

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ADRIANA OLIVEIRA ARAÚJO

DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM ÁREAS MANEJADAS
E PRESERVADA NA FLONA ARARIPE

FORTALEZA
2015

Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas manejadas e preservadas na FLONA
Araripe

ADRIANA OLIVEIRA ARAÚJO

FORTALEZA
2015

**DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO EM ÁREAS MANEJADAS
E PRESERVADAS NA FLONA ARARIPE**

ADRIANA OLIVEIRA ARAÚJO

Orientador: Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça.

Coorientadora: Prof. Dra. Maria Gorethe de Sousa Lima.

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola.

FORTALEZA
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal do Ceará

Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

A687d Araújo, Adriana Oliveira.
Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas manejadas e preservada na Flona Araripe
/ Adriana Oliveira Araújo. – 2015.
154 f.: il. color.; enc. ; 30 cm.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia
Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2015.

Área de Concentração: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido.

Orientação: Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça.

Coorientação: Profa. Dra. Maria Gorethe de Sousa Lima.

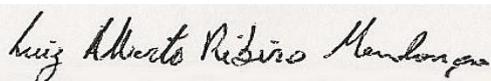
1. Engenharia agrícola. 2. Manejo florestal. 3. Solos. 4. Região semiárida. I. Título.

CDD 630

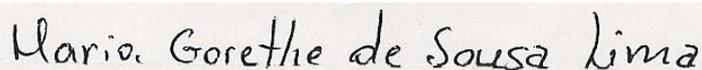
Esta tese é parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas no Semiárido outorgada pela a Universidade Federal do Ceará. Após a defesa uma via do presente estudo encontrar-se-á a disposição dos interessados na Biblioteca de Tecnologia da Referida Universidade. A citação de qualquer trecho desta tese será permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

Tese defendida em: 31/07/2015

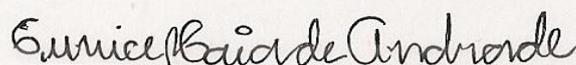
BANCA EXAMINADORA



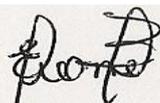
Prof. Dr. Luiz Alberto Ribeiro Mendonça
(Orientador)



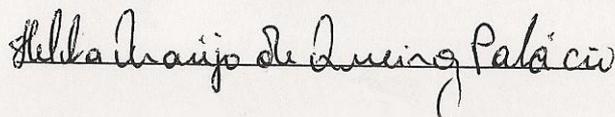
Prof^a Dr^a. Maria Gorethe de Sousa Lima
(Coorientadora)



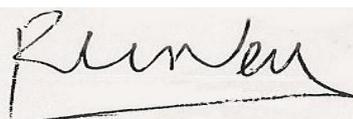
Prof^a Dr^a. Eunice Maia de Andrade
(Examinadora)



Prof^a Dr^a. Eliane Duarte Brandão
(Examinadora)



Prof^a Dr^a Helba Araújo de Queiroz Palácio
(Examinadora)



Prof. Dr. Ricardo Luiz Lange Ness
(Examinador)

“Ao grande PAI ETERNO “obrigada” por mais uma etapa”;

A minha mãe por me oferecer a oportunidade de viver e que estará sempre viva no meu coração;

A minha família em especial meu dois amores: José Roque da Silva Júnior e Juan Miguel Oliveira Roque Bezerra companheiros eternos nessa BATALHA.

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

- À Universidade Federal do Ceará, de modo especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pelos conhecimentos transmitidos durante o curso;
- A FUNCAP, pela concessão de bolsa de estudo e posteriormente a CAPES;
- Aos Laboratórios: Física do Solo do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal do Ceará e da Universidade Federal do Cariri, Saneamento da Universidade Federal do Cariri, Raios-X da Universidade Federal do Ceará e Departamento de Física e Alimentos da Universidade Federal da Paraíba;
- A todo o corpo docente do curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola em especial aos professores: Claudivan Feitosa de Lacerda; José Carlos de Araújo; Eunice Maia de Andrade; Luis de França Camboim Neto; Raimundo Nonato Távora Costa pelos conhecimentos que contribuirão para o meu crescimento profissional e humano;
- Aos Orientadores Luiz Alberto Ribeiro Mendonça e Maria Gorethe Sousa Lima em especial: pela atenção, paciência, confiança, respeito, estímulo, amizade, desde o início da graduação e colaboração na realização deste trabalho;
- Ao prof. Eduardo de Sá Mendonça pela humildade em compartilhar comigo seus conhecimentos sobre modelagem, serei sempre grata.
- Aos pesquisadores Dr. Parton e Dra Cynthia pelo apoio durante a aprendizagem no modelo Century e por receber e sempre retornar com tanta atenção os meus e-mail;
- Aos Professores: Dr. Fernando José Araújo da Silva, Dr. José Valmir Feitosa e Dra. Marta Regina Kerntopf pelos ensinamentos de academia e vida;
- Ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) – Crato, na pessoa de Verônica Maria de Figueiredo Lima, pelo apoio necessário ao desenvolvimento da pesquisa e por sempre está acessível.
- Aos proprietários da Fazenda Pau d'arco e Bonfim, Everardo Gomes de Matos e Ronaldo Sampaio Gomes de Matos, que cederam autorização das coletas na Unidade de Manejo Florestal para realização deste trabalho.
- Aos amigos Irmãos: Antonio Italey, Francisco de Assis, Aldênia, Cicero, Josy, Simone, Joseilson, Paulo Ricardo, Alison, Juliana, Rose, Jorgiana, Helba Araújo, José Vidal, Dora, Adriana Fernandes, Hernandes, Eveline, Ana Paula,

Mário, Cristine, Laudiane, Sávio, Dirceu, Carol, Lucimara, Henrique, Higor e Marcelo e pela convivência e laços de amizade.

- A todos os funcionários da UFC, principalmente Jacó, Aninha e Toinha, sempre solícitos na prestação de serviços.
- Ao motorista: Antonio e Edilson por nos conduzir de “mata à dentro” na coleta das amostras.
- Enfim, a todos que contribuíram direta e indiretamente para a minha formação.

RESUMO

A atual preocupação com as mudanças climáticas globais, decorrentes do aumento nas concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, em especial o CO₂, tem despertado a atenção da comunidade científica para o ciclo biogeoquímico do carbono. Assim, objetivou-se com este trabalho realizar um estudo teórico e experimental da dinâmica da matéria orgânica do solo, como forma de compreender se as alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo influenciam no sequestro e/ou emissão de CO₂ atmosférico. O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Araripe (FLONA- Araripe) e na Unidade de Manejo Florestal (UMF) da Fazenda Pau D'arco e Bonfim. Foram selecionados na UMF cinco talhões e na Reserva Ambiental e FLONA-Araripe uma área de aproximadamente 200 m². Em cada área foram selecionados cinco pontos aleatórios. Foram realizadas 6 coletas durante o período de 2012, 2013 e 2014 sendo 2 em cada ano nas profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm para a realização das análises: físicas, químicas, mineralógicas e microbiológicas. Utilizou-se análise de variância, com 6 repetições e 7 tratamentos. As médias das diferentes profundidades do solo foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de significância 5% aplicou-se a técnica da análise fatorial pelo método das componentes principais. Para o estudo teórico, utilizou-se o submodelo da dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS) disponibilizado no Aplicativo *Century* (versão 4.0). Acurácia das simulações foi verificado pelo coeficiente de correlação entre dados simulados e observados, calculados pela ferramenta de análise de dados do Microsoft Excel. As áreas apresentaram predominâncias do mineral caulinita e óxidos de ferro e alumínio nas áreas de estudo favorecendo a proteção do material orgânico. Na FLONA-Araripe foram encontrados os maiores teores de COT, C_{lábil}, estoque de C, C_{MIC}, C-MOL e, os menores valores da RBS e qCO₂, o contrário ocorreu da UMF. Análise de componente principal elucidou que dos oito atributos obtidos na análise de comunalidades são necessários apenas cinco para a compreensão da dinâmica da MOS, resultando em 2 atributos: COT, C_{lábil} e o IMC e o NT e C_{MIC}. Na calibração, o PRDX adequado foi (140 e 11 g C m⁻²) respectivamente, para as áreas da FLONA-Araripe e UMF. Os ajustes realizados nas constantes de decaimento de carbono em ambas as áreas (K) FLONA-Araripe DEC4 (0,00402) DEC5 (0,22500) e DEC3.2 (6,5000) geraram os seguintes erros (0,04;3,7; 2,3%) respectivamente. Os fatores de correção A*, foram (0,89) para carbono ativo (CA) e carbono passivo (CP) e (1,12) para carbono lento (CL). As

variáveis de entrada temperatura máxima e mínima foram mais sensíveis. A validação das simulações no aplicativo na UMF elucidou que o DEC4 não ocorre redução de C nos dois primeiros meses e estável aos 4 anos. DEC5 as reduções de C nos primeiros meses de manejo e recuperação aos 7anos e o DEC 3.2 reduções de C nos primeiros meses de manejo e estável 5 anos. Neste sentido, a utilização do aplicativo com ajustes necessários nas constantes de decaimento (DEC4, DEC5 e DEC3.2) responde satisfatoriamente ao acumulado de carbono no solo em função da qualidade e quantidade da MOS elucidando que a dinâmica da MOS influencia no sequestro de CO₂.

Palavras- chave: Modelo Century. Manejo Florestal.Solo. Semiárido. Floresta

ABSTRACT

The current concern about global climate change resulting from the increase in greenhouse gas concentrations in the atmosphere, especially CO₂, has aroused the attention of the scientific community to the biogeochemical cycling of carbon. This study performed a theoretical and experimental analysis of the dynamics of soil organic matter in an area subjected to clear cutting of native vegetation to understand the influence of changes in physical, chemical and biological soil properties on sequestration and/or emission of atmospheric CO₂. The study was conducted at the Araripe National Forest and at the Unit of Forest Management of the Farm Pau d'Arco and Bonfim. In the area of sustainable management, there were selected 5 out of 22 plots existing and an area of about 200 m² in the Environmental Reserve and FLONA-Araripe. In each area, we selected five random sites, at the layers 0-10, and 10-20 and 0-20 cm from 2012 2013 and 2014 amounting to 6 collections. The following analyses were performed: physical, chemical, mineralogical and microbiological. Climate data used in the Application Century, referring to the monthly rainfall, were obtained at the weather station of FLONA- Araripe. It was applied analysis of variance, with 6 replications and 7 treatments at the layers: 0-10, 10-20 and 0-20 cm. Mean values of the different layers were compared by Tukey's test at 5% probability, in the software Statistical Analysis Systems, using the factorial analysis by the main components method. For the theoretical study, we used the sub-model of the dynamics of soil organic matter available at *Century* 4.0. The accuracy of the simulations was verified by the correlation coefficient between simulated and observed data, calculated by Microsoft Excel data analysis tool. The areas showed predominance of mineral kaolinite and iron and aluminum oxides, thus favoring the protection of organic material. At FLONA- Araripe, we found the largest contents of TCO, C_{labile}, C storage, C_{MIC}, C-MOL and lower RBS and qCO₂, the opposite occurred for UMF. Principal component analysis evidenced that from 8 attributes obtained from the commonality analysis only 5 are required to understand the dynamics of MOS, resulting in two factors: TCO, C_{labile} and IMC and the NT and C_{MIC}. In the calibration, the appropriate PRDX was (140 and 11 g C m⁻²) respectively for FLONA and UMF. The fits of the carbon decay constants in both areas (K) FLONA- Araripe DEC4 (0.00402) DEC5 (0.22500) and DEC3.2 (6.5000) produced the following errors (0.04, 3.7, 2.3%). The correction factors A*

were (0.89) for carbon active (CA) and carbon passive (CP) and (1.12) for carbon level (CL). The input variables maximum and minimum temperatures were the most sensitive. The validation of the application in UMF elucidated that the DEC4 there was no reduction in C in the first two months, being stable at four years. DEC5 reductions in C in the first months of management and recovery 7 years and the DEC 3.2 reductions C in the first months of management and stable 5 years. In this sense, the use of the application with necessary fits in decay constants (DEC4, DEC5 and DEC3.2) responds satisfactorily to the carbon accumulated in the soil according to the quality and quantity elucidating the dynamics of SOM influences the CO₂ sequestration.

Key words: Century Model. Forest Management. Soil. Semi-arid. Forest

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – G eorreferenciamento (UTM, SAD 69, Zona 24) e os respectivos anos de adoção do manejo de cada área avaliada.	64
Tabela 2 – Parâmetros utilizados para a caracterização física, química e microbiológica do solo, com seus respectivos métodos e referências.	66
Tabela 3 – Valores médios (n=3) dos parâmetros químicos e da análise granulométrica de solo na profundidade de 0 - 20 cm, nas áreas de Unidade de Manejo Florestal (UMF) e floresta preservada (FLONA - Araripe).	71
Tabela 4 – Teores médios (n=6) de umidade (%) em áreas de floresta preservada (FLONA-Araripe) e Manejo Florestal (talhões T ₁ -T ₅ e RA) nas profundidades de 20, 40 e 60 cm do solo.	73
Tabela 5 – Valores médios (n=6) de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação C/N, nas áreas de Unidade de Manejo Florestal (talhões T ₁ -T ₅ e RA) e floresta preservada (FLONA-Araripe), nas profundidades de 0 - 10, 10 - 20 e 0 - 20 cm do solo.	74
Tabela 6 – Teores médios (n=6) de carbono lábil (C _{lábil}) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm do solo, em áreas de floresta preservada (FLONA-Araripe) e Unidade de Manejo Florestal (talhões T ₁ -T ₅ e RA).	79
Tabela 7 – Proporção de Carbono lábil (C _{lábil}) no Carbono Orgânico Total (COT) e Índice de Manejo de Carbono (IMC) , nas profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm do solo, em áreas de floresta preservada (FLONA-Araripe) e Unidade de Manejo Florestal (talhões T ₁ -T ₅ e RA).	82
Tabela 8 – Teores médios (n=6) de carbono das frações de ácidos fúlvicos (C-AF), ácidos húmicos (C-AH), humina (C-HUM) e índice de humificação (IH) nas áreas de Unidade de Manejo Florestal (talhões T ₁ -T ₅ e RA) e floresta preservada (FLONA -Araripe) nas profundidades de 0 - 10, 10 - 20 e 0 - 20 cm do solo.	85
Tabela 9 – Teores médios (n=6) da matéria orgânica leve (MOL) e de carbono da matéria orgânica leve (C-MOL) nas áreas de floresta preservada (FLONA-Araripe) e Unidade de Manejo Florestal (talhões T ₁ -T ₅ e RA) nas profundidades 0 - 10, 10 - 20 e 0 - 20 cm do solo.	87
Tabela 10 – Valores médios (n=6) de carbono da biomassa microbiana (C _{MIC}) e relação C _{MIC} /COT nas áreas de floresta preservada (FLONA -Araripe) e Unidade de	

Manejo Florestal (talhões T ₁ -T ₅ e RA) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm do solo.	90
Tabela 11 –Valores médios (n=6) da Respiração Basal do Solo (RBS) e Quocientemetabólico (qCO ₂ mg.CO ₂ .mg C _{MIC} dia ⁻¹) nas áreas de Unidade de Manejo Florestal (talhões T1-T5 e RA) e floresta preservada (FLONA-Araripe) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm do solo.....	94
Tabela 12 – Estatística descritiva (n = 6) dos atributos da FLONA-Araripe.	96
Tabela 13 – Coeficientes de correlação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo na área de floresta preservada (FLONA-Araripe).	97
Tabela 14 – Cargas fatoriais, comunalidades e variância explicada na análise fatorial dos atributos analisados.....	99
Tabela 15 – Constantes das taxas de decaimento (K) e dos fatores de correção (A), padrões do modelo, constantes ajustadas (K*) e fatores de correção ajustados (A*) das taxas de decomposição do carbono nos compartimentos passivo (DEC4), lento (DEC5) e ativo (DEC3.2) na área de floresta preservada (FLONA Araripe).	106
Tabela 16 – Ajuste das constantes de decaimento (K) da taxa de decomposição do carbono nos compartimentos CP (DEC4), CL (DEC5) e CA (DEC3.2) dos talhões (T) da UMF.....	110

LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Efeito combinado dos fatores abióticos
A*	Efeito combinado dos fatores abióticos da área de estudo
ABV	Biomassa acima do solo
ACP	Análise de componente principal
AF	Ácidos fúlvicos
AH	Ácidos húmicos
Al(OH) ₃	Gibbsita
Al ⁺³	Alumínio
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio
Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Caulinita
Al-OH	Aluminol da caulinita
APA	Área de proteção ambiental do araripe
ASMOS (1)	Água na profundidade do solo de 0-15 cm
ASMOS (6)	Água no solo profundo
BASEF	Fluxo de base
C	Carbono
C/N	Razão carbono e nitrogênio
CA	Compartimento ativo
Ca ²⁺	Cálcio
C-AF	Carbono da fração ácido fúlvico
C-AH	Carbono da fração ácido húmico
C _{AL}	Fração de carbono alocada no compartimento lento;
C _{AP}	Fração alocada no compartimento passivo
CC	Capacidade de campo
C-HUM	Carbono da fração humina
CL	Compartimento lento
C _{lável}	Carbono lábil
C _{lix}	Fração perdida por lixiviação
C _{mic}	Carbono da Biomassa Microbiana
C-MOL	Carbono fração leve
CO ₂	Dióxido de carbono

