso de economia, sociologia e administração rural**, 46, 2009, Rio Branco. São Paulo: Sober, 2009.

CARVALHO, C. P. de O. **Novas estratégias competitivas para o setor sucroalcooleiro: o caso de Alagoas**. Revista de Política Agrícola, Brasília, n.1, p.14-26, 2000.

CARVALHO, J.L.N.; CERRI, C.E.P.; FEIGEL, B.J.; PICCOLO, M.C.; GODINHO, V.P.; CERRI, C.C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazil Amazon. **Soil and Tillage Research**, v.103, p.342-349, 2009.

CARVALHO, A. L. DE; MENEZES, R. S. C.; NÓBREGA, R. S.; PINTO, A. D. S.; OMETTO, J. P. H. B.; VON RANDOW, C.; GIAROLLA, A. Impact of climate changes on potential sugarcane yield in Pernambuco, northeastern region of Brazil. **Renewable**

Energy, v.78, p.26–34, 2015.

CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo no agroecossistema cana-de-açúcar. **Tese de Doutorado** (Livre Docência). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba – São Paulo, 1986.

CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; PAUSTIAN, K.; BERNOUX, M.; MELLILO, J. M. Combining Soil C and N Spatial Variability and Modeling Approaches for Measuring and Monitoring Soil Carbon Sequestration. **Environmental Management**. v.33, p.274-288, 2004.

CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; CERRI, C.E.P.; LAL, R. Challenges and opportunities of soil carbon sequestration in Latin America. In: LAL, R.; CERRI, C.C.; BERNOUX, M.; ETCHEVERS, J.D.; CERRI, C.E.P. (Ed.). **Carbon sequestration in soils of Latin America**. New York: The Haworth Press, 2006. v. 1, p. 41-47.

CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Dinâmica da matéria orgânica do solo na Amazônia. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P. & CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, cap.20, p.325-358, 654p, 2008.

CHABBI, A., KÖGEL-KNABNER, I., RUMPEL, C. Stabilised carbon in subsoil horizons is located in spatially distinct parts of the soil profile. **Soil Biology and Biochemistry**, v.41, p.256-271, 2009.

CHAPIN F. S.; MOONEY, H. A.; CHAPIN, M C.; MATSON, P. **Principles of terrestrial ecosystem ecology**. Springer. 2002.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soils and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, New York, v.20, p.2-90, 1992.

CHRISTENSEN, B. T. Structure and organic matter storage in agricultural soils. **Advances in Soil Science**, Boca Raton, CRC Press. p.143-159, 1996.

CHRISTENSEN; B. T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal of Soil Science**, Dordrecht, v.52, p.345-353, 2001.

CICLO DO CARBONO. Disponível em: <http://www.passeiweb.com/na_ponta_lingua/sala_de_aula/biologia/ecologia/ciclos_biogeoquimicos/ciclos_biogeoquimicos_carbono>. Acesso em: setembro, 2017.

CLEVELAND, C. C.; TOWNSEND, A. R.; SCHIMEL, D. S.; FISHER, H.; HOWARTH, R. W.; HEDIN, L. O.; PERAKINS, S. S.; LATTY, E. F.; VON FISHER, J. C.; ELSEROAD, A.; WASSON, M.F. Global patterns of terrestrial biological nitrogen (N₂) fixation in natural ecosystems. **Global Biogeochemical Cycles**, v.13, p.623-645, 1999.

CONAN, R. T.; PAUSTIAN, T. K. **Spatial variability of soil organic carbon in grasslands: implications for detecting change at different scales.** *Environmental Pollution*, v.116, p.127-135, 2001.

CONDEPE/FIDEM - AGÊNCIA ESTADUAL DE PLANEJAMENTO E PESQUISAS DE PERNAMBUCO. Aspectos geoambientais e socioeconômicos da bacia hidrográfica do Rio Una, grupos de bacias hidrográficas de pequenos rios litorâneos GL 4 e GL 5. Recife, PE: **Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco**, v. 3, 85 p. 2006.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.777-788, 2005.

CORADO NETO, F. da C.; SAMPAIO, F. de M. T.; VELOSO, M. E. da C.; MATIAS, S. S. R.; ANDRADE, F. R.; LOBATO, M. G. R. Variabilidade espacial dos agregados e carbono orgânico total em Neossolo Litólico Eutrófico no município de Gilbués, PI. **Revista de Ciências Agrárias**, v.8, n.1, p.75-83, 2015.

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F.; CURI, N. Propriedades cristalográficas de caulinitas de solos do ambiente tabuleiros costeiros, amazônia e recôncavo baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1857-1872, 2008.

CORNELL, R. M.; SCHWERTMANN, U. **The iron oxides. Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Uses**, 573p, 1996.

COSTA, F. S.; et al. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxido de carbono influenciadas por sistema de manejo no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.323-332, 2008.

COSTA, A. R.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. M.; MACHADO, P. L. O. A. BERNARDES, T. G.; SILVEIRA, P. M. Uso do nitrogênio na agricultura e suas implicações na emissão do gás de efeito estufa óxido nitroso (N₂O). Santo Antônio de Goiás, GO: **Embrapa Arroz e Feijão**. Documentos, v. 249, 47 p. 2009.

COUTINHO, R. P.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; TORRES, A. Q. A.; JANTALIA, C. P. Estoque de carbono e nitrogênio e emissão de N₂O em diferentes usos do solo na Mata Atlântica. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.45, n.2, p.195-203, 2010.

CZYCA, R. V. Quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo em sistemas de colheita com e sem queima da cana-de-açúcar. (**Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas**). 92f. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

DALAL, R. C.; HENDERSON, P. A.; GLASBY, J. M. Organic matter and microbial biomass in vertisol after 20 year of zero tillage. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.23, p.435-441, 2003.

DALAL, R.C. & MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soil under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland: II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.24, p.281-292, 1986a.

DAVIDSON, E. A.; ACKERMAN, I. L. Changes in soil carbon inventories following cultivation of previously untilled soils. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v. 20, p. 181–193, 1993.

DEGÓRSKI, M. Influence of forest management into the carbon storage in soil. **Monitoring ŚrodowiskaPrzyr**, v.6, p.75-83, 2005.

DEL GALDO, I. D., SIX, J., PERESSOTTIS, A., COTRUFO, M. F. Assessing the impact of land-use change on soil C sequestration in agricultural soils by means of organic matter fractionation and stable C isotopes. **Global Change Biology**. v.9, p.1204-1213, 2003.