-COOH Grupos carboxílicos
COT Carbono orgânico total
CP Compartimento passivo
CTC Capacidade de troca de cátions
DEC3.2 Taxa decaimento compartimento ativo
DEC4 Taxa decaimento compartimento passivo
DEC5 Taxa de Decaimento Compartimento Lento
Dens Densidade do solo
DRX Difração de raio X
EST C Estoque de carbono do solo
EVAP Água interceptada evaporada
Fe Ferro
Fe₂O₃ Óxido de ferro
FeOOH Goethita
FLONA-Araripe Floresta Nacional do Araripe
FRX Fluorescência de raios-X
F_T Fração perdida decorrente da Respiração Microbiana;
H Hidrogênio
H₂O₃₀ Água percolada mensalmente abaixo 30 cm de profundidade do solo
HUM Humina
IH Índice de humificação
IMC Índice de manejo de carbono
K⁺ Potássio
K_i Taxa decomposição máxima do compartimento
KMnO₄ Permanganato de potássio
KMO Kaiser-meyer-olkin measure of sampling adequacy
L_c Impacto do conteúdo de lignina
LEAF Biomassa foliar
Ls Impacto do conteúdo de lignina do material estrutural
LVA Latossolo vermelho amarelo
Mg²⁺ Magnésio
MOAM Matéria orgânica associada aos minerais
MOD Matéria orgânica dissolvida

MOL Matéria orgânica leve
MOP Matéria orgânica particulada
MOS Matéria orgânica do solo
N Nitrogênio
NH₄⁺ Íon amônio
NO₃ Nitrato
NT Nitrogênio total
O₂- Oxigênio
-OH Grupo fenólicos
OH⁻ Hidroxi
P Fósforo
PCZ Ponto de carga zero
PET Evapotranspiração potencial mensal
pH Potencial hidrogeniônico
PPM P precipitação mensal
PRDX Produção máxima da biomassa
qCO₂ Quociente metabólico
q_{MIC} Quociente microbiano
QS Qualidade do solo
RA Reserva ambiental
RBS Respirometria basal do solo
S Enxofre
SHs Substâncias húmicas
SnH Substâncias não húmicas
SOM1C(2) Carbono do compartimento ativo
SOM2C Carbono do compartimento lento
SOM3C Carbono do compartimento passivo
SOMSC Carbono orgânico total
T_C Conteúdo de argila
T_m Efeito da textura do solo
TRAN Transpiração
T_S Conteúdo de areia
U Umidade
UMF Unidade de manejo florestal

LISTA DE FIGURA

Figura 1 - Fluxograma do balanço hídrico.	45
Figura 2 - Diagrama dos fluxos e compartimentos de carbono.	49
Figura 3 - Fluxograma dos compartimentos no Fluxo do Nitrogênio.	53
Figura 4 - Estrutura do Aplicativo <i>Century</i>	55
Figura 5 - Área de vegetação preservada na Floresta Nacional do Araripe (FLONA-Araripe).....	62
Figura 6 - Área da Unidade de Manejo Florestal (UMF).....	62
Figura 7 - Madeira extraída do talhão (T ₅), na Unidade de Manejo Florestal (UMF). ..	63
Figura 8 - Ilustração da área de vegetação preservada FLONA-Araripe e da Unidade de Manejo Florestal, com representação da Reserva Ambiental e dos talhões.	63
Figura 9 - Preparo das amostras de soloTFSA.	65
Figura 10 - Estoques de Carbono (Mg ha ⁻¹) em áreas de floresta preservada (FLONA-Araripe) e Unidade de Manejo Florestal (talhões T ₁ -T ₅ e RA), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm do solo.	77
Figura 11 - Difratoograma de raios X da fração argila.....	88
Figura 12 - Estabilização da Respiração Basal do Solo	95
Figura 13 - Erro relativo entre os valores medidos e calculados de COT e de estoque de carbono nos compartimentos CA, CP e CL vs. PRDX(4) para a área de floresta preservada (FLONA – Araripe).....	102
Figura 14 - Superfícies geradas pela variação do PRDX em função do erro considerando-se as taxas de decaimento DEC 3.2, DEC 4 e DEC 5, correspondentes, respectivamente, aos compartimentos CA (a), CP (b) e CL (c), na Reserva Ambiental.	103
Figura 15 - Estoques de COT e dos compartimentos de carbono na área de floresta preservada (FLONA-Araripe) na profundidade de 0-20 cm do solo, obtidos por meio da simulação de equilíbrio realizada pelo Aplicativo <i>Century</i>	105
Figura 16 - Estoques de COT e dos compartimentos de carbono na Reserva Ambiental (0-20 cm), obtidos por meio da simulação de equilíbrio realizada pelo Aplicativo <i>Century</i>	105
Figura 17 - Erro relativo (E) das concentrações de COT e de carbono nos compartimentos ativo (CA), passivo (CP) e lento (CL) vs. PRDX (4) (A), DEC4 (B),	

DEC5 (C) e DEC3.2 (D). R2 - coeficiente de determinação, a - coeficiente angular da reta de correlação.....	107
Figura 18 - Erro relativo (E) das concentrações de COT e de carbono nos compartimentos passivo (CP), lento (CL) e ativo (CA) vs. temperatura máxima mensal (A), temperatura mínima mensal (B), teor de argila (C) e teor de lignina (D).....	109
Figura 19 - Variações mensais das taxas de decaimento do carbono na área de Unidade de Manejo Florestal (UMF).....	111

LISTA DE QUADRO

Quadro 1. Parâmetros do FIRE.100	56
Quadro 2. Parâmetros do TREE.100	56
Quadro 3. Parâmetros do TREM.100	56
Quadro 4. Parâmetros climáticos e localização	57
Quadro 5. Parâmetro de controle de decomposição	57
Quadro 6. Parâmetro de matéria orgânica inicial do solo e nitrogênio	58
Quadro 7. Parâmetros inicial da matéria orgânica da vegetação.....	60

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	20
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1.	O CICLO DO CARBONO E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	23
2.1.1.	Matéria Orgânica do Solo.....	25
2.1.2.	Frações da Matéria Orgânica do Solo.....	26
2.1.3.	Estabilização da Matéria Orgânica do Solo	31
3.	FLUXO DO DIÓXIDO DE CARBONO NO SOLO	38
3.1.	INFLUÊNCIA DO MANEJO DO SOLO SOBRE A DISPONIBILIDADE DE CARBONO.....	40
3.2.	MODELOS MATEMÁTICOS DESENVOLVIDOS	42
4.	APLICATIVO <i>CENTURY</i>	43
4.1.	O SUBMODELO DE BALANÇO HÍDRICO, LIXIVIAÇÃO E TEMPERATURA DO SOLO	45
4.1.1.	Balanço Hídrico	45
4.1.2.	Lixiviação dos Minerais	46
4.1.3.	Temperatura do solo	47
4.2.	SUBMODELO DE PRODUÇÃO VEGETAL	47
4.3.	SUBMODELO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	48
4.3.1.	Nitrogênio.....	52
4.4.	ESTRUTURA LÓGICA DO <i>CENTURY</i>	54
5.	MATERIAL E MÉTODOS	61
5.1.	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E HISTÓRICO	61
5.2.	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	64
5.2.1.	Amostragem e Preparo do Solo	64
5.2.3.	Amostragem e Preparo das Amostras de Vegetal	67
5.2.3.1.	Determinação do teor de lignina vegetal	67
5.2.3.2.	Parâmetros de clima e temperatura do ar.....	68
5.3.	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	68
5.4.	ESTUDO TEÓRICO	69
5.4.1.	Estimativa dos Fluxos de Carbono do Solo das Áreas de Estudo	69
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
6.1.	ETAPA EXPERIMENTAL.....	71

6.1.1. Caracterização inicial do solo.....	71
6.1.2 Caracterização física e química das áreas estudadas	73
6.1.2. Caracterização Microbiológica.....	89
6.2. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA MULTIVARIADA	96
6.3. ETAPA TEÓRICA	101
7. CONCLUSÕES	115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
APÊNDICE 1 – Dados mensais de precipitação e temperaturas médias mensais dos últimos 30 anos das normais climatológicas. FLONA-Araripe.	133
APÊNDICE 2 – Dados mensais de precipitação dos últimos 30 anos e temperaturas médias mensais ano 2012 da UMF.....	134
APÊNDICE 3 – Parâmetros do arquivo Tree.100 do Aplicativo <i>Century</i> utilizados nas simulações de equilíbrio <i>default</i> “Luquillo” - “Floresta Tropical”, arquivo “F1”.	134
APÊNDICE 4 – Parâmetros do arquivo Tree.100 do Aplicativo <i>Century</i> utilizados nas simulações de equilíbrio <i>default</i> “Luquillo” - “Floresta Tropical”, arquivo “UMF”... ..	136
APÊNDICE 5 – Parâmetros do arquivo Trem.100 do Aplicativo <i>Century</i> utilizados nas simulações de equilíbrio <i>default</i> “CC Clearcut” , arquivo “UMF3”.	138
APÊNDICE 6 – Variáveis locais do arquivo SITE.100 do Modelo <i>Century</i> utilizada na condição de equilíbrio com base de dados de clima e solo da FLONA-Araripe, usados como padrão no arquivo “FLONA.100”	139
APÊNDICE 7 – Variáveis locais do arquivo SITE.100 do Modelo <i>Century</i> utilizadas na condição de equilíbrio com base de dados de clima e solo da R.A, usados como padrão no arquivo “manejo.100”.....	142
APÊNDICE 8 – Arquivo do EVENT.100 usado para a parametrização na situação de equilíbrio “ FLONA.SCH” utilizado no Aplicativo <i>Century</i>	145
APÊNDICE 9 – Arquivo do EVENT.100 usado para a parametrização na situação de equilíbrio R.A “manejo.SCH” utilizado no Aplicativo <i>Century</i>	146
APÊNDICE 10 – Arquivo do FIX.100 usado para os ajustes nas das taxas decaimento da MOS (FLONA-Araripe).	147
APÊNDICE 11 – Arquivo do FIX.100 usado para os ajustes das taxas de decaimento da MOS na UMF Reserva Ambiental	150
APÊNDICE 12 – Arquivo do FIX.100 usado para os ajustes das taxas de decaimento da MOS na UMF T1.....	151

APÊNDICE 13 – Arquivo do FIX.100 usado para os ajustes das taxas de decaimento da MOS na UMF T2.....	151
APÊNDICE 14 – Arquivo do FIX.100 usado para os ajustes das taxas de decaimento da MOS na UMF T3.....	151
APÊNDICE 15 – Arquivo do FIX.100 usado para os ajustes das taxas de decaimento da MOS na UMF T4.....	151
APÊNDICE 16 – Arquivo do FIX.100 usado para os ajustes das taxas de decaimento da MOS na UMF T5.....	152
APÊNDICE 17 – Arquivo do EVENT.100 usado para a validação na criação de cenários “MANEJO.SCH” utilizado na simulação do manejo realizado em cada Talhão (T ₁ a T ₅) e demais talhões no Aplicativo <i>Century</i>	152

1. INTRODUÇÃO

A atual preocupação com as mudanças climáticas globais, decorrentes do aumento nas concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, em especial o CO₂, tem despertado a atenção da comunidade científica para o ciclo biogeoquímico do carbono (C). Estudos indicam que a derrubada e a queima da vegetação, de áreas nativas em áreas destinadas à exploração agrícola, resultam na redução dos estoques de C do solo, sendo, portanto, uma das principais causas da emissão de C para a atmosfera (LAL, 2001; GUARESCHI, 2012). Assim, observa-se que os tipos de uso e ocupação do solo podem contribuir com a liberação ou sequestro de C.

Essas mudanças interferem na dinâmica da matéria orgânica do solo (MOS), que é o componente central do balanço global de C (BAYER *et al.*, 2006; BORTOLON, *et al.*, 2012). Neste contexto, o monitoramento dos efeitos do uso e ocupação dos solos sobre o estoque de C deve ser fundamentado nos processos físicos, químicos e biológicos envolvidos na dinâmica da MOS (LAL, 2002).

Além de satisfazer o requisito básico de ser sensível às modificações pelo manejo do solo, a MOS apresenta potencial para ser utilizada como atributo-chave da qualidade do mesmo (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005, ARAÚJO *et al.*, 2013).

Estudos realizados por Xavier *et al.* (2006) e Rangel *et al.* (2008), demonstraram que determinados compartimentos da MOS são capazes de detectar, mais rapidamente, as mudanças nos conteúdos de C no solo associadas ao manejo. Estas mudanças são, de modo geral, maiores que as observadas no carbono orgânico total do solo (COT). Logo, os diferentes compartimentos da MOS dão respostas distintas, dependendo da natureza do uso e ocupação, do tipo do solo, do clima e da vegetação original.

Em geral, o manejo inadequado e intensivo dos solos em regiões semiáridas, pode ocasionar a degradação do mesmo, caso seja reversível, requer muito tempo e recurso para a recuperação. Por outro lado, Sampaio e Salcedo (1997) ressaltam que, apesar da fragilidade da região semiárida, os mesmos fatores físicos, químicos e biológicos que causam limitação conferem certa resistência às alterações antrópicas às quais ela está frequentemente submetida, por exemplo, a proteção física e química que o material orgânico apresenta em regiões semiáridas, proporcionando uma estabilidade à MOS. As práticas de manejo e conservação do solo e água devem ser planejadas e executadas, considerando as peculiaridades ambientais de cada região, procurando manter ou

mesmo melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos dos solos, sem comprometer a qualidade do ecossistema (ARAÚJO *et al.*, 2007).

Partindo desse pressuposto, as práticas agrícolas desenvolvidas em Unidades de Manejo Florestal (UMF) da Área de Proteção Ambiental do Araripe (APA - Araripe), surge como um manejo alternativo da vegetação e do solo na tentativa de minimizar os impactos negativos causados pela interferência antrópica. Neste manejo, após a retirada da vegetação, o solo permanece em pousio, objetivando a recomposição dos teores da MOS e a disponibilidade de nutriente para o sistema solo-planta. Segundo Carvalho *et al.* (2010), a manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo e o mínimo revolvimento do mesmo, reduz a emissão de CO₂ para a atmosfera, aumentando os teores de carbono e nitrogênio.

Nesse sentido, a predição dos efeitos do clima, da composição atmosférica e do uso da terra sobre a dinâmica da MOS é essencial na formulação de políticas agrícolas, ambientais e socioeconômicas, o que torna bastante complexa sua avaliação temporal e espacial por métodos convencionais (LEITE; MENDONÇA, 2007). Portanto, como ferramenta de predição, considerando cenários específicos, além da utilização de índices que avaliam a qualidade do solo manejado, também será utilizado o Aplicativo Century (PARTON *et al.*, 1987; METHERELL *et al.*, 1994) para simulação da dinâmica da MOS numa área de manejo florestal da Chapada do Araripe.

Baseado no exposto anteriormente, tanto pela necessidade da capacidade produtiva da Chapada do Araripe, como pela perspectiva ambiental da dinâmica da MOS, surgiram as seguintes questões científicas:

- ✓ O impacto sobre o solo decorrente do corte (tipo raso) da vegetação em uma área de manejo altera os teores de carbono nos compartimentos da MOS?
- ✓ Qual o compartimento da MOS que constituirá o indicador mais sensível às mudanças de uso do solo?
- ✓ Como as mudanças de uso do solo interferem na liberação e/ou sequestro de carbono?
- ✓ Qual a interação entre os atributos biológicos e químicos dos solos manejados?

Neste contexto, as hipóteses apresentadas no âmbito deste estudo são:

- O corte (tipo raso) da vegetação nativa em solos submetidos ao manejo florestal reduz o estoque de carbono nos compartimentos do solo, devido ao menor aporte de resíduos vegetais nas profundidades superficiais do solo;
- A redução do estoque de carbono nos compartimentos do solo é decorrente das alterações nas interações organominerais em solos expostos as intempéries;
- O Aplicativo *Century* permite avaliar a dinâmica da matéria orgânica em solos submetidos ao corte (tipo raso) da vegetação nativa em região semiárida.

Assim, o objetivo geral dessa pesquisa é realizar um estudo teórico e experimental da dinâmica da matéria orgânica em uma área submetida ao corte, tipo raso, de vegetação nativa, como forma de compreender como as alterações nas características físicas, químicas e biológicas do solo influenciam no sequestro e/ou emissão de CO₂ atmosférico. Contribuindo com a identificação de possíveis alterações nas características do solo, visando subsidiar programas de monitoramento ambiental.

Para o desenvolvimento satisfatório desse estudo são propostos os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Caracterizar o solo da área de manejo florestal e da área controle (FLONA-Araripe) por meio de análises físicas, químicas e biológicas.
- ✓ Determinar os teores de lignina de material vegetal (madeira) nas áreas estudadas.
- ✓ Estimar a atividade da microbiota do solo por meio da evolução de CO₂ e das concentrações de carbono lábil e carbono da biomassa microbiana.
- ✓ Utilizar um índice de manejo para avaliar o acúmulo de carbono no solo.
- ✓ Simular os fluxos de carbono do solo das áreas de estudo utilizando o submodelo da dinâmica da matéria orgânica do solo disponibilizado no Aplicativo *Century*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O CICLO DO CARBONO E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Nos últimos anos, o ciclo do carbono (C) tem sido exaustivamente estudado por diversos pesquisadores, uma vez que o mesmo, sobretudo na forma de gás carbônico (CO₂), é o elemento chave nos processos que envolvem as mudanças climáticas globais (LAL, 2005; SIGNINI, 2007).

O C, numa escala global, circula entre três grandes reservatórios: o oceano, a atmosfera e os ecossistemas terrestres (solo e biota). Um quarto reservatório, o geológico (óleo, carvão, gás natural e carbono mineral) é constituído de carbono inativo ou não circulante (JOHNSON, 1995). Há uma estreita relação entre os três primeiros reservatórios e a alteração em um deles é capaz de provocar mudanças nos demais e vice-versa.