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**, v.31, p.901-911, 2007.

DIAS, R. R. A. Modelagem dos estoques de carbono do solo sob diferentes coberturas na região do cerrado. 2010. 120p. (**Mestrado em Ecologia**). Universidade de Brasília, 2010.

DIÉGUES Jr., Manuel. **O Bangüê nas Alagoas. Traços da influência do sistema econômico do engenho de açúcar na vida e na cultura regional**. 2. ed. Maceió: Edufal,1980.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. IX - Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V. F. e ALLEONI, L. R. F. **Química e mineralogia do solo: Parte II - Aplicações**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - SBCS, v.2, 685p. 2009.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P.; KNABNER, I. K. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant Soil**, v.268; p.319-328, 2005.

DIECKOW, J., BAYER, C., CONCEIÇÃO, P. C., ZANATTA, J. A., MARTIN-NETO, L., MILORI, D. B. M., SALTON, J. C., MACEDO, M. M., MIELNICZUK J., HERNANI, L. C. Land use, tillage, texture and organic matter stock and composition in tropical and subtropical Brazilian soils. **European Journal of Soil Science**. v.60, p.240-249, 2009.

DOMINY, C. S., HAYNES, R. J., ANTWERPEN, R. V. Loss of soil organic matter and related soil properties under long-term sugarcane production on two contrasting soils. **Boil Fertil Soils**. v.36, p.350-356, 2002.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F. e STEWART, B. A. eds. **Defining soil quality**

for a sustainable environment. Madison, Soil Science Society of America, n.35, p. 3-22, 1994.

DOU, F.; WRIGTH, A. L.; HONS, F. M. Depth distribution of soil organic C and N after long-term soybean cropping in Texas. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.94, n.2, p. 530-536, 2007.

EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas (Rio de Janeiro, RJ). **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Alagoas.** Recife, 1975. 532p. (EMBRAPA-CPP. Boletim Técnico, 35; SUDENE. Série Recursos de Solos, 5).

EMBRAPA. Centro de Pesquisas Pedológicas (Rio de Janeiro, RJ). **Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado de Alagoas.** Recife, 532 p. 1975.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solo. 1997. **Manual de Métodos de Análises de Solos.** Rio de Janeiro, 212 p., 1997.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília, DF, 353 p, 2013.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2. edição revisada – Rio de Janeiro, 1999.

EPRON, D.; MARSDEN, C.; M'BOU, A.T.; SAINT-ANDRÉ, L.; D'ANNUNZIO, E.; NOUVELLON, Y. Soil carbon dynamics following afforestation of a tropical savannah with *Eucalyptus* in Congo. **Plant & Soil**, v.323, p.309-322, 2009.

FANNING, D.S.; FANNING, M.C.B. **Soil: morphology, genesis and classification.** John Wiley e Sons, 395p., 1989.

FELLER, C.; CASABIANCA, H.; CERRI, C. C. Renouvellement du carbone des fractions granulométriques d'un sol ferrallitique forestier (Brésil) mis en culture de cannes à sucre. Etude par le ¹³C enabondance naturelle. **Cahiers Orstom**, Série Pédologie, v.25, n.4, p.365-369, 1991.

FELLER, C.; BEARE, M. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, p.69-116, 1997.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.35, n.6, p.1039-1042, nov./dez. 2011.

FERNANDES, T. J. G. F.; SOARES, C. P. B.; JACOVINE, L. A. G.; ALVARENGA, A. DE P. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes quantification of carbon stored in the aerial part and roots of 12-year-old hevea sp., in the “zona da mata mineira”. **Revista Árvore**, v.31, p.657-665, 2007.

FIDEM. **Monitoramento das Reservas Ecológicas da Região Metropolitana do Recife.** FIDEM, 1993. Recife.

FILIZOLA, H.F.; LAMOTTE, M.; FRITSCH, E.; BOULET, R.; ARAUJO FILHO, J.C.; SILVA, F.B.R.; LEPRUN, J.C. Os fragipãs e duripãs das depressões dos tabuleiros costeiros do Nordeste brasileiro: uma proposta de evolução. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.947-963, 2001.

FIORENTIN, L. D.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A. Quantificação e modelagem da biomassa e carbono da regeneração natural em área de floresta ombrófila mista. **Revista Brasileira de Biomassa**, São Paulo, v.33, n.2, p.251-267, 2015.

FORTES, C.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C. Long-term decomposition of sugarcane harvest residues in Sao Paulo state, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 42, p. 189-198, 2012.

FU, X.; SHAO, M.; WEI, X.; ROBERTM, H. Soil organic carbon and total nitrogen as affected by vegetation types in Northern Loess Plateau of China. **Geoderma**, v.155, p.31-35, 2010.

FUJISAKA, S.; CASTILLA, C.; ESCOBAR, G.; RODRIGUES, V.; VENEKLASS, E. J.; THOMAS, R.; FISHER, M. The effects of forest conversion on annual crops and pastures: Estimates of carbon emissions and plant species loss in a Brazilian Amazon colony. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.69, p.17-26, 1998.

FRAGA, V.S. & SALCEDO, I.H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. **Soil Science Society American Journal**, v.68, p.215-224, 2004.

FRAZÃO, L. A.; SANTANA, I. K. S.; CAMPOS, D. V. B.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C. Estoques de carbono e nitrogênio e fração leve da matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob uso agrícola. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.1198-1204, 2010.

FREIXO, A. A.; DE MACHADO, P. L. O. A.; SANTOS, H. P.; SILVA, C. A.; FADIGAS, F. S. Soil organic carbon and fractions of a Rhodic Ferrasol under the influence of tillage and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.64, p.221-230, 2002.

GALDOS, V. M. Dinâmica do carbono do solo no agrossistema cana-de-açúcar. (**Tese de Doutorado**). 101f. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.

GALDOS, M. V.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Soil carbon stocks under and unburned sugarcane in Brazil. **Geoderma**, Amsterdam, v.153, n.3/4, p.347-352, 2009.

GALDOS, M. V.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P.; PAUSTIAN, K.; VAN ANTWERPEN, R. Simulation of Soil Carbon Dynamics under Sugarcane with the CENTURY Model. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 73, n. 3, p. 802-811, 2009.

GALLOWAY, JAMES N. et al. Nitrogen cycles: past, present, and future. **Biogeochemistry**, v. 70, n. 2, p. 153-226, 2004.

GASPAR, LÚCIA. Usinas de Açúcar de Pernambuco. **Pesquisa Escolar Online**, Fundação Joaquim Nabuco, Recife. Disponível em: <<http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisaescolar/>>. Acesso em: novembro, 2018.

GELAW, A.M., SINGH, B.R., LAL, R. Soil organic carbon and total nitrogen stocks under different land uses in a semi-arid watershed in Tigray, Northern Ethiopia. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.188, p.256-263, 2014.

GLATZELA, S.; KALBITZ, K.; DALVAC, M.; MOOREC, T. Dissolved organic matter properties and their relationship to carbon dioxide efflux from restored peat bogs. **Geoderma**, Amsterdam, v.113, p.397-411, 2003.

GOLCHIN, A. et al. The effects of vegetation and burning on the chemical composition of soil organic matter of a volcanic ash as shown by ¹³C NMR spectroscopy. II Density fractions. **Geoderma**, Amsterdam, v.76, p.175-192, 1997.

GOMES, M. A. F.; SOUZA, M. D. de; BOEIRA, R. C.; TOLEDO, L. G. de. **Nutrientes vegetais no meio ambiente: Ciclos Biogeoquímicos, Fertilizantes e Corretivos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 50 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 18). 2000.

GONÇALVES & SILVA. **O açúcar e o algodão em Pernambuco**. Recife: [s.n.], 1929. 90p.

GONZÁLEZ-PÉREZ, J. A.; GONZÁLEZ-VILA, F. J.; ALMENDROS, G.; KNICKER, H. The effect of fire on soil organic matter - a review. **Environment International**, New York, v. 30, p.855-870, 2004.

GOULART, L. V. L. Carbono orgânico em Neossolo Quartzarênico recuperado com lodo de esgoto sob espécies nativas da mata atlântica. (**Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas**). 94f. Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2017.

GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J.; MEYER, J. H. Soil organic matter content and quality: effects of fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v.34, n.1, p.93-102, 2002.

GRAHAM, M. H.; HAYNES, R. J. & MEYER, J. H. Changes in soil chemistry and aggregate stability induced by fertilizer applications, burning and trash retention on a long-term sugarcane experiment in South Africa. **European Journal Soil Science**, v.53, p.589-598, 2002a.

GREGORICH, E. G.; ELLERT, B. H. Light fraction and macroorganic matter in mineral soils. In: **Soil sampling and methods of analysis** (ed. M.R. CARTER). Canadian society of soil Science, Lewis Publication, Boca Raton, p.379-408, 1993.

GREGORICH, E.G.; JANZEN, H.H. Storage of soil carbon in the light fraction and macroorganic matter. In: CARTER, M.R., STEWART, B.A. (Eds.) **Structure and organic matter storage in agricultural soils**. Boca Raton: CRC Press, p.167-211, 1996.

GUEDES, C. M.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F. & MATTIAZZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.267-280, 2006.

GUO, L. B., GIFFORD, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. **Global Change Biology**. 8: 345-360, 2002.

HALL, S. J.; MATSON, P. A.; ROTH, P. M. NO_x emissions from soil: implications for air quality modeling in agricultural regions. **Annual Review Energy and the Environment**. v.21, p. 311-46, 1996.

HAN, F., HU, W., ZHENG, J., DU, F., ZHANG, X. Estimating soil organic carbon storage and distribution in a catchment of Loess Plateau, China. **Geoderma**, v.154, p.261-266, 2010.

HOLTZ, G. P., Dinâmica da decomposição da palhada e da distribuição do carbono, nitrogênio e fósforo numa rotação de culturas sob plantio direto na região de Carambeí-PR. (**Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo**). 129f. Universidade Federal do Paraná, 1995.

HOUGHTON, R. A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850-2000. **Tellus**. Series B. v.55, p.378-390, 2003.

HUGGETT, R. J. Soil landscape systems: a model of soil genesis. **Geoderma**, Amsterdam, v.13, p.1-22, 1975.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro. JANSON, C.H. 1983. Adaptation of Fruit Morphology to Dispersal Agents in a Neotropical Forest. *Science*, v.219, p.187-189.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Série Manuais Técnicos em Geociências 1, 2ª edição revista e ampliada. Rio de Janeiro, 2012.

IBGE - INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2014. Disponível em:<<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartogramas/estadual.html>> Acesso em: setembro, 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em:<<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=26&search=pernambuco>>. Acesso em: maio, 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em:

<<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=27&search=alagoas>>. Acesso em: junho, 2016.

INÁCIO, E. S. Distribuição vertical de carbono orgânico em Latossolos sob diferentes usos. (**Tese de Doutorado**). 86f. Universidade Federal de Lavras, 2009.

INDA JÚNIOR, A. V.; KÄMPF, N. Variabilidade de goethita e hematita via dissolução reductiva em solos de região tropical e subtropical. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.851-866, 2005.

IPCC - **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Climate change 2007. Climate change impacts, adaptation and vulnerability. Working Group II. IPCC <http://www.ipcc.ch/report/ar4>. Geneva, Switzerland: IPCC, 978 pp, 2007.

IPCC - **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Climate Change 2014: Synthesis Report. Mitigation of Climate Change. Working Group III. IPCC <http://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>. Geneva, Switzerland, 151 pp, 2014.

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; BURGOS, N.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. **Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. Recife, SUDENE, 1973. v.1. (Boletim Técnico, 26. Série Pedologia, 14).

JACOMINE, P. K. T. **Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil**. In: Workshop Coesão em Solos dos Tabuleiros Costeiros, Aracaju, Anais. Aracaju, Embrapa Tabuleiros Costeiros, p.19- 45, 2001.

JANDL, R.; LINDNER, M.; VESTERDAL, L.; BAUWENS, B.; BARITZ, R.; HAGEDORN, F.; JOHNSON, D.W.; MINKKINEN, K.; BYRNE, K.A. How strongly can forest management influence soil carbon sequestration? **Geoderma**, v.137, p.253-268, 2007.

JANSEN, H.H. Soil carbon: A measure of ecosystem response in a changing world? **Canadian Journal of Science**, 85:467-480, 2005.

JANTALIA, C. P., RESECK D. V. S., ALVES, B. J. R., ZOTARELLI, L., URUQUIAGA, S., BODDEY, R. M. Tillage effect on C stocks of clayey Oxisol under a soybean-based crop rotation in the Brazilian Cerrado region. **Soil & Tillage Research**. v.95, p.97-109, 2007.