Termodinamicamente, o solo é um sistema aberto, caracterizado por constantes trocas de energia e matéria com o meio, estando sujeito ao intemperismo e à influência dos seres vivos, como as plantas, os microrganismos e, em grande parte dos casos, à ação antrópica (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009). Desse modo, o solo é considerado um sistema dinâmico e heterogêneo no espaço e no tempo, sendo fortemente influenciado pelas práticas de manejo.

Estimativas evidenciam que há aproximadamente 760 Pg de C na atmosfera (1 Pg = 10¹⁵ g), 560 Pg de C na biota e 2.500 Pg de C no solo, até um metro de profundidade (IPCC, 2001; LAL, 2005). A partir desses valores, fica evidente a importância da estimativa do balanço de C no solo, pois o mesmo pode apresentar importante influência nas concentrações de CO₂ na atmosfera e, possivelmente, no clima da Terra (KRISCHBAUM, 2000; LOPES, 2006).

Como o uso e manejo do solo é capaz de alterar efetivamente a dinâmica da matéria orgânica, produzindo danos ambientais (LAL, 2005), torna-se necessário a adoção de práticas que minimizem impactos tais como: adubação orgânica, redução de queimadas, acúmulo de resíduos vegetais de tal forma que o sequestro de C pelo solo seja maior que a emissão para a atmosfera. O estoque de Matéria Orgânica do Solo (MOS) é o resultado do balanço entre as quantidades de C adicionadas e perdidas, podendo o solo funcionar como um dreno ou fonte de CO₂ dependendo do sistema de manejo (MIELNICZUK *et al.*, 2003).

A antropização desordenada de aproximadamente 80% dos ecossistemas do Ceará, inclusive com algumas áreas já em fase inicial de desertificação (IBAMA, 2010), tem levado à extinção de espécies de fauna e flora endêmicas e ao desgaste de outros recursos naturais, a exemplo o solo.

Nesse contexto, a necessidade de entender como o uso e manejo do solo interfere na dinâmica da MOS vem conduzindo a comunidade científica a identificar atributos físicos, químicos e biológicos que possam contribuir para o monitoramento dos impactos positivos ou negativos sobre o solo. Dentre esses atributos, a matéria orgânica do solo em determinados compartimentos é capaz de detectar mais rapidamente as mudanças nos conteúdos de C no solo associados ao manejo (XAVIER *et al.*, 2006).

A dinâmica da MOS é fortemente afetada pelas práticas de manejo e uso do solo, tais como, tipo e variedade de cultura, uso abusivo de pesticidas, sistemas de plantio e a substituição de vegetação de mata nativa em sistemas de manejo. Parton *et al.* (1987), reportam que as mudanças nas entradas de carbono no solo são diretamente proporcionais aos resíduos vegetais e as alterações de manejo. Neste contexto, experimentos realizados por Zhang *et al.* (2001) no norte da China mostraram que o aumento inicial da MOS está associado ao uso de fertilizantes e a disposição de resíduos vegetais na superfície do solo.

Práticas de manejo que favorecem a oxidação da MOS pelos microrganismos e, a consequente liberação de CO₂, podem elevar ainda mais a quantidade de C na atmosfera. Contudo, quando práticas conservacionistas e outras atividades agrícolas são monitoradas e utilizadas adequadamente, o processo também pode ser inverso: o solo pode contribuir com o sequestro de CO₂ da atmosfera, retardando a emissão do mesmo. Desse modo, estas práticas, podem contribuir com o aumento dos teores da MOS, através do revolvimento do solo devido, o carbono ficar exposto e facilitar a degradabilidade pelos microrganismos e favorecer o incremento de C ao solo, garantindo a qualidade do solo e contribuindo com a minimização da emissão de CO₂ do mesmo para a atmosfera (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

Assim, um sistema de manejo do solo monitorado adequadamente pode contribuir para o sequestro de C, além de proporcionar fluxo da MOS, maior quantidade e qualidade da matéria orgânica em profundidades mais profundas, condicionando uma ampla diversidade da comunidade biológica na interfase planta – solo, mantendo o equilíbrio do sistema. Entretanto, no caso de manejo florestal, Fernandes (2002), afirma que a magnitude e a taxa de decréscimo da MOS dependerá dos métodos de conversão

das florestas em áreas de manejo, do clima, da intensidade do uso do solo e das propriedades físicas e química do mesmo.

2.1.1. Matéria Orgânica do Solo

A MOS pode ser definida como a porção do solo composta por um grande número de moléculas orgânicas com diferentes graus de complexidade e tamanho, apresentando comportamentos diferenciados decorrentes de variadas propriedades químicas e físicas (FERNANDES, 2002). Conforme Vezzani e Mielniczuk (2009), trabalhos vêm sendo realizados para identificar qual componente da MOS melhor representa os critérios exigidos para constituir um índice de qualidade do solo. O carbono e o nitrogênio na matéria orgânica particulada (MOP) e o C na biomassa microbiana foram sugeridos por Bolinder *et al.*, (1999) para os solos do leste canadense, pois foram as frações da MOS mais úteis e de mais fácil medição para constituir um conjunto mínimo de dados na avaliação da qualidade do solo.

Ressalta-se que os microrganismos do solo são essenciais para o ambiente devido sua importante função em muitas reações, tais como no ciclo de compostos minerais, na decomposição de material orgânico, no desenvolvimento das plantas e em vários processos biofísicos (WARDLE; GHANI, 1995; CRITTER *et al.*, 2004). A diversidade e a dinâmica sazonal natural da população microbiana do solo, assim como as funções desempenhadas pelas mesmas nos processos biofísicos são influenciadas por vários fatores, inclusive os tipos de manejo florestal e agrícola (CRITTER *et al.*, 2004).

No Brasil, pesquisadores também buscaram identificar componente da MOS são os melhores indicadores de qualidade do solo para diferentes condições ambientais. Os referidos pesquisadores concluíram que os mais indicados seriam: o carbono da fração leve e o carbono lábil (LEITE *et al.*, 2003); o C e o N da fração da matéria orgânica menor que 53 μm (CONCEIÇÃO *et al.*, 2005); o C e o N da biomassa microbiana e da fração leve da matéria orgânica (XAVIER *et al.*, 2006).

A MOS tem um papel fundamental na fertilidade dos solos, além de tornar-se fonte de nutrientes às plantas, fauna, microbiota, diminui as perdas dos mesmos por lixiviação, e minimiza a toxidez de elementos nocivos às plantas, especialmente o alumínio (VANCE *et al.*, 1995). Ela também influencia em importantes atributos do solo, tais como a agregação, aeração, densidade, capacidade de troca catiônica, permeabilidade, a infiltração e retenção de água, reduzindo o escoamento superficial e a

erosão (SILVA; MIELNICZUK, 1997; VIEIRA, 2007; ARAÚJO *et al.*, 2013). Esses aspectos explicam a razão pela qual a MOS se sobressai entre os indicadores de qualidade e de manejo dos solos (REEVES, 1997; CARTER, 2001; CONCEIÇÃO *et al.*, 2005; VEZZANI, 2001, 2009).

Estudos realizados por Mendonça *et al.* (2009) e Araújo *et al.* (2013), mostraram que das áreas preservadas na Floresta Nacional do Araripe para as áreas desmatadas há uma redução na MOS, com consequente aumento na densidade aparente e na microporosidade dos solos e redução na umidade, macroporosidade, condutividade hidráulica saturada e densidade da macrofauna edáfica. Essas alterações levaram à redução da capacidade de infiltração e a um possível esgotamento do solo, com consequente empobrecimento florestal. Nesta mesma área, Leite *et al.* (1990) observaram uma redução na água disponível no solo das áreas desmatadas em comparação com áreas preservadas. Nesse contexto, os sistemas agrícolas e manejos florestais, em substituição às florestas nativas, causam desequilíbrios de ecossistemas, modificando propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Porém, a intensidade destas modificações variam com as condições edafoclimáticas, a natureza do solo e os usos e manejos adotados (CARVALHO *et al.*, 2004; FIGUEIREDO, 2008).

Contudo, como forma de contribuir para a compreensão dos aspectos ecológicos inerentes ao manejo de floresta nativa, na vertente cearense da unidade de conservação federal de uso sustentável da APA na FLONA-Araripe, faz-se necessário analisar a dimensão espacial e temporal da ação antrópica na cobertura vegetal dessa área. Essa análise pode ser feita por meio da avaliação de possíveis alterações nas características físicas, químicas e microbiológicas da dinâmica da MOS.

2.1.2. Frações da Matéria Orgânica do Solo

Geralmente parte-se do pressuposto que o teor da MOS é um indicador de qualidade, entretanto, a simples quantificação do estoque total não fornece valores relevantes para diferentes tipos de manejo, clima e solos (NICOLOSO *et al.*, 2008). Além do mais o carbono total do solo não é um indicador sensível para avaliar as mudanças da qualidade do solo em função do manejo, devido a predominância de compartimentos mais recalcitrantes (GUIMARÃES *et al.*, 2012).

Sabe-se que a MOS é uma mistura de frações orgânicas que diferem quanto à estrutura química, os graus de decomposição e de interação com minerais e a proteção

física e química à oxidação biológica. Nesse aspecto, a magnitude da influência da MOS nos processos químicos, físicos e biológicos que ocorrem no solo é função tanto da quantidade, expressa em termos de carbono orgânico total (COT), quanto das frações carbono lábil, carbono da biomassa microbiana, carbono mineralizável – CO₂, carbono da fração leve e carbono das frações únicas (SIX *et al.*, 2002; CONCEIÇÃO, 2006).

Além do aspecto quantitativo que diferentes manejos promovem, as transformações ocorridas na MOS também podem ser devido modificações produzidas na qualidade do substrato (FLEIGL *et al.*, 1995; VIERA, 2007). A fração lábil apresenta alta taxa de decomposição, sendo a mais sujeita as mudanças resultantes do manejo, ela apresenta um curto período de permanência no solo (de 2 a 5 anos), e tem como principal função o fornecimento de nutrientes às plantas pela mineralização e de energia e C aos microrganismos do solo. Nesse contexto, a avaliação da fração lábil da MOS, expressa em termos de carbono lábil (C_{lábil}), é de fundamental importância para o conhecimento da qualidade química e biológica do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007; VIEIRA, *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2011).

Para quantificar o C_{lábil} utilizam-se procedimentos analíticos baseados na oxidação do permanganato de potássio (KMnO₄). Entretanto, principalmente para solos tropicais, alguns autores propõem diminuição na concentração usual do KMnO₄, que é de 0,33 mmol L⁻¹. Segundo Tirol-Padre e Ladha (2004), o método de fracionamento do carbono orgânico, baseado na suscetibilidade à oxidação com soluções de KMnO₄ de diferentes concentrações (variando de 33 a 333 mmol L⁻¹), foi originalmente proposto por Loginow *et al.* (1987), sobre a premissa de que a decomposição microbiológica da matéria orgânica está associada aos processos de oxidação de caráter enzimático que ocorrem nos solos. Para solos da Chapada do Araripe, no setor pernambucano, Shang e Tissen (1997) verificaram que esta concentração usual produziu uma forte oxidação, sendo, portanto, pouco eficiente para discriminar a fração lábil da MOS.

Uma análise mais detalhada da redução da concentração usual do KMnO₄ na estimativa do C_{lábil} foi feita por Weil *et al.* (2003). Eles analisaram 209 amostras de solos das Americas do Norte, Central e do Sul e concluíram que uma concentração de 20 mmol L⁻¹ de KMnO₄ pode ser utilizada em diversos tipos de solos com elevada sensibilidade (uma redução de cerca de 94% na concentração de KMnO₄). Neste trabalho eles obtiveram uma correlação linear positiva entre o C_{lábil} e o carbono da biomassa microbiana (C_{mic}), com coeficiente de determinação de aproximadamente 0,72. Esta mesma concentração de KMnO₄ também foi utilizada por Culman *et al.*

(2012) para estimatimar o $C_{\text{lábil}}$ de 1.379 amostras coletadas em 53 áreas de diferentes tipos de solos e ecossistemas (manejo intensivo e manejo natural). Nesse trabalho os autores também obtiveram uma correlação linear positiva entre o $C_{\text{lábil}}$ e o C_{mic} além de confirmarem a assertiva de que o $C_{\text{lábil}}$ é um indicador sensível de mudanças no ecossistema do solo. Seguindo esta mesma lógica, Passos *et al.* (2007), também propuseram uma redução na concentração de KMnO_4 , em que, utilizaram uma concentração de $15,6 \text{ mmol L}^{-1}$ e atingiram valores de $C_{\text{lábil}}$ mais próximos aos obtidos da produção acumulada de respirometria basal do solo (CO_2) avaliada durante 37 dias.

Neste contexto, os resultados obtidos nestes trabalhos sugerem que a MOS em regiões tropicais é relativamente mais lábil. Desde então, o carbono oxidado pelo KMnO_4 vem sendo utilizado no cálculo do índice de labilidade da MOS (BLAIR *et al.*, 1995), muito embora a natureza química do C oxidado não tenha sido ainda completamente elucidada. Em solo, as soluções de KMnO_4 oxidam rapidamente compostos orgânicos de baixa biodisponibilidade, em relação aos carboidratos de maior solubilidade, o que indica que esse método de oxidação não discrimina compostos orgânicos lábeis dos não-lábeis.

Por tudo isso, o C oxidado em concentrações elevadas de KMnO_4 não é um método confiável de determinação do $C_{\text{lábil}}$ do solo e, por isso, deve ser referenciado como C oxidado pelo KMnO_4 , quando utilizado em estudos de caracterização da matéria orgânica do solo (RANGEL *et al.*, 2008).

Uma das alternativas utilizadas na análise da dinâmica da MOS em relação a labilidade é a utilização do índice de manejo de carbono (IMC), tomando como base um solo de referência, constituído de vegetação em estado natural. O IMC leva em consideração os aspectos da labilidade da MOS, permitindo comparar as mudanças ocorridas entre o COT e o $C_{\text{lábil}}$, em consequência do uso e manejo solo (BLAIR *et al.*, 1995 ; VIEIRA *et al.* 2007). De acordo com Schiavo *et al.* (2011), o IMC parece ser uma ferramenta útil para subsidiar informações acerca dos melhores sistemas de manejo de solos e culturas, pois integra, numa mesma medida, as variações ocorridas nas diferentes frações da MOS.

Neste contexto, o grande mérito do IMC é o de contemplar, no mesmo índice, os componentes quantitativo e qualitativo da MOS. Entretanto, apesar da coerência teórica relativa a importância da quantidade e labilidade da MOS, este índice não tem sido utilizado pela comunidade científica com maior frequência. Isto pode ser devido ao fato de que o método utilizado na estimativa da concentração do $C_{\text{lábil}}$ exige calibrações, ou

ao menos testes, para cada tipo de solo. Aliam-se também a isso as dificuldades operacionais da análise (VIEIRA, 2007).

Um dos componentes vivos da MOS, excluindo-se a macrofauna e as raízes das plantas, é a biomassa microbiana que numa escala de sensibilidade, obtém-se, em primeira ordem, bastante variável e sensível. Ela é considerada como compartimento ativo na dinâmica da MOS, tratando-se de um componente lábil da fração orgânica do solo, correspondendo, em média, de 2% a 5% do C e aproximadamente 1% a 5% do N total do solo (JENKINSON; LADD, 1981; MENDONÇA; MATOS, 2005). Segundo SILVA *et al.* (2010), apesar do C_{mic} ser influenciado pelas condições bióticas (vegetação, sistema radicular, microrganismo) e abióticas (temperatura, clima, umidade) e pela qualidade do substrato do solo, ele também é considerado um possível indicador de qualidade do solo, porque representa a fração ativa e biodegradável da MOS, refletindo tendências, a médio e a longo prazo, nas frações de ciclagem mais lentas.

Menores valores de C_{mic} são geralmente encontrados em áreas degradadas, porém ela torna-se pouco informativa quando avaliada isoladamente (POWLSON *et al.*, 1987; MOREIRA;SIQUEIRA, 2006). A quantificação do C_{mic} pode ser realizada por vários métodos que são baseados nos seguintes aspectos: atividade de certas enzimas no solo, medidas da respiração basal, quantidade de C extraído de amostras fumigadas, entre outras (TÓTOLA; CHAER, 2002; MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). No entanto, trabalhos realizados por Silva *et al.* (2010) concluíram que a respiração basal não constitui um bom indicador para refletir as alterações na atividade microbiota, pois eles esperavam uma maior atividade respiratória em sistemas de menor intensidade de manejo e obtiveram resposta inversa.

Outro índice que pode ser utilizado para avaliar os impactos negativos produzidos por práticas de manejo no solo, decorrente do estresse na biomassa microbiana é o quociente metabólico proposto por Anderson e Domsch (1993). Este quociente é definido como a razão entre a respiração basal por unidade de tempo e a biomassa microbiana do solo, e pode ser considerado um índice que permite identificar solos que possuem biomassa mais eficiente na utilização de C e energia, refletindo assim, o grau de distúrbios ou estresse do ambiente (SILVA *et al.*, 2010). Para este índice, valores elevados, normalmente, são associados a ecossistemas jovens, submetidos a algum tipo de estresse, enquanto os menores valores são, geralmente, associados a ecossistemas maduros e estáveis (ANDERSON; DOMSCH 1993).

Matias *et al.* (2009), mencionam a falta de estudos concernentes a biomassa microbiana e o papel da mesma na ciclagem de nutrientes nos solos da região dos Cerrados tropicais, além da carência de abundância de informações em outras regiões do Brasil. Em se tratando dos solos da Chapada do Araripe esses dados ainda são inexistentes.