JESUS, K. N. de. Estoques e dinâmica do carbono e nitrogênio em solos sob diferentes coberturas e usos de terra em Pernambuco. (**Tese de Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares**). 112f. Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

JIAO, Y.; XU, Z.; ZHAO, J. H.; YANG, W. Z. Changes in soil carbon stocks and related soil properties along a 50 year grassland to cropland conversion chronosequence in an agropastoral ecotone of Inner Mongolia, China. **Journal of Arid Land**, Xinjiang, v.4, p.420-430, 2012.

KALBITZ, K.; SCHMERWITZ, J.; SCHWESIG, D.; MATZNER, E. Biodegradation of soil derived dissolved organic matter as related to its properties. **Geoderma**, Amsterdam, v.113, p.273-291, 2003.

KALBITZ, K.; SCHWESIG, D.; RETHEMEYER, J.; MATZNER, E. Stabilization of dissolved organic matter by sorption to the mineral soil. **Soil Biology and Biochemistry**, v.37, n.7, p.1319-1331, 2005.

KÄMPF, N.; CURTI, N. Óxidos de ferro: indicadores de atributos e ambientes pedogênicos e geoquímicos. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E.G. R. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.107-138, 2000.

KANCHIKERIMATH, M. & SINGH, D. Soil organic matter and biological properties after 26 years of maize-wheat-cowpea cropping as affected by manure and fertilization in a Cambissol in semiarid region of India. **Agriculture Ecosystem Environment**, v.86, p.155-162, 2001.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of diferente agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: inferences to improve soil quality. **Plant and Soil**, The Hague, v. 338, p. 467–481, 2011.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2 ed. 431p., 2008.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.405-416, 2008.

KÖPPEN W. **Das Geographische System der Klimate**. In: Köppen W, Geiger W (Eds). *Handbuch der Klimatologie*, Bd. I, Teil C, Kraus Verlag, Nendeln, 1-43 pp, 1936.

KORNDORFER, G. H.; ANDERSON, D. L. Use and impact of sugar-alcohol residues vinasse and filter cake on sugarcane production in Brazil. **Sugar y Azucar**, Engle wood Cliffs, v.92, n.3, p.26-35, 1997.

LAL, R. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. **Environmental Pollution**, v.116, p. 353-362, 2002.

LAL, R. Soil erosion and the global carbon budget. **Environment International**. v.29, p.437-450, 2003.

LAL, R. Global Potential of Soil Carbon Sequestration to Mitigate the Greenhouse Effect, Critical Reviews. **Plant Sciences**, v.22, n.2, p.151-184, 2003.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. **Forest Ecology and Management**, v.220, p.242-258, 2005.

LAL, R. Carbon management in agricultural soils. Mitigation and Adaptation Strategies. **Global Change**, v.12, p.303-322, 2007.

LAL, R. Carbon sequestration. *Philosophical Transactions. Royal Society. Series B.* v.363, p.815-830, 2008.

LEIFELD, J., BASSIN, S.; CONEN, F.; HAJDAS, I.; EGLI, M.; FUHRER, J. Control of soil pH on turnover of belowground organic matter in subalpine grassland. *Biogeochemistry*, v.112, p.59–69, 2013.

LEITE, L. F. C. Compartimentos e dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e sua simulação pelo modelo Century. (**Tese de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas**).146 f. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.5, p.821-832, 2003.

LI, Z.; LIU, C.; DONG, Y.; CHANG, X.; NIE, X.; LIU, L.; XIAO, H.; LU, Y.; ZENG, G. Response of soil organic carbon and nitrogen stocks to soil erosion and land use types in the Loess hilly - gully region of China. *Soil & Tillage Research*. v.166, p.1-9, 2017.

LIMA, M. A. Emissão de gases de efeito estufa provenientes de sistemas agrícolas no Brasil. *Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento*, v. 3, p. 38-43, 2000.

LITTON, C.M.; RAICH, J.W.; RYAN, M.G. Carbon allocation in forest ecosystems. *Global Change Biology*, Oxford, v. 13, p. 2089–2109, 2007.

LOCATELLI, M.; MARCOLAN, A. L.; GONÇALVES, E. L.; SILVA, D. F.; MARCANTE, P, H. Matéria orgânica, densidade e porosidade do solo submetido à trituração de capoeira em Porto Velho, Rondônia. In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. 2006. Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas. Uberlândia-MG. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

LOPES, J. G. de A. **A atividade agroindustrial açucareira alagoana**. Maceió: IGASA, 1978.

LOSS, A.; PEREIRA, M. P.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L. H. C. dos; SILVA, E. M. R da. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, n.4, p.1077-1082, 2009.

LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, C. 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.

LUCA, E. F. de; FELLER, C.; CERRI, C. C.; BARTHÈS, B.; CHAPLOT, V.; CAMPOS, D. C.; MANECHINI, C. Avaliação de atributos físicos e estoques de carbono e nitrogênio em solos com queima e sem queima de canavial. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, n.2, p.789-800, 2008.

- LUIZÃO, F. J.; SCHUBART, H. O. R. Litter production and decomposition in a terra-firme of Central Amazonia. **Experientia**, v.43, p. 259-265, 1987.
- MAIA, J.L.T.; RIBEIRO, M.R. Cultivo contínuo da cana-de-açúcar e modificações químicas de um argissolo amarelo fragipânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, p.1127-1132, 2004.
- MAIA, S. M. F.; OGLE, S. M.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Changes in soil organic carbon storage under different agricultural management systems in the Southwest Amazon Region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.106, p.177-184, 2010.
- MARÍN-SPIOTTA, E.; CHAOPRICHIA, N.T.; PLANTE, A.F.; DIEFENDORF, A.F.; MUELLER, C.W.; GRANDY, A.S.; MASON, J.A. Long-term stabilization of deep soil carbon by fire and burial during early Holocene climate change. **Nature Geoscience**, v.7, p.428-432, 2014.
- MARQUES, J. J. Caracterização de áreas de manejo específico no contexto das relações solo-relevo. 2009. (**Tese de Doutorado em Ciência do Solo**). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 113f. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.
- MARQUES, J. D.O.; LUIZÃO, F. J.; TEIXEIRA, W. G.; MELO, N. E.; FEARNSSIDE, P. M.; SARRAZIN, M. Soil Carbon Stocks under Amazonian Forest: Distribution in the Soil Fractions and Vulnerability to Emission. **Open Journal of Forestry**, v.7, p.121-142, 2017.
- MARTINS, E. L.; CORINGA, J. E. S.; WEBER, O. L. S. Carbono orgânico nas frações granulométricas e substâncias húmicas de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico - LVAd sob diferentes agrossistemas. **Acta Amazonica**, v.39, n.2, p.655-660, 2009.
- MARTIN NETO, L.; ROSELL, R.; SPOSITO, G. Correlation of spectroscopy indicators of humification with mean annual rainfall along a temperate grassland climosequence. **Geoderma**, v.81, p.305-311, 1998.
- MEA - **Millennium Ecosystem Assessment**. Ecosystems and human well-being: synthesis report. Washington, D.C.: Island Press; 2005.
- MELO, M. L. **Estudos dos espaços Nordestinos do sistema gado-policultura de uso dos recursos**. SUDENE. Série Estudos Regionais. Recife, 554 p., 1980.
- MELLO IVO, W. M. P.; FERREIRA, S.; BIOT, Y.; ROSS, S. Nutrients in soil solution following a selective logging of a humid tropical terra firme forest North of Manaus, Brazil. **Environmental Geochemistry and Health**, v.18, p.69-75, 1996.
- MELLO IVO, W. M. P. Dinâmica da matéria orgânica em áreas de produção de cana-de-açúcar colhida crua e queimada no nordeste do Brasil. (**Tese de Doutorado em Tecnologias Energéticas e Nucleares**). 143f. Centro de Tecnologias e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

MONTERO, L. L. Carbono em Solos do Cerrado: vegetação nativa de cerradão versus plantios de Eucalyptus e Pinus. (**Tese de Doutorado em Ecologia**). 130f. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MORA, J.L.; GUERRA, J.A.; ARMAS-HERRERA, C.M.; ARBELO, C.D.; RODRÍGUEZ-RODRÍGUEZ, A. Storage and depth distribution of organic carbon in volcanic soils as affected by environmental and pedological factors. **Catena**, v.123, p.163-175, 2014.

MORAES, J. F. L.; VOLKOFF, B.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondonia. **Geoderma**, v. 70, p. 63-81, 1996.

MOREIRA, F. M. S; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. Lavras, UFLA, 626p., 2006.

MOTTA, V. T. **Bioquímica Básica**. Rio de Janeiro: MedBook. 2 ed. 374 p., 2011.

NAIR, P. K. R., NAIR, V. D., KUMAR, B. M., HAILE, S. G. Soil carbon sequestration in tropical agroforestry systems: A feasibility appraisal. **Environmental Science and Policy**, v.12, p.1099-1111, 2009.

NEVES, C. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; MACEDO, R. L. G.; TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Ciência Agrotécnica**, v.28, p.1038-1046, 2004.

NEILL, C.; PICCOLO, M. C.; MELILLO, J. M.; STEUDLER, P. A.; CERRI, C. C. Nitrogen dynamics in Amazon forest and pasture soils measured by ¹⁵N pool dilution. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v.31, p.567-572, 1999.

NICOLOSO, R.S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema de plantio direto. (**Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo**). Centro de Ciências Rurais. 150f. Universidade Federal de Santa Maria, 2005.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2016. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide. Disponível em: <<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/weekly.html>> Acesso em: agosto, 2016.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2017. State of the Climate: Global Analysis for Annual 2017, published online January 2017, retrieved on January 23, 2017. Disponível em: <<http://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2017/13>> Acesso em: setembro, 2017.

NORRISH, K.; TAYLOR, R. M. The isomorphous replacement of iron by aluminum in soil goethites. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.12, p.294-306, 1961.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Editora Guanabara Koogan S.A. 434p., 1983.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Tradução: Christopher J. Tribe. Rio de Janeiro: Guanabara

Koogan. 460p., 2013.

OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 201p., 1992.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.327-336, 2004.

OLIVEIRA, J. T.; MOREAU, A. M. S. S.; PAIVA, A. Q.; MENEZES, A. A.; COSTA, O. V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Bras. Ciência do Solo**, v.32, p.2821-2829, 2008.

OLIVEIRA, S. P. Compartimentos de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo no perímetro irrigado Jaguaribe-Apodi, Limoeiro do Norte-CE. **Monografia. (Graduação em Ciência do Solo)**. 64f. Universidade Federal do Ceará, 2008.

OLIVEIRA, W. R. D.; RAMOS, M. L. G.; CARVALHO, A. M.; COSER, T. R.; SILVA, A. M. M.; LACERDA, M. M.; SOUZA, K. W.; MARCHÃO, R. L.; VILELA, L.; PULROLNIK, K. Dynamics of soil microbiological attributes under integrated production systems, continuous pasture, and native Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 51, n.9, 2016.

OMAY, A. B.; RICE, C. W.; MADDUX, L. D. & GORDON, W. B. Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. **Soil Science Society America Journal**, v.61, p.1672-1678, 1997.

OSHER, L. J.; MATSON, P. A.; AMUNDSON, R. Effect of land use change on soil carbon in Hawaii. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.65, p.213-232, 2003.

PACHECO, M. R. P. S.; HELENE, M. E. M. Transcrições e notas: Atmosfera, fluxos de carbono e fertilização por CO₂. **Estudos Avançados**, v.4, n.9, p. 204–220, 1990.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. Estoque de carbono em cerrado sensu stricto do Distrito Federal. **Revista Árvore**, v.35, p.527-538, 2011.

PAN, Y.; BIRDSEY, R. A.; FANG, J.; HOUGHTON, R.; KAUPPI, P.E.; KURZ, W.A.; PHILLIPS, O. L.; SHVIDENKO, A.; LEWIS, S. L.; CANADELL, J. G.; CIAIS, P.; JACKSON, R. B.; PACALA, S. W.; MCGUIRE, A. D.; PIAO, S.; RAUTIAINEN, A.; SITCH, S.; HAYES, D. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. **Science**, v.333, p.988–993, 2011.

PANOSSO, A. R., MARQUES JR., J, MILORI, D. M. B. P., FERRAUDO, A. S., BARBIERI, D. M., PEREIRA, G. T, LA SCALA JR., N. Soil CO₂ emission and its relation to soil properties in sugar cane areas under slash-and-burn and Green harvest. **Soil & Tillage Research**, v.111, p.190-196, 2011.

PAUSTIAN, K.; ANDRÉN, O.; JANZEN, H. H.; LAL, R.; SMITH, P.; TIAN, G.; TIESSEN, H.; Van NOORDWIJK, M. & WOOMER, P. Agricultural soils as a sink to mitigate CO₂ emissions. **Soil Use Management**, v.13, p.230-244, 1997.