Além da matéria orgânica e da biomassa microbiana, a MOS também é constituída de substâncias não húmicas (SnH) e substâncias húmicas (SHs). As SHs pertencem à grupos bem conhecidos e possuem características físicas e químicas bem definidas, como por exemplo, aminoácidos, carboidratos, proteína, entre outros (SIGNINI, 2007). As SHs é uma mistura de moléculas com variações nas propriedades moleculares complexas, são macromoléculas polidispersas, heterogêneas, modificadas química e biologicamente, e compreendem cerca de 85 a 90% da MO de solos minerais (SILVA; MENDONÇA, 2007; PESSOA *et al.*, 2012). Quimicamente, possuem grupos ácidos carboxílicos e fenólicos, aromáticos e alifáticos com parte da cadeia hidrofílica e parte hidrofóbica (STEVENSON, 1994).

As SHs são formadas pelo processo de humificação da MOS. Zech *et al.* (1997), definem humificação como sendo a transformação de reserva macromorfológicamente identificáveis em compostos húmicos amorfos. Esse processo é caracterizado por alterações químicas dos resíduos orgânicos que são controladas por variáveis como temperatura, umidade, pH e disponibilidade de nutrientes.

As SHs podem ser fracionadas, em função da solubilidade ácido-base, em ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e humina (HUM), a diferentes valores de pH (STEVENSON, 1994; SILVA; MENDONÇA, 2007). De acordo com Moreira e Siqueira (2006), a fração orgânica humificada, além de fazer parte da matriz do solo na forma de colóides orgânicos, ela também influencia direta e indiretamente nas propriedades do mesmo, nas plantas e nos organismos. Os principais efeitos potenciais do húmus no solo são: melhoria das condições físicas, relacionadas a agregação, aeração, permeabilidade e retenção de umidade; aumento da superfície específica, capacidade de troca de cátions (CTC) e efeito tampão, conferindo maior estabilidade ao solo e atuando como agente de complexação, quelação e retenção de nutrientes.

Os ácidos fúlvicos (AF), de menor peso molecular, apresentam maiores quantidades de grupos carboxílicos (-COOH) e fenólicos (-OH) e maior acidez, atuando diretamente na mineralização da MOS, além de interagir com os óxidos de Fe e Al, com argilas e outros compostos orgânicos. Os ácidos húmicos (AH), apresentam menor

quantidade de grupos funcionais, são ácidos de peso molecular intermediário de grande capacidade de troca catiônica. A humina (HUM), de elevado peso molecular, é considerada a fração mais estável e participa nos complexos argilo-húmicos e organometálicos, sendo normalmente a mais abundante (STEVENSON, 1994, PASSOS 2000). Estas substâncias representam as frações mais estáveis da MOS. Esta estabilidade é atribuída à estrutura química complexa, associada à localização das mesmas no interior dos agregados do solo e às interações com minerais de argilas e cátions metálicos (THENG *et al.*, 1989). As práticas inadequadas de manejo podem alterar as propriedades químicas das SHs, indicando assim, o potencial de mobilidade do C no solo (GUIMARÃES *et al.*, 2012). A fração humificada representa cerca de 2/3 do C orgânico e tem maior permanência no solo (SILVA; MENDONÇA, 2007). O estudo dessa fração pode ser útil em virtude da maior precisão na obtenção de dados de estoque e na avaliação da qualidade do C do solo, visando conseguir mais informações acerca de mudanças climáticas globais, haja vista que o C humificado (C-HUM) é o principal responsável pelo sequestro de C em solos. Neste contexto, observa-se que o fracionamento da MOS é necessário no estudo e diferenciação de solos submetidos a diferentes manejos (PESSOA *et al.*, 2012).

2.1.3. Estabilização da Matéria Orgânica do Solo

A matéria orgânica do solo (MOS), definida por Stevenson (1994), compreende todo o material orgânico, de origem animal ou vegetal, como a liteira, os fragmentos de resíduos parcialmente decompostos, a biomassa microbiana, os compostos orgânicos solúveis e a matéria orgânica estabilizada no solo. Em um contexto mais amplo, pode abranger a biomassa total do solo, incluindo a meso e macrofauna. Logo, partindo deste contexto, a MOS representa um sistema de relevante grau de complexidade, que apresenta comportamento diferenciado decorrente das variadas propriedades químicas, físicas e biológicas.

Quanto a sua localização no solo, a MOS pode ser agrupada em: matéria orgânica particulada (MOP), que corresponde ao material pouco decomposto que ainda apresenta vestígios de material de origem; matéria orgânica associada aos minerais (MOAM), que é formada principalmente pelas substâncias húmicas que interagem com a superfície dos minerais por meio de seus variados grupos funcionais, formando complexos organominerais; e a matéria orgânica dissolvida (MOD), que constitui a fração solúvel

do solo, sendo composta por uma variedade de compostos orgânicos que compreendem desde ácidos simples e polissacarídeos a substâncias húmicas complexas (DICK *et al.* 2009).

Portanto, a matriz do solo tem grande influência na quantidade e qualidade da MOS. Em alguns casos, 90% da MOS está associada a fração mineral do solo (CORNEJO; HERMOSÍN, 1996). Parfitt *et al.* (1997), citam que a formação dos complexos organominerais aumenta a estabilidade da MOS, diminuindo a sensibilidade do estoque ao uso e manejo do solo, sendo altamente dependente da textura e da mineralogia da fração argila do solo.

Os três mecanismos atuantes na estabilização da MOS (químico ou coloidal, bioquímico e proteção física) envolvem o material orgânico e limitam a acessibilidade dos microrganismos no processo de degradação do substrato orgânico. Estes mecanismos são determinados pela mineralogia, estrutura e textura dos minerais distribuídos no solo (BALDOCK, J.A e SKJEMSTAD, J.O, 2000; PILLON *et al.*, 2002).

Baldock e Skjemstad (2000) enfatizam que a mineralogia do solo, em particular a fração argila, exerce controle sobre a proteção química e física, tanto pelo efeito do tipo de argila, como pela densidade de sítios ativos do solo, que são capazes de adsorver os materiais orgânicos e, assim, as argilas são mantidas num estado estável, tido como floculadas.

Segundo Six *et al.* (2002), os óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al) são mais frequentemente encontrados em solos com dominância do mineral caulinita (1:1). Estes óxidos são considerados fortes floculantes que podem reduzir a superfície disponível da caulinita, mas também podem favorecer a co-floculação da MOS e, conseqüentemente, estabilizá-la. Por isso, os argilominerálias e os óxidos são os principais minerais responsáveis pela interação com o material orgânico do solo (SOLLINS *et al.* 1996).

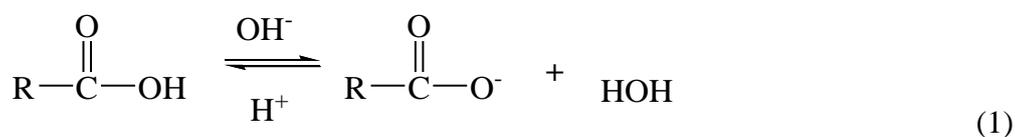
Grande parte da estabilidade da MOS ainda não é completamente entendida (SILVA e MENDONÇA, 2007). Zech *et al.* (1997) reportam-se que a estabilização da MOS por minerais podem desempenhar um papel muito mais importante em solos tropicais do que em solos temperados. Muitos desses solos são dominados por minerais de carga variável com baixa capacidade de troca de cátions (CTC), no qual o material orgânico é uma importante fonte nutricional para os solos, devido o baixo ponto de carga zero (PCZ) e o aumento da CTC.

Sollins *et al.* (1996) definem a estabilização como o decréscimo do potencial de perda do material orgânico por respiração microbiana, erosão ou lixiviação.

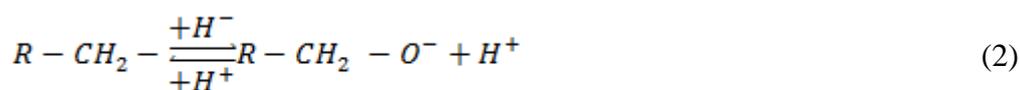
- **A estabilização química**

É atribuída a associação da MOS com as frações minerais de argila e silte do solo, o complexo silte-MOS é importante no processo de sorção. As argilas como possui área superficial de 50 a 100 vezes maior do que a soma equivalente entre areia e silte forma os complexos argilo-orgânicos. Os argilominerais e os óxidos são os principais responsáveis pela interação entre a MOS do solo (PILLON *et al.*, 2002; SILVA e MENDONÇA, 2007).

As superfícies minerais podem ser divididas em dois grandes grupos, dependendo da origem das cargas. As que possuem carga variável, que são originários da adsorção de íons em excesso. Neste caso, esses íons ao serem adsorvidos são capazes de modificar as cargas dos colóides. Os minerais predominantes na maioria dos solos brasileiros, que apresentam carga variável, são: a caulinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), a goethita (FeOOH), a hematita (Fe_2O_3) e a gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$). Estas cargas variáveis ocorrem tanto em colóides orgânicos (o humo, por exemplo) quanto nos inorgânicos (óxidos, caulinitas e montimorilonitas). Nos compostos orgânicos, as cargas manifestam-se devido a dissociação de grupamentos funcionais, principalmente grupos carboxílicos e fenólicos (Reação 1). Nesse caso, os principais grupos funcionais envolvidos são: os hidroxí (OH), expostos nas superfícies, coordenados com átomos de Fe ou de Al; e os aluminol da caulinita (Al-OH).



Nesses grupos funcionais a carga líquida de superfície é variável com o pH do meio. Em condições ácidas os grupamentos apresentam-se protonados, mas a medida que o pH aumenta, ocorrem a desprotonação (dissociação do H^+) como mostra a Reação 2.



Outro grupo é composto por minerais de carga permanente. Estes minerais são produtos das substituições iônicas, também denominadas “substituição isomórficas”, nas estruturas minerais e independem do valor de pH do meio. As substituições isomórficas produzem carga superficial significativa apenas nos minerais silicatados de argila do tipo 2:1, como exemplo: as esmectitas, a vermiculita e outros poucos minerais primários. De modo geral, as cargas permanentes são negativas, embora em alguns casos também possam ser formadas cargas positivas (PILLON *et al.*, 2002; ALLEONI *et al.*, 2009).

Na área de estudo deste trabalho, foi verificado a predominância da caulinita e dos óxidos de Fe e Al. Por essa razão, serão abordadas, a partir deste momento, às interações entre os minerais de carga variável e a MOS.

- **Mecanismos de interação organomineral**

Os principais mecanismos de interação organomineral, em solos de carga variável, incluem a atração eletrostática, pontes de hidrogênio e a reação de troca de ligantes (coordenação entre átomos de oxigênio, Fe e Al) (PILLON *et al.*, 2002).

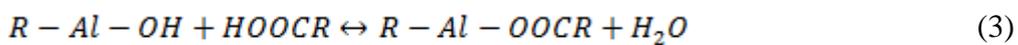
- **Atração Eletrostática**

A adsorção é um processo fundamental na interação entre os colóides orgânicos e inorgânicos do solo. As moléculas orgânicas podem ser adsorvidas pelos minerais de argila. O processo da adsorção de minerais ocorre entre a superfície de argilas silicatadas carregadas negativamente e compostos orgânicos que apresentam carga líquida positiva. A adsorção protege a MOS contra o ataque microbiano.

Zech *et al.* (1997) elucidam que nas argilas 2:1 o processo de adsorção é mais efetivo, enquanto que o efeito na caulinita é bastante fraco, mas ressaltam que há poucos estudos concernentes a estabilização da MOS em solos cauliníticos.

Como grande parte dos agrupamentos reativos da MOS também apresentam carga líquida negativa, em razão do baixo pH e do PCZ da maioria dos solos, deveria ocorrer a repulsão das moléculas orgânicas pelas partículas de argilas carregadas negativamente. Porém, essa repulsão não ocorre devido a atuação das pontes catiônicas, constituídas de grupos carboxílicos e fenólicos, carregados positivamente, que podem ainda se ligar diretamente a superfícies de óxidos em solos com predomínio de carga variável (SILVA e MENDONÇA, 2007).

- **Ponte de hidrogênio:** a ligação de hidrogênio (H) envolve forças de atração intermoleculares, na qual um átomo de H fica entre dois átomos pequenos, ligando o grupamento orgânico à superfície da argila, ambos carregados negativamente. Esse processo é de suma importância em solos ácidos, onde se verifica grande protonação de grupamentos reativos, tanto nas argilas como na MOS (SILVA e MENDONÇA, 2007).
- **Coordenação:** ânions orgânicos ligados a oxihidróxidos podem ser trocados por outros ânions, mas grande parte é ligada de forma específica por meio de troca de ligantes. Ânions orgânicos, ligados dessa forma, dificilmente serão deslocados por outros ânions, essa forma de ligação libera uma molécula de água para a solução (Reação 3).



Assim, o principal mecanismo de interação entre os óxidos e a MOS é a ligação por troca de ligantes, onde os grupos funcionais da MOS não são deslocados por reações de troca com outros ânions como, por exemplo, NO_3^- . Essa reação independe da força iônica, embora seja favorecida por pH mais baixo (CORNEJO e HERMOSÍN, 1996; PILLON *et al.*, 2002; SILVA e MENDONÇA, 2007).

Logo, parte da estabilização da MOS pode ser devida a influência da argila na atividade microbiana. As argilas mudam o ambiente para os microrganismos, influenciam o pH, a força iônica, a disponibilidade de substrato, bem como a produção e atividade de enzimas (ZECH *et al.*, 1997).

- **Estabilização física**

A agregação da argila com a MOS pode influenciar a acessibilidade do microrganismo ao substrato. No solo, os substratos microbianos são pouco solúveis e dependem da difusão das exoenzimas e da movimentação dos microrganismos. A proteção física no interior dos agregados é um fator importante que controla a decomposição da MOS (PILLON *et al.*, 2002; Sollins *et al.*, 1996).

Esta proteção está diretamente relacionada à formação e a estabilidade dos agregados do solo. A MOS pode ser protegida do ataque microbiano pela incorporação no interior de microagregados ou de macroagregados estáveis.

A presença dos microagregados está relacionada à gênese de solos altamente intemperizados e a mineralogia dos solos ricos em óxidos de Fe e Al (BURAK *et al.*, 2011).

Portanto, a estabilização da MOS não está principalmente relacionada a ligação química, mas também a perda de solubilidade devido sua captura e aprisionamento por hidróxidos insolúveis de ferro e alumínio (complexo organomineral). A formação desse complexo de baixa solubilidade torna impossível a utilização da matéria orgânica como substrato pelos microrganismos (ZECH *et al.*, 1997).

Silva e Mendonça (2007) explicam que os mecanismos de estabilização não são simultaneamente excludentes e que esta proteção física é aditiva à proteção química, conferida à maioria das substâncias húmicas, ou seja, ambas são interligadas.

- **Estabilização bioquímica**

A estabilização bioquímica ocorre devido a complexidade da MOS, que pode ser inerente ao material vegetal (por exemplo, alto teor de compostos fenólicos, lignina, taninos, etc.) presente no próprio resíduo vegetal ou ao processo de decomposição dos vegetais, tornando-se mais resistente a decomposição (SIX *et al.*, 2002).

A lignina é o segundo constituinte mais abundante na maioria dos resíduos vegetais. Ela é composta por monômeros de ácidos fenólicos que apresentam muitas ligações cruzadas a carboidratos e proteínas (SILVA e MENDONÇA, 2007).

Embora os compostos fenólicos apresentem papel importante na formação da MOS, pouco é conhecido sobre a magnitude com que estes compostos contribuem para o processo de humificação. Adicionalmente, também tem sido demonstrada forte relação entre a natureza química da fonte de lignina e a natureza química dos ácidos húmicos formados. Estudos têm demonstrado que a razão ácidos/aldeídos aumenta com a redução do tamanho dos agregados, sugerindo estágio mais avançado de oxidação da lignina, particularmente da MOS estabilizada junto com a fração argila (SILVA e MENDONÇA, 2007).

Neste contexto, muitos modelos de dinâmica da MOS expressam os processos de estabilização em seus compartimentos física e quimicamente protegidos, como por exemplo o utilizado no aplicativo *Century* (PARTON *et al.*, 1987).

No modelo da dinâmica da MOS do aplicativo *Century*, o compartimento referente a estabilização da mesma é o “compartimento passivo”. Neste contexto a

lignina faz parte do compartimento lento que alimenta o compartimento passivo. Assim, a falta de sensibilidade do modelo às variações dos teores de lignina poderá subestimar o fluxo de carbono do compartimento passivo. Além do mais, as estabilizações químicas e físicas, em detrimento da estabilização bioquímica, exercerão maior influência neste compartimento, uma vez que a textura do solo afeta a taxa de reciclagem da MOS ativa, a eficiência de estabilização da MOS lenta e o carbono que sai do compartimento lento para o passivo (SILVA e MENDONÇA, 2007).

Os autores Silva e Mendonça (2007) ressaltam que o fluxo do compartimento passivo é controlado unicamente pelo conteúdo de argila, no entanto, os diversos tipos de minerais na fração argila apresentam diferentes potenciais de estabilização da MOS neste compartimento.

De acordo com Oades *et al.* (1982) *apud* Silva e Mendonça (2007), os teores de Fe e Al influenciam os teores e a estabilização da MOS de duas formas:

1) Pela formação de compostos organominerais de alta estabilidade em decorrência da interação eletrostática das cargas positivas dos óxidos e cargas negativas da MOS, dificultando o acesso microbiano ao substrato orgânico; e

2) Por meio das mudanças na estrutura dos solos: solos ricos em óxi-hidróxidos de Fe e Al apresentam tipicamente estrutura granular. Os óxidos são responsáveis pela desorganização das partículas de argilas em escala microscópica, dificultando a orientação face a face dos cristais de caulinita. Esta desorientação impede a formação do plasma denso, favorecendo o surgimento da estrutura granular, depois de ciclos de umedecimento e secagem, o que garante maior resistência à interferência antrópica e as alterações no manejo do solo.