PEIXOTO, M. F. S.; **Atributos físicos, químicos e biológicos como indicadores da qualidade do solo**. Bahia: UFRB, 2008. 22 p. (Documento 01).

PENNOCK, D. J.; ZEBARTH, B. J.; DE JONG, E. Land form classification and soil distribution in Hummocky Terrain, Saskatchewan, Canada. **Geoderma**, Amsterdam, v.40, p.297-315, 1987.

PEREIRA, M. F. S.; NOVO JUNIOR, J.; SÁ, J. R.; LINHARES, P. C. F.; BEZERRA NETO, F.; PINTO, J. R. S. Ciclo do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Agropecuária Científica no Semiárido**, v.9, n.2, p.21- 32, 2013.

PERH/AL - **PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS**, 2010. Governo do Estado de Alagoas – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Relatório Síntese. v.1, Fortaleza, Consórcio IBI/ENGESOFTCE. 340p., 2010.

PILLON, C. N. et al. Dinâmica da matéria orgânica no ambiente. **Embrapa Clima Temperado**, 41 p., 2002.

PILLON, C. N. et al. Carbono e nitrogênio de um Argissolo Vermelho sob floresta, pastagem e mata nativa. **Ciência Rural**, v. 41, p. 447-453, 2011.

PINHEIRO, E. F. M., LIMA, E., CEDDIA, M. B., URQUIAGA, S., ALVES, B. J. R., BODDEY, R. M. Impact of pre-harvest burning versus trash conversation on soil carbon and nitrogen stocks on sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. **Plant and Soil**. v.333, p., 2010.

PLANTE, A. F.; FERNÁNDEZ, J. M.; HADDIX, M. L.; STEINWEG, J. M.; CONANT, R. T. Biological, chemical and thermal indices of soil organic matter stability in four grassland soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.43, p.1051-1058, 2011.

PORTUGAL, A. F.; IVO 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.

RAZAFIMBELO, T.; BERNARD BARTHE'S, B.; LARRE'-LARROUY, M.C.; LUCA, E.F.; LAURENT, J.Y.; CERRI, C.C.; FELLER, C. Effect of sugar cane residue management (mulching versus burning) on organic matter in a clayey Oxisol from southern Brazil. **Agriculture Ecosystem and Environment**, Amsterdam, v.115, n. 1/4, p.285-289, 2006.

REICOSKY, D. C. Long-term effect of mold board plowuigon tillage-induced CO₂ loss. In: KIMBLE, J. M.; LAL, R.; FOLLETT, R. F., eds. **Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil**. Boca Raton, CRC Press, p.87-97, 2002.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades física do solo**. Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Santa Maria - RS, 18p. 2006.

RESCK, D. V. S.; FERREIRA, E. A. B.; FIGUEIREDO, C. C.; ZINN, Y. L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole. p.359-417, 2008.

ROBERTSON, F. A.; THORBURN, P. J. Management of sugarcane harvest residues: consequences for soil carbon and nitrogen. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.45, p.13–23, 2007.

ROSA, R.; SANO, E. E.; ROSENDO, J. S. Estoque de Carbono em Solos sob Pastagens Cultivadas na Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. **Society & Nature**, v.26, n.2, p.333-351, 2014.

ROSCOE, R.; MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica**. EMBRAPA Agropecuária Oeste, 86p., 2002.

ROSCOE, R. et al. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares. **Embrapa Agropecuária**, 304 p., 2006.

ROSSET, J. S. Matéria orgânica e agregação de um Latossolo Vermelho cultivado com cana-de-açúcar em diferentes sistemas de manejo. (**Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo**). 82f. Universidade Estadual De Mato Grosso Do Sul, Aquidauana-MS, 2012.

ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F. Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n.110, p.6-11, 2005.

RUSSOW, R.; SICH, I.; NEUE, H. U. The formation of the trace gases NO and N₂O in soils by the coupled processes of nitrification and denitrification: results of kinetic ¹⁵N tracer investigations. **Chemosphere - Global Change Science**. n. 2, p. 359-366, 2000.

SÁ, J. C. M.; LAL, R. Stratification ratio of soil organic matter pools as an indicator of carbon sequestration in a tillage chronosequence on a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v.103, n.1, p.46-56, 2009.

SÁ, J. C. M.; CERRI, C. C.; DICK, W. A.; LAL, R.; VENZKE FILHO, S. P.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian oxisol. **Soil Science Society American Journal**, v.65, p.1486-1499, 2001.

SAIKAWA, E.; PRINNI, R. G.; DLUGOKENCKY, E. et al. Global and regional emissions estimates for N₂O. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v.14, p.4617-4641, 2014.

SAMPAIO, E. P. M. **Mineralogia do Solo**. Departamento de Geociências. Universidade de Évora. 22p. 2006.

SANTOS, André Luis da Silva; PEREIRA, Eugênia Cristina Gonçalves *et al.* **A expansão da cana-de-açúcar no espaço alagoano e suas consequências sobre o meio**

ambiente e a identidade cultural. Artigo publicado, 2007. Separata: revista de geografia agrária, v.2, n.4,p.19-37,2007.

SANTOS, D. H.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; FABRIS, L. B. Produtividade de cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.40, n.4, p.454-461, 2010.

SANTIAGO, A. D.; ROSSETTO, R.; MELLO IVO, W. M. P.; URQUIAGA, S. SUGARCANE. IN: HALFORD, N. G.; KARP, A. (Eds.). **Energy Crops**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, p.77-103, 2011.

SANTOS, J.C.P.; ARAÚJO FILHO, J.C.; BARROS, A.H.C.; ACCIOLY, L.J.O.; TAVARES, S.C.C.H.; SILVA, A.B. **Zoneamento agroecológico do Estado de Alagoas**. Recife: Embrapa Solos UEP Recife/ Secretaria de Estado de Agricultura e do Desenvolvimento Agrário de Alagoas, 2013. 9.v. il. Anexo mapas. CD-ROM.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; FILHO, J. C. A.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) - 5ª Edição rev. e ampliada**. Brasília, DF: EMBRAPA. 356p. 2018.

SCHAEFER, C. E. G. R.; FABRIS, J. D.; KER, J. C. Minerals in the clay fraction of Brazilian (Oxisols): a review, **Clay Minerals**, Londres, v.43, p.1-18, 2008.

SCHARLEMANN, J. P.; TANNER, E. V.; HIEDERER, R.; KAPOS, V. Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. **Carbon Management**, v.5, p.81-91, 2014.