Os autores afirmam que a ausência destes aspectos no modelo da dinâmica da MOS do aplicativo *Century* pode acarretar a subestimação no compartimento passivo em solos que apresentam caulinita e óxidos de Fe e Al em abundância. Assim, a elevada capacidade de proteger a MOS nos microagregados destes solos deve ser considerada no modelo, por meio, por exemplo, da adoção de um "fator de agregação" a ser estabelecido para o compartimento passivo. Segundo os autores esta adoção possibilitará uma simulação do fluxo de carbono mais adequada para o compartimento passivo.

Estudos realizados por Motavalli *et al.* (1994), Leite (2002) e Fernandes (2002), utilizando o aplicativo *Century*, mostraram que a interação entre a mineralogia e a matéria orgânica pode levar a variações capazes de produzir diferenças significativas

nos teores de carbono estável do compartimento passivo. Assim, estes autores também reforçam a importância da realização de estudos que definam pressupostos entre a conceituação teórica dos compartimentos do modelo e as frações quantificadas química ou fisicamente. Estes estudos podem levar a simulações que representem a dinâmica da MOS no compartimento passivo de forma mais fidedigna, principalmente em solos tropicais.

3. FLUXO DO DIÓXIDO DE CARBONO NO SOLO

A produção de dióxido de carbono (CO₂) no solo ocorre por meio de processos biológicos, como a decomposição de resíduos orgânicos, a respiração dos microrganismos e do sistema radicular. Quase todo CO₂ produzido no solo é conduzido à superfície e liberado por difusão.

Os macroporos apresentam duas funções principais: a aeração da matriz do solo e condução de água durante o processo de infiltração. Portanto, são os responsáveis pela difusão e trocas gasosas que ocorrem no solo e, a quantidade elevada de macroporos favorece uma quantidade de ar suficiente à respiração das plantas, trocas entre o ar do solo e o atmosférico (AMARO FILHO *et al.*, 2008).

A difusão de gases no solo é devido ao gradiente de pressão parcial ou de concentração, que é um mecanismo lento e ocorre até que a concentração do gás seja uniforme em todos os pontos. A difusão pode ser interpretada como movimento de uma substância de uma região de maior concentração para outra de baixa concentração. Assim, enquanto o fluxo de massa é impulsionado pela pressão, a difusão é impulsionado pela concentração (LACERDA, 2007; AMARO FILHO *et al.*, 2008). A difusão é explicada pela lei de Fick (Equação 4).

$$J_s = D_s * \Delta C_s / \Delta X \quad (4)$$

Em que:

J_s- fluxo difuso [M L⁻³ T⁻¹];

D_s- coeficiente de difusão [L⁻¹T⁻¹];

ΔC_s- diferença de concentração [M L⁻³];

ΔX- distância percorrida [L].

A intensidade da respiração do solo está associada às condições de temperatura e umidade. A variabilidade temporal e espacial destas variáveis influencia diretamente as emissões de CO₂ do solo para a atmosfera (JASSENS *et al.*, 2001).

A umidade do solo exerce grande influência nas emissões de CO₂ pois, pode favorecer como também inibir a produção de CO₂. Linn e Doran (1984) reforçam a importância de estudos do equilíbrio entre os teores de ar e água nos poros do solo em relação à atividade microbiana. Os autores afirmam que teoricamente ocorre uma umidade ótima, com teor de água no solo em torno de 60%, o qual determina um ponto máximo de atividade microbiana aeróbia. O fluxo de CO₂ e oxigênio (O₂) é proporcional à porosidade de aeração (livre da água) e ao gradiente de concentração (KLAUS, 1990).

Desta maneira, um teor de umidade acima de 60% favorece o deslocamento do ar, restringe o processo de difusão do CO₂ entre o solo e a atmosfera, reduzindo, conseqüentemente, a disponibilidade de O₂ para a atividade de respiração (LINN e DORAN, 1984).

Assim, a redução da porosidade de aeração limita a difusão de CO₂ e a respiração microbiana. Neste contexto, quando a porosidade de aeração atinge valores próximos a zero, há um comprometimento na liberação de CO₂ (KLAUS, 1990).

Bunnell *et al.* (1977) verificou que o excesso de água no solo pode provocar uma barreira para a troca de O₂ e CO₂, ou de ambos, entre o solo e a atmosfera, subestimando o valor do efluxo. Essa assertiva foi corroborada por Zanchi *et al.* (2002) e Coelho (2005). Eles observaram que antes da saturação do solo com água ocorre um aumento no efluxo de CO₂, porque a água percolada expulsa o CO₂ dos poros. Entretanto, momentos antes da saturação começa a ocorrer um decréscimo do gás, devido a redução significativa da porosidade de aeração do solo, evitando a saída do CO₂, advindo da decomposição da matéria orgânica e da respiração das raízes.

Logo, a produção e/ou liberação de dióxido de carbono (CO₂) nas profundidades do solo são devido principalmente pela participação dos microrganismos na decomposição da matéria orgânica, e pela respiração das raízes. Esses processos são influenciados pela umidade e temperatura e dependem do manejo do solo, sendo assim, um ambiente sensível.

3.1. INFLUÊNCIA DO MANEJO DO SOLO SOBRE A DISPONIBILIDADE DE CARBONO

A qualidade do solo (QS) é definida por Doran e Parkin (1994) como sendo “a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde de plantas, animais e dos homens”. DORAN (1997) define a QS como sendo a capacidade do solo exercer funções importantes na natureza.

A QS pode ser determinada por índices capazes de servirem como indicadores, assim como existem indicadores de qualidade do ar e da água (VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

De acordo com Doran e Parkin (1994) existe um conjunto básico de indicadores de qualidade do solo, de ordem biológica, física e química, dentre os quais podem ser citados: respiração do solo, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana, textura do solo, profundidade do solo e de raízes, densidade, infiltração, teores de carbono e nitrogênio total e condutividade elétrica. A proposta é que esses indicadores estejam relacionados com as funções do solo.

Doran e Parkin (1994) e Larson e Pierre (1994), os precursores da QS, alertaram sobre a relação do manejo e a sustentabilidade agrícola. Neste contexto, eles instigaram a comunidade científica a entenderem a QS não apenas como a maximização da produção, mas como a otimização do uso do recurso solo e a manutenção de uma produtividade sustentável em um longo período. Para isto, surge a necessidade da obtenção de indicadores capazes de auxiliarem no acompanhamento da QS durante atuação de processos antrópicos.

Assim, a obtenção de indicadores de QS está embasada na proposta de elucidar, por exemplo, o processo de degradação, devido ao uso excessivo do solo, além de estimar a necessidade de pesquisas para entender as práticas de manejo e, assim, subsidiar o monitoramento ambiental do solo.

Os indicadores de QS tem que atender a requisitos essenciais, como: elucidar os processos do ecossistema; integrar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo; ser sensível às variações do manejo e clima e ser aplicável às condições de campo (DORAN, 1997). Além disso, os indicadores devem ser práticos, tanto para uso de pesquisadores como de agricultores, em uma ampla classe de situações ecológicas e

socioeconômicas, e devem descrever a maioria dos processos do solo (DORAN e PARKIN, 1994; VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

VEZZANI e MIELNICZUK, (2009) ressaltam que a matéria orgânica do solo (MOS) é considerada por muitos pesquisadores como indicador ideal para avaliar a qualidade do solo, uma vez que influencia diretamente os processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no solo. Por essa razão, a MOS se sobressai entre os indicadores de qualidade e de manejo dos solos (REEVES, 1997; CARTER, 2001; CONCEIÇÃO *et al.*, 2005; VEZZANI e MIELNICZUK, 2009).

A MOS tem um papel fundamental como fonte de nutrientes às plantas, fauna e microbiota, uma vez que diminui as perdas dos nutrientes por lixiviação e minimiza a toxidez de elementos nocivos às plantas, especialmente o alumínio (VANCE *et al.*, 1995). Ela também influencia em importantes atributos do solo, pois aumenta a agregação, aeração, capacidade de troca catiônica, permeabilidade, infiltração e retenção de água; reduzindo o escoamento superficial e a erosão (SILVA; MIELNICZUK, 1997; VIEIRA, 2007; ARAÚJO *et al.*, 2013).

Nesse contexto, existe a necessidade de se entender como o uso e manejo do solo interferem na dinâmica da matéria orgânica, e assim identificar qual das frações da MOS melhor representa os critérios exigidos para constituir um índice de QS. XAVIER *et al.* (2006) reportam que determinadas frações da MOS (carbono da biomassa microbiana, lábil e a matéria orgânica leve) são capazes de detectar mais rapidamente as mudanças nos conteúdos de C no solo associados ao manejo.

Estudos realizados por Blair *et al.* (1995) verificaram que os teores de carbono lábil (fração ativa) da MOS declinam ou se recuperam mais rapidamente do que o carbono não lábil ou carbono total, evidenciando que o carbono lábil é mais sensível que a dinâmica do carbono orgânico total (COT) do sistema. Em razão disso propuseram o Índice de Manejo de Carbono (IMC), que considera os aspectos da labilidade da MOS, permitindo comparar as mudanças ocorridas entre o COT e o C_{lábil}, tomando como base uma área controle (BLAIR *et al.*, 1995 ; VIEIRA *et al.*, 2007).

De acordo com Schiavo *et al.* (2011), o IMC parece ser uma ferramenta útil para subsidiar informações acerca dos melhores sistemas de manejos de solos e culturas, pois integra, numa mesma medida, as variações ocorridas nas diferentes frações da MOS.

O grande mérito do IMC é o de contemplar, no mesmo índice, os componentes quantitativo (COT) e qualitativo da MOS (carbono lábil, biomassa microbiana e matéria orgânica leve). Entretanto, apesar da coerência teórica relativa a importância da

quantidade e labilidade da MOS, este índice não tem sido utilizado, com frequência, pela comunidade científica. Este fato pode ser devido ao método utilizado na estimativa da concentração do $C_{\text{lábil}}$ exigir calibrações, ou ao menos testes, para cada tipo de solo (VIEIRA, 2007).

É importante destacar que, até o momento, existe, em regiões tropicais, uma grande carência de dados relacionados as práticas de manejo, responsáveis pela quantidade e qualidade da MOS. Ao se especificar a Região do Cariri cearense, estas informações são inexistentes; contrariamente ao que acontece nos ecossistemas das regiões temperadas, onde existe abundância deste tipo de informação.

Portanto, como forma de contribuir para a compreensão da influência da prática de manejo utilizada na unidade de manejo florestal (UMF), localizada em área adjacente a FLONA-Araripe, sobre a quantidade e qualidade da MOS, esta pesquisa pretende, dentre outros objetivos, estabelecer indicadores de qualidade do solo (IQS) que sejam sensíveis as alterações do solo decorrente da prática de manejo.

3.2. MODELOS MATEMÁTICOS DESENVOLVIDOS

Vários modelos matemáticos foram desenvolvidos considerando a MOS distribuída uniformemente no solo, sem levar em conta a dinâmica anual Dalal e Mayer (1986). Esses modelos são conhecidos como unicompartimentais, entretanto, outros modelos mais complexos também foram desenvolvidos considerando a MOS distribuída em vários compartimentos (multicompartimental) de dinâmica transiente, a exemplo do Aplicativo *Century*, proposto por Parton *et al.* (1987). Esse modelo considera diversos processos presentes na dinâmica da MOS ocorrendo simultaneamente, cujos compostos envolvidos possuem tempos variáveis de permanência no solo, dependendo dos mecanismos de estabilização (VAN VEEN e PAUL, 1981; PARTON *et al.*, 1987). No entanto, a maioria desses modelos tem sido aplicado apenas em escala local e poucos em escala regional, nacional ou continental (GRANT, 2001).

Os modelos multicompartimentais dividem o processo de ciclagem do C em vários compartimentos, cada um com taxas constantes de decomposição que são multiplicadas por uma ou mais taxas modificadoras para refletir fatores abióticos e bióticos. A maioria destes modelos multicompartimentais divide a MOS em compartimentos de ciclagem rápida, intermediária e lenta, todos com diferentes taxas de decomposição e permanência no solo (PARTON *et al.*, 1987).

No Brasil, o Aplicativo Century foi aplicado nas regiões Sul e Sudeste, apresentando bons resultados (SILVEIRA *et al.*, 2000; VEZZANI, 2001; DEBARBA, 2002; FERNANDES, 2002; LEITE *et al.*, 2004). Vezzani (2001), Debarba (2002) e Fernandes (2002), testaram o modelo para as condições edafoclimáticas do Rio Grande do Sul e verificaram um bom desempenho na simulação da dinâmica do C.

Silveira *et al.* (2000) aplicaram o modelo para simular os efeitos do uso dos solos na Bacia do rio Piracicaba-SP, e verificaram, através da simulação de vários cenários (sistemas floresta/cana-de-açúcar por 12 anos, floresta/pastagem por 20 anos, cana-de-açúcar por 20 anos e floresta/cana-de-açúcar por 50 anos), que o modelo simulou com sucesso a produção primária das plantas e os estoques de C de um Latossolo.

Leite *et al.* (2004) simularam a dinâmica do Carbono Orgânico Total (COT) e dos compartimentos de C em um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Viçosa-MG, após a mudança de uma área de floresta atlântica para agricultura (no período de 1930 a 1984) e posterior adoção, na mesma área agrícola, de tratamentos com adubação mineral e orgânica (no período de 1984 a 2002). Na primeira simulação eles verificaram uma redução nos estoques de COT devido, principalmente, à adoção de sistemas de preparo do solo convencional, com o uso excessivo de arados e grades.

4. APLICATIVO CENTURY

Vários modelos multicompartimentais têm sido testados e validados em ambientes tropicais, mas o Aplicativo Century é o mais utilizado em nível mundial. A primeira versão do Aplicativo Century (PARTON *et al.*, 1987) foi desenvolvida para simular a dinâmica dos nutrientes no solo sob pastagens nativas da Planície Central dos EUA. Posteriormente, foram feitas modificações na versão original, possibilitando a simulação na dinâmica da MOS para outros ecossistemas. Devido à consistência dos resultados, o Aplicativo Century tem sido frequentemente aplicado no estudo de sistemas de uso e manejo dos solos (SILVEIRA *et al.*, 2000; LEITE, 2002; FERNANDES, 2002; DEBARBA, 2002; OLIVEIRA, 2005).

A versão do Aplicativo Century v. 4.0 (METHERELL *et al.*, 1994) é composta de vários submodelos, permitindo a simulação da produção de plantas, ciclagem de nutrientes (N, P e S) e a dinâmica da MOS para sistemas de campo nativo, floresta, savana e culturas agrícolas.

A simulação é feita em escala de metro quadrado, na profundidade superficial do solo de 0 a 20 cm, usando passos de tempo mensal. Os três submodelos são: o de balanço hídrico, lixiviação e temperatura do solo; o de produção vegetal; e o da dinâmica da MOS.

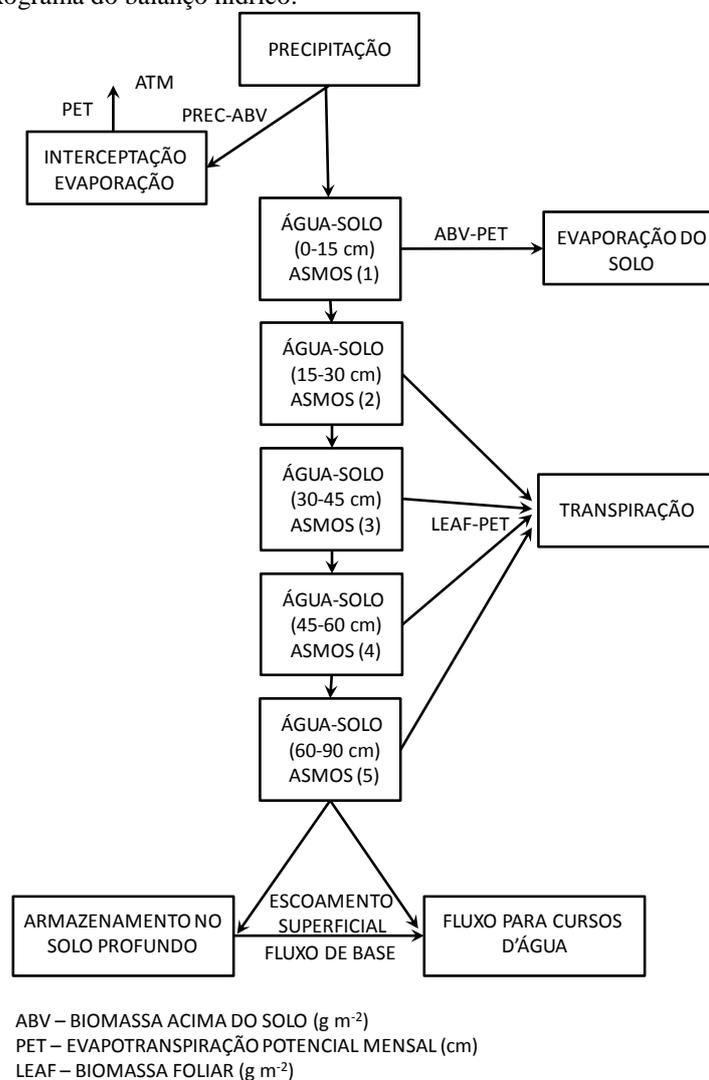
As principais variáveis de entrada do Aplicativo *Century* são: temperatura mensal média do ar, precipitação mensal, textura do solo (teores de areia, silte e argila), conteúdo de nitrogênio e de lignina do material vegetal e conteúdos do carbono e nitrogênio em diferentes compartimentos do solo. O Aplicativo *Century* simula em curto e longo prazo (10-1000 anos) a dinâmica do C, N, fósforo (P) e enxofre (S) em diferentes sistemas solo-planta. E contém vários submodelos: o da dinâmica da MOS, o submodelo de balanço hídrico e o submodelo de produção vegetal (LEITE e MENDONÇA, 2007).