SCHLESINGER, W. H. **Biogeochemistry: an analysis of global change**. 2nd. ed. Academic Press, 588 p., 1997.

SCHMIDT, M. W. I.; TORN, M. S.; ABIVEN, S. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v.478, n.7367, p.49-56, 2011.

SCHWERTMANN, U.; MURAD, E. The characterization of poorly crystalline Si-containing natural iron oxides by Mössbauer spectroscopy. **Hyperfine Interact.**, 41, 835–838, 1988.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R. M. Iron oxides. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. 2ed. Madison: SSSA. (Book Series, 1).p.379-438, 1989.

SCHULTEN, H. R.; SCHNITZER, M. The chemistry of soil organic nitrogen: a review. **Biologic Fertility Soils**, Berlin, v.26, p.1-15, 1998.

SEGNINI, A. Estrutura e estabilidade da matéria orgânica em áreas com potencial de sequestro de carbono no solo. (**Tese de Doutorado em Química Analítica**). 131f. Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance teste for normality (complete samples). **Biometryka**, v. 52, p. 591-611, 1965.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M.C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, p.709-717, 2009.

SKJEMSTAD, J.O.; TAYLOR, J. A. Does the Walkley-Black Method determine soil charcoal? *Commun. Soil Science Plant Analysis*, v.30, p.2299-2310, 1999.

SIGNOR, D. Estoques de carbono e nitrogênio e emissões de gases do efeito estufa em áreas de cana-de-açúcar na região de Piracicaba. (**Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas**). 119f. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

SILVA, J. E.; LEMAINSKI, J.; RESCK, D. V. S. Perdas de matéria orgânica e suas relações com a capacidade de troca catiônica em solos da região de cerrados do oeste baiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.541-547, 1994.

SILVA, C. A.; ANDERSON, S. J.; VALE, F. R. Carbono, nitrogênio e enxofre em frações granulométricas de dois Latossolos submetidos a calagem e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.593-602, 1999.

SILVA, H. C. H. Efeito de borda na fisionomia e estrutura da vegetação em fragmentos de floresta Atlântica de tamanhos distintos em Igarassu. (**Tese de Doutorado em Ciências Florestais**). 99f. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2004.

SILVA, J. E. RESCK, D.V.S.; CORAZZA, E. J.; VIVALDI L. Carbon storage in clayey Oxisol cultivated pastures in the “Cerrado” region, Brazil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.103, p.357-363, 2004.

SILVA, A. J. N.; RIBEIRO, M. R.; CARVALHO, F. G.; SILVA, V. N.; SILVA, L. E. S. F. Impact of sugarcane cultivation on soil carbon fractions, consistence limits and aggregate stability of a Yellow Latosol in Northeast Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.94, p.420-424, 2007.

SILVA, F. A. S.; **ASSISTAT Versão 7.7 beta** (2016) – Homepage <http://www.assistat.com>; DEAG - CTRN-UFCG – Atualizado em 01/03/2016.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.1187-1195, 2003.

SIX, J. et al. Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grasslands soil. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v.63, p.1367-1377, 1998.

SIX, J.; ELLIOT, E. T.; PAUSTIAN, K. Aggregates and soil organic matter dynamics under conventional and no-till systems, **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.63, p.1350-1358, 1999.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. **Soil Biology & Biochemistry**, v.32, p.2099-2103, 2000.

SIX, J.; FELLER, C.; KAROLIEN, D. Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable Agriculture-A Review. **Agronomic Sustainable Development**, p.755-775, 2002.

SIX, J.; CONANT, R. T.; PAUL, E. A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C saturation of soils. **Plant & Soil**, v.241, p.155-176, 2002.

SIX, J.; FELLER, C.; DENEFF, K.; OGLE, S. M.; SA, J. C. M.; ALBRECHT, A. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - effects of no-tillage. **Science**, Washington, v. 22, p. 755-775, 2002.

SIX, J. et al. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. **Agronomie**, v.22, p.755-775, 2002a.

SIX, J. et al. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, v.241, p.155-176, 2002b.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. **Soil Tillage Research**, v.79, p.7-31, 2004.

SLEUTEL, S., KADER, M. A., BEGUM, S. A., de NEVE, S. Soil-organic-matter stability in Sandy cropland soils is related to land-use history. **Journal of Plant Nutrient and Soil Science**, v.173, p.19-29, 2010.

SOLLINS, P.; HOMANN, P.; CALDWELL, B. Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. **Geoderma**, v.74, p.65-105, 1996.

SOUZA, R. A.; TELLES, T. S.; MACHADO, W.; HUNGRIA, M.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARAES, M. F. Effects of sugarcane harvesting with burning on the chemical and microbiological properties of the soil. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.155, p.1-6, 2012.

SOARES, R. C. M. R. A particularidade da responsabilidade social no setor sucroalcooleiro de Alagoas.(**Dissertação de Mestrado em Serviço Social**). 107f. Universidade Federal de Pernambuco, 2003.

SYERS, J. K.; CRASWELL, E. T. Role of organic matter in sustainable agricultural systems. In: LEFROY, R. D. B.; BLAIR, G. J. & CRASWELL, E. T., eds. Soil organic matter management for sustainable agriculture. **ACIAR**, 56., Ubon, Proceedings. Canberra, p.7-14, 1994.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley & Sons, 496 p., 1994.

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Sunderland: Sinauer Associates, 792p., 1998.
- TAN, Z., LAL, R., OWENS, L., IZAURRALDE, R. C. Distribution of light and heavy fractions of soil organic carbon as related to land use and tillage practice. **Soil & Tillage Research**, 92: 53-59, 2007.
- THORBURN, P.J., MEIER, E.A., COLLINS, K., ROBERTSON, F.A. Changes in carbon sequestration, fractionation and soil fertility in response to sugarcane residue retention are site-specific. **Soil & Tillage Research**, v.120, p.99-111, 2012.
- TIESSEN, H.; STEWART, W.B. & BETTANY, J.R. Cultivation effects on the amounts and concentrations of C, N and P in grassland soils. **Agronomy Journal**, v.74, p.831-835, 1982.
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil. **Agric. Ecosystems Environment**, v.38, p.139-151, 1992.
- TOLEDO, J. J. de. Influência do solo e topografia sobre a mortalidade de árvores e decomposição de madeira em uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. (**Tese de Doutorado em Ecologia**). 85f. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2009.
- TONELLO, V.M.M. Principais Aspectos do Ciclo Biogeoquímico do Elemento Carbono e seu Contexto na Atualidade. (**Dissertação de Mestrado em Ecologia Aplicada**). 133f. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; OLIVEIRA, O. C. de; LIMA, E.; GUIMARÃES, D. H. V. A importância de não queimar a palha na cultura de cana-de-açúcar. Seropédica: EMBRAPA-CNPBS. 12 p. (EMBRAPA-CNPBS. **Comunicado Técnico**, 5, 1991.
- URQUIAGA, S.; ALVES, B. J. R.; JANTALIA, C. P.; BODDEY, R. M. Variações nos estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa em solos das regiões tropicais e subtropicais do Brasil, uma análise crítica. **Informações agronômicas**, v.130, p.12-21, 2010.
- VANLAUWE, B.; DESCHEEMAEKER, K.; GILLER, K. E. et al. Integrated soil fertility management in sub-Saharan Africa: unravelling local adaptation. **Soil Discussion**, v.1, p.1239-1286, 2015.
- VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soil under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p.175-180, 1994.
- VITOUSEK, P. M. Global environmental change: an introduction. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 23, p. 1-14, 1992.
- VORONEY, R. P.; van VEEN, J. A. & PAUL, E. A. Organic C dynamics in grassland soils. 2. Model validation and simulation of the long-term effects of cultivation and rainfall erosion. **Canadian Journal of Soil Science**, 61:211-224, 1981.

WANG, D.; WU, G.; ZHU, Y. Grazing exclusion effects on above-and below - ground C and N pools of typical grassland on the Loess Plateau (China). **Catena**. v.123, p.113-120, 2014.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D. (Ed.). **Applications of soil physics**. New York: Academic Press. p.319-344, 1980.

WATZLAWICK, L. F.; CALDEIRA, M. V. W.; VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; GODINHO, T. O.; BALBINOT, R. Estoque de biomassa e carbono na floresta ombrófila mista montana. **Science Forest**, Piracicaba, v.40, n.95, p.353-362, 2012.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERGER, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, v.79, n.1/4, p.117-161, 1997.

ZHANG, C.; LIU, G.; XUE, S.; SUN, C. Soil organic carbon and total nitrogen storage as affected by land use in a small watershed of the Loess Plateau, China. **European Journal Soil Biology**. v.54, p.16-24, 2013a.

ZINN, Y. L.; RESK, D.; SILVA, J. E. Soil organic as affected by afforestation with Eucalyptus and Pinus in the Cerrado region of Brazil. **Forest Ecology e Management**, v. 166, p.285-294, 2002.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Edaphic Controls on Soil Organic Carbon Retention in the Brazilian Cerrado: Texture and Mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v.71, n.4, 2007.

ANEXOS

Anexo A: Caracterização dos resíduos agroindustriais utilizados para preparação do composto¹ e uso nos solos dos engenhos Cumbe e Piedade, em Pernambuco.

Torta de Filtro	
Componentes	Concentração na matéria seca (80 °C)
pH (CaCl ₂)	4,8
Nitrogênio total	1,50 %
Fósforo	3,18 %
Potássio	0,19 %
Umidade total	78,62 %
Matéria orgânica	84,38 %
Carbono orgânico	46,87 %
Atividade microbiana diária	18,71 mg/ gr de resíduo
Bagaço de Cana-de-açúcar	
pH (CaCl ₂)	3,0
Nitrogênio total	0,43 %
Fósforo	0,05 %
Potássio	0,19 %
Umidade total	62,46 %
Matéria orgânica	88,33 %
Carbono orgânico	49,07 %
Atividade microbiana diária	5,75 mg/ gr de resíduo
Lodo de lavagem	
pH (CaCl ₂)	7,3
Nitrogênio total	1,42 %
Fósforo	0,35 %
Potássio	0,25 %
Umidade total	80,26 %
Matéria orgânica	82,52 %
Carbono orgânico	45,85 %
Atividade microbiana diária	6,78 mg/ gr de resíduo

¹Composto de torta de filtro: utilização dos principais subprodutos gerados na indústria alcooleira, sendo eles: Palhagem: proveniente da matéria-prima; Água de lavagem: usada excessivamente para o processamento industrial da cana-de-açúcar, a fim de retirar excessos de terra e infecções da cultura; Bagaço: resíduo gerado na etapa de extração do caldo decana; Vinhaça e torta de filtro: resíduos provenientes da destilação (para recuperação do álcool) e clarificação do mosto (para fermentação).

Anexo B: Caracterização do húmus preparado na Usina São José Agroindustrial – PE

Componentes	Valores
Umidade total (100 – 110 °C)	50 %
Densidade	*0,75 Ton/M ³
Matéria orgânica total	25 %
Relação C/N	12/1
CTC	*300 me/100gramas
pH (CaCl ₂)	6,8 a 7,4
Nitrogênio	0,90 a 1,30 %
Fósforo	1,90 a 3,20 %
Potássio	0,15 a 0,30 %
Cálcio	1,90 %
Enxofre	0,20 %
Magnésio	0,20 %
Ferro	20.070 ppm
Cobre	40 ppm
Zinco	60 ppm
Manganês	520 ppm

*Converter: ton/m³ em g/cm³ é direta (1:1); meq/100g em mmolc/kg multiplica por 10; ppm em mg/g divide por 1000

Anexo C: Caracterização da torta de filtro utilizada como biofertilizante nos engenhos Miai de Baixo e Topless na Usina Coruripe, em Alagoas.

Torta de Filtro	
Componentes	Concentração na matéria seca
pH (CaCl ₂)	4,9
Nitrogênio total	1,55 %
Fósforo	1,36 %
Potássio	12,13 %
Cálcio	15,43 %
Magnésio	3,42 %
Enxofre	0,29 %
Umidade total (65 °C)/(100 °C)	66,98/1,4 %
Matéria orgânica	21,53 %
Carbono orgânico	11,96 %
Boro	12,27 ppm
Cobre	23,17 ppm
Ferro	4878,7 ppm
Manganês	193,39 ppm
Zinco	69,67 ppm

Determinações especiais	Valores	Referência
Condutividade elétrica (dS/m)	3,0	< 4,0
Capacidade de troca de cátion (mmol/Kg)	323,0	600-800
Relação CTC/C orgânico	111,37	> 1,7 ¹
Demanda química de oxigênio (mg/g)	20,73	300 ²
Relação C/N	7,7/1	10/1 ³

¹Indica bom índice de umificação; ²compostado; ³indica bom índice de umificação