4.1. O SUBMODELO DE BALANÇO HÍDRICO, LIXIVIAÇÃO E TEMPERATURA DO SOLO

4.1.1. Balanço Hídrico

O Aplicativo *Century* inclui um balanço hídrico simplificado. Nesse balanço calcula-se a evaporação e transpiração mensal, a perda e o conteúdo de água nas profundidades do solo e o fluxo saturado entre as mesmas (Figura 1).

Figura 1 . Fluxograma do balanço hídrico.



Fonte: METHERELL *et al.*, (1994).

De acordo com a Figura 1, o balanço hídrico do solo inicia-se com a precipitação, considerando a interceptação e evapotranspiração potencial (PET), a qual é calculada em função da média mensal de temperaturas máximas e mínimas do ar, usando uma equação desenvolvida por Linacre (1977). Sendo assim, a soma da interceptação com a PET é uma fração da precipitação mensal que não participa do processo de percolação. Água interceptada é evaporada (EVAP) e o conteúdo de água na profundidade do solo de 0-15 cm (ASMOS (1)), produzido após a drenagem do excesso de água (água acima da capacidade de campo), sofre perda por evapotranspiração (transpiração +evaporação).

O conteúdo de água no perfil do solo de 15 a 90 cm, dividido em 4 profundidades (ASMOS (2, 3, 4 e 5)), participa do processo de transpiração (TRAN). O conteúdo de água no solo profundo (ASMOS (6)) contribui para o fluxo de base (BASEF), que somado ao escoamento superficial produz fluxo em curso d'água.

Na profundidade de 0-30 cm a água armazenada é função da razão entre a precipitação mensal (PPM) e a PET, Equação (5).

$$U \left(\frac{PPM}{PET} \right) = \begin{cases} \frac{1}{1 + 30 \cdot e^{-8,5 \cdot \frac{PPM}{PET}}} & \text{se } \frac{PPM}{PET} \leq 1,5 \\ 1 - \frac{7}{15} \left(\frac{PPM}{PET} - 1,5 \right) & \text{se } \frac{PPM}{PET} > 1,5 \end{cases} \quad (5)$$

4.1.2. Lixiviação dos Minerais

O processo de lixiviação das formas assimiláveis do N (e NO_3 e NH_4^+), P e S ocorrem em compartimentos onde há fluxo de água saturada entre as profundidades. A fração do compartimento mineral que flui da profundidade superior para inferior é função do conteúdo de areia e da quantidade de água que flui entre as profundidades. Neste contexto, o modelo simula em intervalo de tempo mensal a perda de água da bacia por escoamento superficial, a lixiviação do N, P e S inorgânico e do C, N, P e S orgânico.

4.1.3. Temperatura do solo

A média mensal da temperatura do solo próximo a superfície é calculada usando equações desenvolvidas por Metherell (1994). As temperaturas mínima e máxima do solo são funções, das temperaturas mínima e máxima do ar, respectivamente, além da biomassa. Neste contexto, elevadas quantidades de biomassa contribuem com baixas temperaturas do solo, e vice-versa.

A taxa de decomposição e o crescimento das plantas são obtidos através da temperatura atual do solo, que é função da média entre as temperaturas mínima e máxima do mesmo.

4.2. SUBMODELO DE PRODUÇÃO VEGETAL

O Aplicativo *Century* simula a produção de plantas em diversos sistemas. Em florestas decíduas e contínuas o modelo simula o crescimento nas fases madura e juvenil. Neste contexto, as práticas que produzem distúrbios em larga escala, tais como o fogo e a retirada da vegetação causam muito impacto na produção da floresta.

O modelo assume que a produção máxima mensal da vegetação é controlada pela umidade e temperatura do solo. A taxa de máxima produção decresce se existir um suprimento insuficiente de nutrientes. A maioria das florestas e outros sistemas são limitados pela disponibilidade de nutrientes e geralmente respondem a adição de N e P. Assim, o modelo estima a concentração mineral do C e do N no material vivo e morto da parte aérea da vegetação, das raízes vivas e dos compartimentos estrutural e metabólico, além do estoque residual dos mesmos no solo. A produção máxima anual da parte aérea e das raízes sem limitações de nutrientes é calculada em razão da precipitação anual (PARTON, 1987; SILVEIRA *et al.*, 2000).

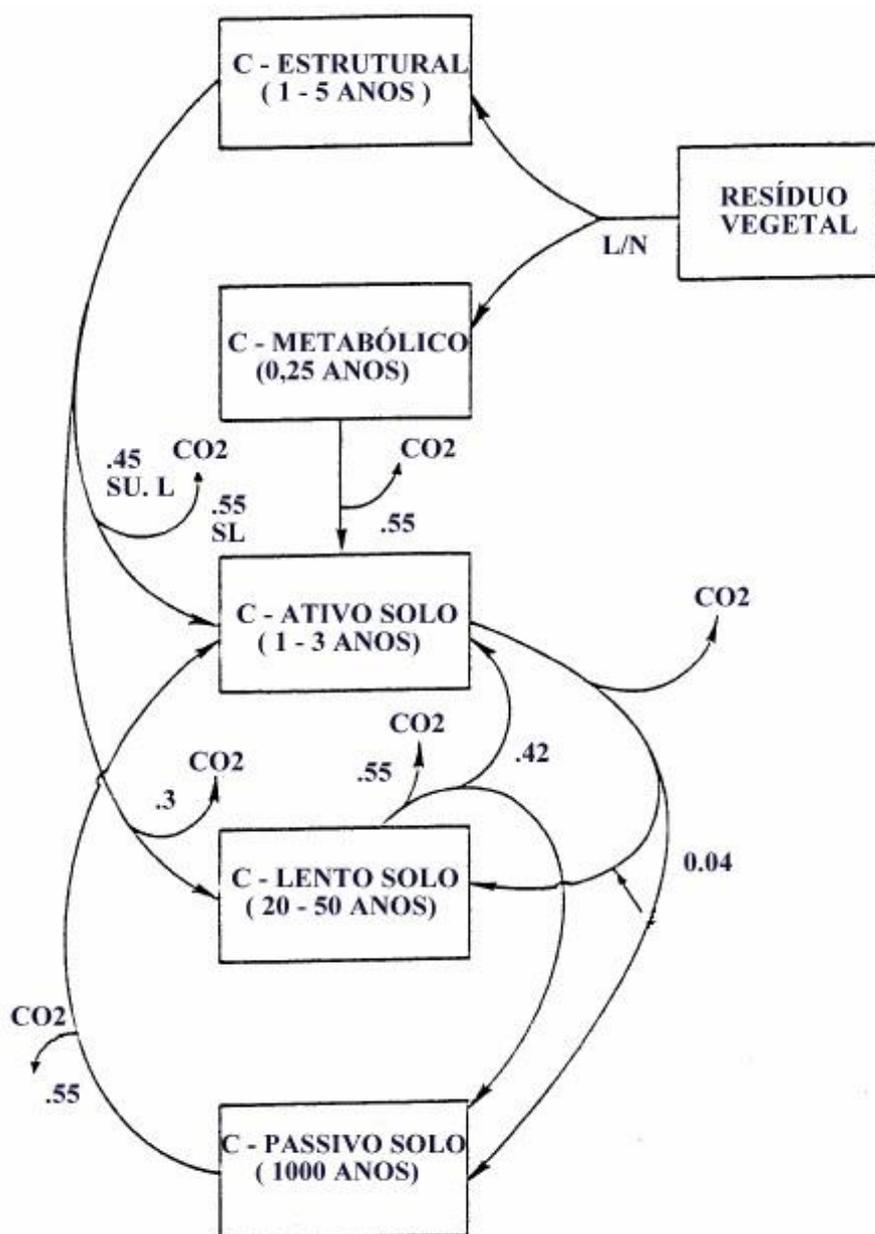
Diante do exposto o submodelo de balanço hídrico, lixiviação e temperatura do solo calculam as variáveis ambientais temperatura e umidade do solo; e o de produção vegetal calcula a absorção de nutrientes pelas plantas e as quantidades e qualidades dos resíduos vegetais. Estas variáveis são utilizadas no submodelo de dinâmica da matéria orgânica do solo (PARTON, 1996; LEITE e MENDONÇA, 2007).

4.3. SUBMODELO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

O submodelo da matéria orgânica é baseado em múltiplos compartimentos da matéria orgânica do solo (MOS), e similar a outros modelos de dinâmica da MOS (VAN VEEN; PAUL 1981).

Nesse submodelo, os resíduos vegetais são divididos em: superficial - são os resíduos da parte aérea; e solo - compreende os resíduos do sistema radicular. Essas frações se subdividem em dois compartimentos: o Estrutural - apresenta tempo de reciclagem de um a cinco anos; e o Metabólico - prontamente decomponível pela ação microbiana, com tempo de reciclagem de 0,1 a um ano. A divisão nesses compartimentos é feita de acordo com a relação lignina/nitrogênio dos tecidos. Nesse caso, quanto maior for essa relação, maior será a parte do resíduo alocada no compartimento estrutural (PARTON *et al.*, 1987) (Figura 2).

Figura 2 . Diagrama dos fluxos e compartimentos de carbono.



Fonte: PARTON *et al.*, (1998).

Já a MOS é dividida em três compartimentos (PARTON 1996; METHERELL *et al.*, 1994):

Ativo - representa os microrganismos do solo e produtos microbianos com tempo de decomposição de 1 a 3 anos, dependendo do ambiente e do conteúdo de areia. A textura do solo influencia o tempo de residência do carbono no solo (altas taxas para solos arenosos) e a eficiência da estabilização. A fração de produtos de decomposição do compartimento ativo é perdida pela lixiviação da matéria orgânica. A lixiviação da matéria orgânica é função da taxa de decaimento do teor de argila no solo. Neste caso,

menos perda ocorre em solos argilosos e o modelo assume que a adsorção e estabilização da matéria orgânica é lixiviada para baixo do perfil.

Lento - constituído pelo material vegetal resistente, pois parte das moléculas podem estar química e fisicamente protegida, com tempo de decomposição de 20 a 50 anos.

Passivo - constituído de material muito resistente à decomposição, com tempo de decomposição de 400 a 2000 anos, dependendo unicamente do conteúdo de argila.

Além desses compartimentos, existe o compartimento microbiano superficial, com taxa de reciclagem independente da textura do solo, transferido diretamente para o compartimento lento da MOS.

Como existem diversos fluxos de C entre os compartimentos da MO, o Aplicativo *Century* assume que esses fluxos são resultado da atividade da biomassa microbiana, estando, portanto, associados à respiração da mesma (LEITE e MENDONÇA, 2007). As frações de C perdidas devido à respiração microbiana são evidenciadas na (Figura 2)

De acordo com a Figura 2, o C que sai do compartimento ativo é dividido em quatro diferentes fluxos, os quais incluem respiração microbiana, lixiviação de C orgânico solúvel e estabilização de C nos compartimentos lento e passivo.

A taxa de decomposição de cada variável padrão é calculada usando a Equação (6)

$$dC_i/dt = K_i \cdot A \cdot C_i \quad (6)$$

em que,

- C_i é a quantidade de carbono no i -ésimo compartimento (resíduo estrutural superficial e do solo, $i = 1$ e 2 , respectivamente; MOS ativa, $i = 3$; microrganismos da superfície, $i = 4$; resíduo metabólico superficial e do solo, $i = 5$ e 6 , respectivamente; e frações lenta e passiva, $i = 7$ e 8 , respectivamente);
- K_i é a taxa de decomposição máxima do compartimento, estimado da literatura (K_i são fixos para os compartimentos 4 , 5 , 6 , 7 e 8 , porém podem ser modificadas por um coeficiente de cultivo e revolvimento do solo; e variáveis para os compartimentos 1 , 2 e 3 , sendo nos dois primeiros em função do teor de lignina e no último em função da textura do solo);
- A é o efeito combinado dos fatores abióticos.

A taxa de decomposição dos compartimentos apresentada na Equação 2 pode ser ajustada. Os ajustes para os compartimentos 1 e 2 são obtidos multiplicando a Equação (2) pelo fator L_c , estimado pela Equação (7)

$$L_c = e^{-3L_s} \quad (7)$$

em que, L_c é o impacto do conteúdo de lignina do material estrutural L_s (obtido em laboratório ou da literatura).

Este ajuste permite observar a diminuição da taxa de decomposição do compartimento estrutural à medida que o conteúdo de lignina aumenta (METHERELL *et al.*, 1984).

O ajuste para o compartimento 3 é obtido multiplicando-se a Equação (8) pelo fator T_m , estimado pela Equação (8)

$$T_m = (1 - 0,75T) \quad (8)$$

em que, T são os teores de argila + silte.

O fator T_m produzirá o efeito da textura do solo na reciclagem da MOS ativa.

Além da decomposição, os fluxos de C são controlados também pelos fatores abióticos (temperatura e umidade do solo).

O C que sai do compartimento ativo é dividido em quatro diferentes fluxos: respiração microbiana, lixiviação de C orgânico solúvel e estabilização de C nos compartimentos lento e passivo. Nesse caso, a Equação (9) será usada para calcular a saída da MOS ativa.

$$C_{AL} = [1 - (C_{AP} - C_{LIX} - F_T)] \quad (9)$$

em que,

- C_{AL} é a fração de C enviada para o compartimento lento;
- C_{AP} é a fração alocada para o compartimento passivo;
- $C_{AP} = 0,003 + 0,032T_C$;
- T_C é o conteúdo de argila;
- C_{LIX} é a fração perdida por lixiviação;
- $C_{LIX} = (H_2O)_{30} / 18 (0,01 + 0,04T_s)$;
- $(H_2O)_{30}$ é a água percolada mensalmente abaixo dos 30 cm de profundidade do solo ;
- T_s é o conteúdo de areia;
- F_T é a fração perdida decorrente da respiração microbiana;

- $F_T = 0,17 - 0,68T$;
- T é o conteúdo de silte + argila.

O que sai do compartimento da MOS lenta é alocado no compartimento passivo e ativo, através respectivamente das Equações (10) e (11)

$$C_{LP} = 0,003 - 0,009T_C \quad (10)$$

$$C_{LA} = 1 - C_{LP} - 0,55 \quad (11)$$

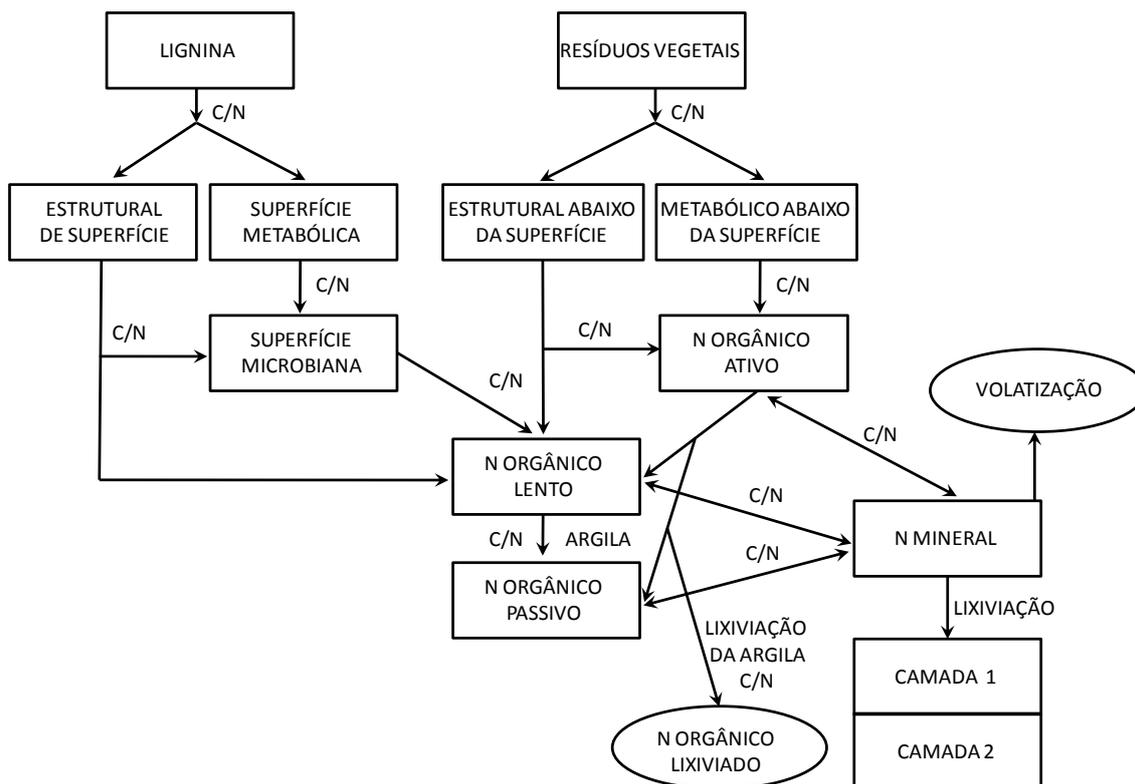
em que, C_{LP} é a fração de C alocada no compartimento passivo e C_{LA} é a fração alocada para no compartimento ativo.

O arquivo de saída do *Century* exhibe a adição anual no solo de carbono , nitrogênio total e a relação carbono/nitrogênio .

4.3.1. Nitrogênio

No Aplicativo *Century* o fluxo de N tem a mesma estrutura do fluxo de C (Figura 3). A relação C/N nos compartimentos estrutural (de superfície e abaixo dela), com C e N provenientes da lignina, mantém-se fixa, enquanto nos compartimentos metabólico (de superfície e abaixo dela) o teor de N são provenientes dos resíduos vegetais menos recalcitrantes.

Figura 3 . Fluxograma dos compartimentos no Fluxo do Nitrogênio.



Fonte: METHERELL *et al.*, (1994).

A relação C/N da biomassa microbiana recentemente formada na profundidade abaixo da superfície é função do material que está sendo decomposto. A relação C/N da matéria orgânica inserida em cada um dos três compartimentos do solo (N orgânico ativo, lento e passivo) varia como uma função linear do tamanho do compartimento do N mineral.

O N mineral na profundidade abaixo da superficial do solo aumenta de 0 a 2 g N/m². No compartimento ativo a relação C/N decresce de 15 a 3, no lento, de 20 a 12 e no passivo, de 10 a 7.

No compartimento microbiano de superfície o C e N são produzidos lentamente pela biomassa microbiana, cuja taxa de decomposição independe da textura do solo.

O N está associado com o C liberado na respiração (de 30% a 80% do fluxo de C é consumido pela respiração). Enquanto o C é liberado o N é mineralizado nas formas de NO₃ e NH₄⁺.

A razão C/N depende da liberação do C pela respiração microbiana e da decomposição do resíduo metabólico dos compartimentos ativo, lento e passivo, geralmente resultando em uma rede de mineralização do N.

As perdas N mineralizado devido a lixiviação de NO_3 estão associadas a textura do solo e a quantidade de água no perfil do solo.

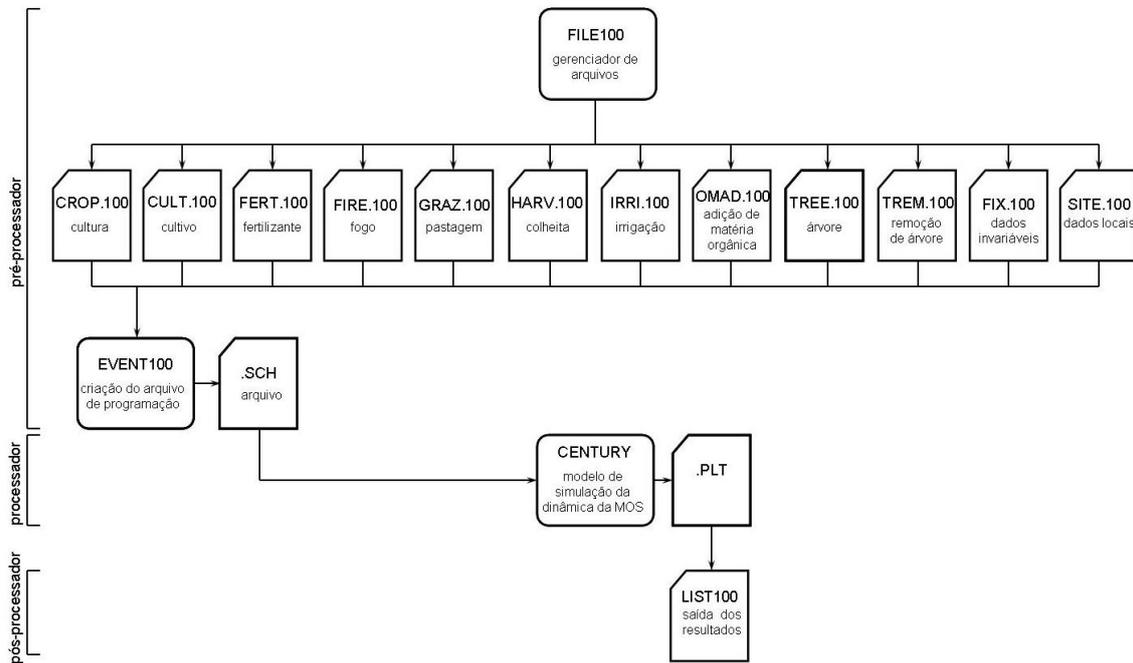
As perdas do N orgânico ocorre com a lixiviação da matéria orgânica. Já as perdas do N gasoso está associada com a mineralização/nitrificação, desnitrificação, volatilização, maturação ou senescência dos vegetais.

Nesse submodelo as perdas devido da remoção da vegetação, queimadas, transferência do N das excretas animais e erosão do solo são também calculadas.

4.4. ESTRUTURA LÓGICA DO *CENTURY*

De acordo com a Figura 4, o ambiente do *Century* consiste em um pré-processador, constituído de dois utilitários: o FILE100 um gerenciador que auxilia na criação e atualização de cada um dos doze arquivos de entrada de dados, e o EVENT100 (*SCH) - cria o arquivo de programação contendo práticas agrícolas e eventos que ocorrem durante a simulação (mês de semeadura e de colheita, método de preparo do solo, adubação, manejo das florestas, etc.). Assim, o modelo permite trabalhar com uma sequência de blocos de eventos, possibilitando a alteração no tipo de cultura e manejo de solo de um bloco para outro, permitindo a elaboração de cenários de manejo (LEITE, 2002). O processador é constituído do arquivo executável *Century* que simula a dinâmica da MOS; e o pós-processador, do utilitário LIST100, disponibiliza os resultados da simulação em um arquivo de dados.

Figura 4 . Estrutura do Aplicativo *Century*.



Fonte: adaptado de PARTON *et al.* (1987) e METHERELL *et al.* (1994).

Como neste estudo serão avaliadas áreas de florestas preservadas e de manejo florestal de vegetação nativa, eventualmente submetidos ao fogo, dentre os doze arquivos do FILE.100 serão escolhidos o FIRE.100, o TREE.100 e o TREM. 100.

No FIRE.100 é feita a parametrização do efeito de diferentes intensidades do fogo na vegetação herbácea, especificando as frações da parte aérea viva, da vegetação morta e da serapilheira. Essas frações são removidas pelo fogo, proporcionando também o retorno de nutrientes (N, P e S) na forma inorgânica. Nesse contexto, o fogo também pode afetar o crescimento da planta. Esse arquivo é composto pelos parâmetros listados no Quadro 1.

Quadro 1. Parâmetros do FIRE.100

Parâmetro	Descrição	Unidade
flfrem	fração da parte aérea viva removida por um evento de fogo.	-
fdfrem (i), com i = 1 e 2.	para i=1: fração da vegetação morta; e para i=2: fração da serapilheira. Ambas removidas por um evento de fogo.	
fret (i), com i = 1, 2,3.	fração do elemento no material da superfície queimada removida por um evento de fogo. Para i=1: E=N; i=2: E=P; i=3: E=S.	
frtsh	efeito aditivo da queimada na taxa raiz/parte aérea.	
fnue (i), com i = 1 e 2.	para i=1: efeito do fogo no aumento da relação C/N da parte aérea; para i=2: o mesmo efeito para as raízes.	

Fonte: PARTON *et al.* (1987) e METHERELL *et al.* (1994).

Os parâmetros do arquivo TREE.100 utilizados na caracterização da vegetação simulada encontra-se no Quadro 2.

Quadro 2. Parâmetros do TREE.100

Parâmetro	Descrição	Unidade
decid= i, com i = 0 e 1.	para i=0: floresta contínua; i=1: floresta decídua.	para i=2: g de biomassa/m ² /mês; para i=4: g de C/m ² /mês
prdx (i), com i = 2 e 4.	para i=2: máxima produção bruta da floresta; para i=4: produção líquida da floresta	

Fonte: PARTON *et al.* (1987) e METHERELL *et al.* (1994).

Os parâmetros do arquivo TREM.100, utilizados na caracterização da remoção vegetal simulada, encontra-se no Quadro 3

Quadro 3. Parâmetros do TREM.100

Parâmetro	Descrição	Unidade
evntyp= i, com i = 0 e 1.	para i=0: corte; para i=1: fogo	-

Fonte: PARTON *et al.* (1987) e METHERELL *et al.* (1994).

O arquivo <site>.100, contém todas as informações iniciais do local a ser estudado. No presente estudo serão utilizados os seguintes parâmetros: climáticos e localização (Quadro 4), controle de decomposição (Quadro 5), matéria orgânica inicial do solo e nitrogênio mineral (Quadro 6) e matéria orgânica inicial da vegetação (Quadro 7).

Quadro 4. Parâmetros climáticos e localização

Parâmetro	Descrição	Unidade	Entrada
precip (i), com i = 1,...,12	precipitação de janeiro a dezembro.	cm/mês	Submodelo do balanço hídrico, lixiviação e temperatura do solo
tmn2m (i), com i = 1,...,12	temperatura mínima a 2 m do solo.	°C	
tmx2m (i), com i = 1,...,12	temperatura máxima a 2 m do solo.		
sitlat	latitude do local.	grau	Somente para referência
sitlng	longitude do local.		

Fonte: PARTON *et al.* (1987) e METHERELL *et al.* (1994).

Quadro 5. Parâmetro de controle decomposição

Parâmetro	Descrição	Unidade	Entrada
ivauto = i, com i = 0, 1, 2.	define como será a MO inicial: 0 - valor inicial; 1 - parâmetros de solos com grama; 2 - parâmetros de solos de cultura.	-	Submodelo da matéria orgânica
nelem = i, com i = 1, 2, 3.	define os elementos a serem utilizados na simulação juntamente com o C: 1 - N; 2 - N e P; 3 - N, P e S.	-	
sand	fração de areia no solo.	kg/L	Submodelo do balanço hídrico, lixiviação e temperatura do solo e da matéria orgânica
silt	fração de silte no solo.		
clay	fração de argila no solo.		
bulk	densidade aparente do solo usada no cálculo na perda de solo por erosão, PMP e CC.	-	Submodelo do balanço hídrico, lixiviação e temperatura do solo e do fluxo de nitrogênio
nlayer = i, com i = 1,...,9	número de profundidade usado somente para calcular a quantidade de água disponível para a sobrevivência da planta.	-	Submodelo do balanço hídrico, lixiviação e temperatura do solo.
nlaypg	número de profundidade do solo no nível mais alto do submodelo do balanço hídrico, determina a água disponível para o crescimento de plantas e morte das raízes (avh2o(1)).	-	Submodelo da matéria orgânica
drain = i, com i = 0, 1.	fração do excesso de água perdida por drenagem, indicando se o solo é sensível a anaerobiose (0) ou não (1).	-	Submodelo do balanço hídrico, lixiviação e
basef	fração do conteúdo de água na profundidade nlayer + 1, a qual é perdida via fluxo de base.	-	

stormf	fração do conteúdo de água de nlayer para nlayer + 1, o qual faz parte do escoamento subsuperficial.		temperatura do solo.
swflag = i, com i = 0,...,6	senalizador que indica a fonte de valores para ponto de mucha e capacidade de campo, a partir de dados atuais do arquivo <site>.100 ou da equações de Gupta e Larson (1979) ou Rawls et al. (1982): se 0, usa os dados atuais do arquivo <site>.100; caso contrário, usa as equações propostas com limites para o PMP ou CC.		
awilt = i, com i = 1,...,10	fração do ponto de murcha da profundidade i do solo, utilizada para swfag = 0, 5 ou 6.	-	
afiel = i, com i = 1,...,10	fração da CC da profundidade i do solo, utilizada para swflag = 0.	-	

Fonte: PARTON *et al.* (1987) e METHERELL *et al.* (1994).

Quadro 6. Parâmetro de matéria orgânica inicial do solo e nitrogênio

Parâmetro	Descrição	Unidade	Entrada
som1ci (1,1)	valor inicial do C não marcado da matéria orgânica da superfície com rápida rotatividade (MOS ativa), usado somente se ivauto = 0.	g C/m ²	Submodelo da matéria orgânica
som1ci (2,1)	valor inicial do C não marcado da matéria orgânica do solo com rápida rotatividade, usado somente se ivauto = 0.		
som2ci (1)	valor inicial do C não marcado da matéria orgânica do solo com rotatividade intermediária (MOS lenta), usado somente se ivauto = 0.		
som3ci (1)	valor inicial do C não marcado da matéria orgânica do solo com rotatividade lenta (MOS passiva), usado somente se ivauto = 0.		
rce1(1,i), com i= 1,2,3.	razão inicial C/E na matéria orgânica da superfície com rápida rotatividade. Para i=1: E=N; i=2: E=P; i=3: E=S.	-	Submodelo da matéria orgânica
rce1 (2,i), com i= 1,2,3	razão inicial C/E na matéria orgânica do solo com rápida rotatividade. Para i=1: E=N; i=2: E=P; i=3: E=S.		
rce2 (i), com	razão inicial C/E na matéria orgânica		

i= 1,2,3	do solo com rotatividade intermediária. Para i=1: E=N; i=2: E=P; i=3: E=S.		
rce3 (i), com i= 1,2,3	razão inicial C/E na matéria orgânica do solo com rotatividade lenta. Para i=1: E=N; i=2: E=P; i=3: E=S.		
rcelit (1,i), com i= 1,2,3	razão inicial C/E da serrapilheira. Para i=1: E=N; i=2: E=P; i=3: E=S.		
rcelit (2,i), com i= 1,2,3	razão inicial C/E solo da serrapilheira. Para i=1: E=N; i=2: E=P; i=3: E=S.	-	Submodelo da matéria orgânica
minerl (i,1), com i = 1,...,10	Valor inicial do N mineral para a profundidade i.	gN/m ²	

Fonte: PARTON *et al.* (1987) e METHERELL *et al.* (1994).

Quadro 7. Parâmetros inicial da matéria orgânica da vegetação

parâmetro	Descrição	unidade	Entrada
w1lig	fração inicial de lignina dos galhos finos mortos.	-	Submodelo da matéria orgânica
w2lig	fração inicial de lignina da madeira grossa.		
w3 lig	fração inicial de lignina das raízes grossas.		

Fonte: PARTON *et al.* (1987) e METHERELL *et al.* (1994).

5. MATERIAL E MÉTODOS

Para alcançar o objetivo geral desta pesquisa, que consiste na estimativa da dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas manejadas e preservadas no setor oriental da Chapada do Araripe, foram realizados estudos teórico e experimental.

O estudo experimental baseou-se na caracterização física, química e microbiológica dos solos das áreas estudadas, na caracterização química do material vegetal e na obtenção de dados climáticos. Os resultados obtidos nesse estudo serão utilizados como dados de entrada do modelo matemático e na validação dos resultados da modelagem para uma melhor compreensão na dinâmica da MOS.

Para o estudo teórico, utilizou-se o submodelo da dinâmica da matéria orgânica do solo, disponibilizado no Aplicativo *Century* (versão 4.0).

5.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E HISTÓRICO

O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Araripe-FLONA-Araripe (Figura 5), e na Unidade de Manejo Florestal-UMF da Fazenda Pau D'arco e Bonfim (Figura 6), localizadas no setor oriental da Chapada do Araripe, extremo sul do Estado do Ceará no município do Crato (retângulo envolvente: 9183896 - 9199039 N e 435987 - 460703 S, Zona 24S, SAD-69 datum).

A unidade de manejo florestal da Fazenda Pau D'arco e Bonfim localiza-se no setor oriental da Chapada do Araripe, extremo sul do Estado do Ceará, próxima a divisa com o Estado do Pernambuco. Ela foi implantada em 2002 com a finalidade de fornecer lenha para uma indústria de cerâmica localizada no município do Crato. Antes da implantação, a partir de 1974, a área foi degradada para plantio de café e outras culturas, além de abrigar aproximadamente 52 famílias, que sobreviviam da caça e da produção clandestina de carvão vegetal.

O clima da região é do tipo Aw', tropical chuvoso, com temperatura média máxima de 34 °C, média mínima de 18 °C, umidade relativa do ar média máxima de 80% e média mínima de 49% (INMET, 1993; ALVES *et al.*, 2011). A precipitação pluvial média anual é de 1.033 mm, com período chuvoso entre janeiro e maio, e seco entre os meses de setembro e novembro.

Figura 5 . Área de vegetação preservada na Floresta Nacional do Araripe (FLONA-Araripe)



Figura 6 . Área da Unidade de Manejo Florestal (UMF)



Fonte: Araújo (2013)

De acordo com o levantamento exploratório de Carvalho *et al.* (1999), no setor oriental da Chapada do Araripe predominam os Latossolos Vermelho-Amarelo (LVA) de textura média a argilosa, provenientes dos arenitos da Formação Exu, que afloram na área.

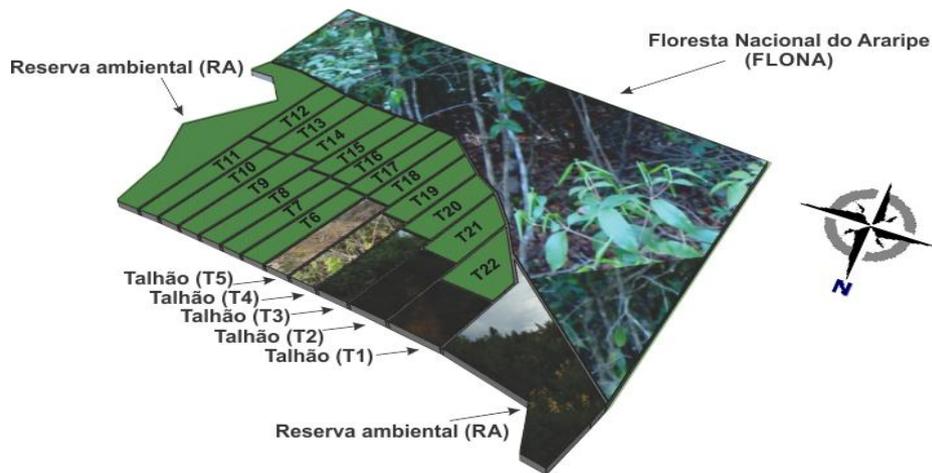
A Floresta Nacional do Araripe (FLONA-Araripe), com aproximadamente 383 km² de área preservada, exerce grande influência no clima local, tornando-o úmido e desempenhando papel de destaque nos recursos hídricos regionais. A UMF, localizada nas vizinhanças da FLONA-Araripe, compreende uma área de aproximadamente 15 km², sendo 20% desta área utilizada como Reserva Ambiental (RA). Nos 80% restantes, é permitido o manejo sustentável da vegetação nativa, que consiste na retirada de madeira para indústria de cerâmica localizada no município do Crato – CE (Figura 7). A área de manejo sustentável é dividida em 22 talhões (T₁ a T₂₂), sendo quatro explorados, desde 2002, em diferentes períodos de pousio, ou seja, períodos que os talhões que são retirados a madeira ficam em recuperação um em exploração, desde 2013, e 13 ainda não explorados (Figura 8).

Figura 7 . Madeira extraída do talhão (T₅), na Unidade de Manejo Florestal (UMF).



Fonte: Araújo (2013)

Figura 8 . Ilustração da área de vegetação preservada FLONA-Araripe e da Unidade de Manejo Florestal, com representação da Reserva Ambiental e dos talhões.



Fonte: Araújo (2013)

Antes da implantação da UMF, a vegetação nativa foi substituída pelo plantio de café e outras culturas. A área também foi utilizada para abrigar aproximadamente 52 famílias que sobreviviam da caça e da produção clandestina de carvão vegetal.

Para esta pesquisa, foram selecionados na área de vegetação preservada (FLONA-Araripe), aproximadamente 200 m². Na UMF, área contígua a FLONA-Araripe, foram selecionados, em locais onde é permitido o manejo sustentável da vegetação nativa, 5 talhões (T₁ a T₅), dos 22 existentes. Nos 20% da área de UMF utilizados como Reserva Ambiental (RA), foi selecionada, na porção noroeste, uma área de aproximadamente 200 m² (Figura 8). Em cada área e em cada talhão (FLONA, talhões T₁ a T₅ e RA) foram selecionados cinco pontos aleatórios, em forma de zigue – zague, para formarem

amostras compostas de solo. As coletas em zigue – zague foram realizadas em um raio de 200 m a partir dos pontos georreferenciados com auxílio de mapa e GPS (Tabela 1).

Os talhões selecionados T₁, T₂ e T₃ estão em recuperação a aproximadamente 4 anos, o T₄ a dois anos e o T₅ estava sendo manejado.

Tabela 1. Georreferenciamento (UTM, SAD 69, Zona 24) e os respectivos anos de adoção do manejo de cada área avaliada.

Áreas/ ano	Latitude	Longitude
Talhão T ₁ (2007)	9188514	436623
Talhão T ₂ (2008)	9189400	437009
Talhão T ₃ (2009)	9189762	437237
Talhão T ₄ (2010)	9189507	439240
Talhão T ₅ (2013)	9188746	438547
Reserva Ambiental	9188809	435987
FLONA- Araripe	9199039	445543

5.2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

5.2.1. Amostragem e Preparo do Solo

As amostragens de solo foram realizadas nos períodos: 2012, 2013 e 2014 duas coletas em cada período, perfazendo um total de seis coletas em cada ponto. As coletas foram feitas com um trado manual tipo holandês, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm.

A escolha da profundidade de 0-20 cm se deve ao fato da atividade biológica do solo ser mais intensa nessa profundidade, pois é nela que ocorre maior acumulação de matéria orgânica decorrente da deposição de material vegetal da parte aérea (serapilheira), além do efeito das raízes (MOREIRA e SIQUEIRA, 2006). As profundidades de 0-10 e 10-20 cm também foram selecionadas porque foram detectadas reduções expressivas das concentrações de carbono orgânico total (COT), ao longo da profundidade 0-20 cm, por diversos autores (LEITE, 2002; CONCEIÇÃO, *et al.*, 2005; GUARESCHI, *et al.*, 2012).

Em cada ponto, foram coletados, aproximadamente, 4 kg de amostra de solo. Após cada coleta, ainda em campo, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, identificadas e lacradas para evitar contaminação.

Em laboratório, as amostras foram secas ao ar (Figura 9), destorroadas e passadas em peneiras de malha 2 mm, obtendo-se a terra fina seca ao ar (TFSA). Posteriormente foi dado início ao processo de preparação das amostras em função do parâmetro a ser analisado.

Figura 9 . Preparo das amostras de soloTFSA.



Fonte: Araújo (2013)

5.2.2. Caracterização do solo

Vale salientar que na caracterização inicial do solo foi realizada uma amostragem composta das áreas UMF e FLONA-Araripe.

Na Tabela 2, constam os parâmetros utilizados para a caracterização física, química e biológica do solo, necessários para os estudos teórico e experimental, com seus respectivos métodos e referências. Os procedimentos analíticos alterados para adaptação à área de estudo estão marcados com asterisco e descritos posteriormente.

Tabela 2. Parâmetros utilizados para a caracterização física, química e microbiológica do solo, com seus respectivos métodos e referências.

Parâmetro	Método	Referência
	Físico	
Granulometria	Pipeta	
Umidade	Gravimétrico	EMBRAPA (1997)
Densidade do solo	Anel volumétrico	
Capacidade de campo	Gravimétrico	FRACETTO (2009)
	Químico	
Fósforo	Mehlich 1	
Magnésio	Extração KCl	
Cálcio	Extração KCl	
Alumínio	Extração KCl	EMBRAPA (1997)
Potássio	Mehlich 1	
pH	Em H ₂ O (1:2,5)	
Carbono orgânico total* - COT	Oxidação com dicromato de potássio	
Carbono lábil* - C _{lábil}	Oxidação com permanganato de potássio	MENDONÇA e MATOS (2005)
Matéria orgânica leve – MOL	Flotação em água	
Nitrogênio total – NT	Kjeldahl	
Substâncias Húmicas – SH	Solubilidade diferencial	
Estoque total de C	-	LEITE, et al ., (2003)
Mineralogia	Difração de raios X	BLEICHER, SASAKI e FILHO (2000)
Índice de Manejo de Carbono – IMC	Fluorescência de raios X	BLAIR et al., (1995)
	Microbiológicos	
Carbono da Biomassa Microbiana – C _{MIC}	Irradiação – extração	MENDONÇA e MATOS (2005)
Evolução de C – CO ₂ *	Estático	
Quociente microbiano (q _{MIC})	Carbono da biomassa	SPARLING (1997)
Quociente metabólico (qCO ₂)	Respirometria da Biomassa	ANDERSON e DOMSCH, (1985)

*Procedimento analítico alterado.

Para o procedimento analítico de COT foram utilizados 0,1g de cada amostra de solo da UMF e 0,08g da FLONA-Araripe, ou seja, diferentes da recomendada por Mendonça e Matos (2005), que é de 0,5g. Essas alterações de massa ocorreram devido a impossibilidade de realização do procedimento titulométrico, uma vez que as concentrações de matéria orgânica nas amostras analisadas eram elevadas.

Na determinação do C_{lábil} foram utilizadas duas concentrações do oxidante KMnO₄. Inicialmente foi utilizada a concentração de 33,0 mmol L⁻¹, conforme sugerido pelo método de Blair *et al* (1995), modificado por Shang e Tiessen (1997) e utilizada por Leite, *et al.* (2003). Posteriormente foi utilizada a concentração de 20,0 mmol L⁻¹, sugerida por Weil *et al* (2003). A utilização da concentração de 20,0 mmol L⁻¹ se deve a necessidade de se considerar a possibilidade dos resultados de C_{lábil} serem influenciados

pela oxidação, durante o procedimento analítico, de frações mais estáveis de C orgânico, como os ácidos fúlvicos e húmicos (PASSOS *et al.*, 2007; WEIL *et al.*, 2003).

De fato, nesta pesquisa, após análise dos resultados de $C_{\text{lábil}}$, obtidos a partir da utilização das concentrações de KMnO_4 iguais a $33,0 \text{ mmol L}^{-1}$ e $20,0 \text{ mmol L}^{-1}$, verificou-se que ocorreu superestimação da fração lábil ao utilizar-se a concentração de $33,0 \text{ mmol L}^{-1}$. Por essa razão, foram considerados apenas os resultados de $C_{\text{lábil}}$ das amostras que foram oxidadas com KMnO_4 a $20,0 \text{ mmol L}^{-1}$.

A quantificação de dióxido de carbono (CO_2), liberado no processo de respiração basal do solo, foi realizada no período em que foi verificada a estabilização do CO_2 . A primeira leitura foi realizada após 48 h de incubação das amostras de solo; e nos 16 dias seguintes, a cada 24 h.

Para a caracterização mineralógica, as amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Raios X, do Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará - *Campus* do Pici – CE. As amostras foram caracterizadas por fluorescência de raios X, sob a forma de percentuais de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , P_2O_5 , CaO , MgO , K_2O , SO_3 , MnO_2 e ZrO_2 . O tipo de argila presente nos solos da área foi caracterizado por difração de raios X.

Os demais parâmetros da Tabela 2 foram determinados nos laboratórios de Saneamento e de Solos da Universidade Federal do Ceará- *Campus* Cariri.

5.2.3. Amostragem e Preparo das Amostras de Vegetal

Para a determinação dos teores de lignina a serem utilizados como dados de entrada do modelo foram coletadas amostras de material vegetal (madeira) da espécie predominante nas áreas de estudo, FLONA-Araripe e UMF, que é a *Ocotea pallida* (Meisn) Mez, conhecida popularmente por Louro Urubú (ALENCAR *et al.*, 2012). Após as coletas, as amostras foram homogeneizadas, transferidas para sacos de papel, identificadas e colocadas em estufa a 105°C por 24 horas para a retirada da umidade.

5.2.3.1. Determinação do teor de lignina vegetal

Para determinação dos teores de lignina, as amostras de vegetal da parte da serapilheira, previamente tratadas, foram encaminhadas para o Laboratório de Análises

de Alimentos, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba, – Areia-PB.

Para os dados de teores de nitrogênio atmosférico e do tecido vegetal foram utilizados os padrões da condição original da floresta (execução do equilíbrio), criada a partir da opção *default* “Luquilo” – floresta tropical, para cada área a fim de estabilizar as variáveis de saída.

5.2.3.2. Parâmetros de clima e temperatura do ar

Os dados climáticos, utilizados no Aplicativo *Century*, referentes à precipitação mensal, foram obtidos na estação meteorológica da FLONA-Araripe. Para obtenção da temperatura média mensal do ar, foram instalados termômetros (modelo Incoterm) em residências localizadas na FLONA-Araripe e na UMF. Foram coletados temperatura máxima mensal de 9h e mínima mensal de 21h do ar.

5.3. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para avaliar o efeito do uso do solo sobre as características químicas, físicas e biológicas, utilizou-se a análise de variância, com 6 repetições (correspondente ao número de coletas) e 7 tratamentos (correspondente ao número de pontos de coletas). Esta análise foi feita para as diferentes profundidades: 0-10, 10-20 e 0-20 cm. As médias das diferentes profundidades foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, com o auxílio do programa computacional Statistical Analysis Systems SAS.

Construiu-se também uma matriz de correlação de Pearson, para avaliação do grau de associação entre os atributos. Em seguida, aplicou-se a técnica da análise fatorial pelo método das componentes principais, com o objetivo de identificar um número menor de componentes que sumarizassem as principais informações e variâncias das variáveis originais, utilizando-se a rotação *varimax* normalizada. Tal abordagem buscou descrever as relações de covariância entre os atributos correlacionados, com base em um pequeno número de quantidades aleatórias chamadas fatores, além de mostrar através de comunalidades, o quanto cada atributo explica cada fator (CORRAR *et al.*, 2012).

Para eliminar os efeitos produzidos pelas diferentes escalas e unidades, padronizaram-se os dados (média igual a zero e desvio padrão igual a um) através do método Z scores. Para verificar a adequação dos dados na análise fatorial utilizou-se o índice *KMO* (*Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy*) e o teste estatístico de esfericidade de *Bartlett*, que testa a hipótese nula de que as variáveis analisadas não são correlacionadas (CORRAR *et al.*, 2012). Essas análises estatísticas foram processadas no *software IBM SPSS*, versão 20.

5.4. ESTUDO TEÓRICO

5.4.1. Estimativa dos Fluxos de Carbono do Solo das Áreas de Estudo

Para a estimativa dos fluxos de carbono do solo das áreas de estudo, considerando-se diferentes taxas de decomposição e os fatores ambientais intervenientes, foi utilizado o submodelo da dinâmica da matéria orgânica do solo, disponibilizado no Aplicativo *Century* (versão. 4.0).

Para este estudo foi necessário, inicialmente, realizar calibração, validação e análises de sensibilidade e de acurácia do submodelo da dinâmica da matéria orgânica do solo.

A calibração foi realizada na condição de estado estacionário, que pressupõe condição de equilíbrio das condições geográficas e climáticas da área de estudo (APÊNDICES 1 e 2), bem como das concentrações de carbono (COT, CA, CP e CL) em cada compartimento do modelo *Century* (compartimento ativo, passivo e lento), em um período de tempo predeterminado. Nessa pesquisa, foi considerado o período de 0 - 6000 anos.

Para gerar a condição de equilíbrio, foi utilizada a opção do *default* “Luquillo” - “Floresta Tropical”. Criou-se a opção (F1) no arquivo *Tree.100* para alterar o valor de *PRDX* (4), buscando-se a estabilização de todas as variáveis de saída do modelo (condição de equilíbrio) (APÊNDICE 3). Ao final desse procedimento, foi verificado se os estoques de C estimados pelo modelo (as variáveis *SOMSC*, *SOM1C*(2), *SOM2C* e *SOM3C*) correspondem aos estoques médios de carbono medidos nos respectivos compartimentos (COT, CA, CL e CP) presentes na vegetação preservada, na profundidade de 0-20 cm. As informações referentes a distribuição dos compartimentos da MOS são obtidas no próprio modelo.

Procedimento semelhante foi utilizado para simular a condição de equilíbrio da UMF. Contudo, para essa simulação, foi necessário criar a opção UMF1 no arquivo tree.100, para alterar o valor de PRDX (4). Também foi criada a opção UMF3, no arquivo trem.100, que corresponde a simulação do corte tipo raso da vegetação. Esse procedimento foi utilizado, inicialmente, para a área de reserva ambiental (RA), verificando-se, ao final do período de 6000 anos, os estoques de C estimados pelo modelo (as variáveis SOMSC, SOM1C(2), SOM2C e SOM3C) (APÊNDICES 4 e 5). A partir dos resultados obtidos da condição de equilíbrio da RA foram realizadas simulações para as áreas de manejo florestal (T₁ a T₅).

Para simular as condições de equilíbrio, foram utilizadas as seguintes variáveis de entrada: dados climáticos (temperatura média mensal do ar, precipitação mensal), dados analíticos do solo (textura, pH e teores de C e N) e das plantas (teor de nitrogênio e teor de lignina). Os dados climáticos e a textura do solo promovem alterações relevantes nas simulações. Os dados de entrada referentes ao clima, ao solo e a vegetação (APÊNDICES 6 e 7, respectivamente).

Após fixado o PRDX(4), ajustou-se as constantes de decaimento para os compartimentos: ativo (i = 3), lento (i = 7) e passivo (i = 8) (DEC3.2, DEC5 e DEC4 do arquivo FIX.100 do utilitário FILE100, respectivamente). Esse procedimento foi realizado em ambas áreas de estudo (APÊNDICES 10 a 16).

Após calibração para a condição de equilíbrio, foi realizada a validação do aplicativo para as condições atuais das áreas de estudo. Essa validação tem como objetivo verificar se o aplicativo simula resultados coerentes com a realidade. Isto permite confirmar se o modelo funciona bem para dados totalmente independentes daqueles utilizados na construção do submodelo original da dinâmica da matéria orgânica do solo (FERNANDES, 2002).

A análise de sensibilidade do modelo foi realizada para os parâmetros temperatura do ar (máxima mensal de 9h e mínima mensal de 21), teores de argila e lignina e conteúdo de COT. A análise de sensibilidade pode ser definida como a taxa de mudanças nas saídas do modelo, com relação às mudanças nos valores de entrada de um parâmetro específico, mantendo-se os outros constantes.

A análise de acurácia foi realizada por meio do coeficiente de correlação (r^2) entre os dados simulados e os dados observados, calculados através da ferramenta de análise de dados do Microsoft Excel.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados nesta seção do trabalho referem-se a avaliação das características físicas, químicas e microbiológicas do solo das áreas avaliadas.

6.1. ETAPA EXPERIMENTAL

6.1.1. Caracterização inicial do solo

Na Tabela 3, são apresentados os valores médios (n=3) dos parâmetros químicos (pH, Al³⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, P) e da análise granulométrica (argila, areia e silte), determinados durante a caracterização inicial das amostras de solo das áreas estudadas.

Tabela 3 - Valores médios (n=3) dos parâmetros químicos e da análise granulométrica de solo na profundidade de 0 - 20 cm, nas áreas de Unidade de Manejo Floretal (UMF) e floresta preservada (FLONA - Araripe).

Áreas	pH	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	P	dens.	Argila	Areia	Silte
	H ₂ O	cmol _c dm ⁻³			mg dm ⁻³		g cm ⁻³	g.kg ⁻¹		
UMF	4,35	0,6	1,7	0,9	3,5	2,0	1,20	383	409	208
FLONA	4,37	0,4	1,5	1,0	4,9	2,5	0,80	383	453	164

pH: em H₂O (1:2,5); Al³⁺: alumínio; Ca²⁺: cálcio; Mg²⁺: magnésio; K⁺: potássio; P: fósforo; argila; areia e silte.

Verifica-se que as amostras de solo das duas áreas de estudo apresentam caráter ácido. Essa acidez decorre do aumento da concentração de CO₂ durante o processo de decomposição / mineralização da matéria orgânica, característico de profundidades superficiais de solos do tipo Latossolo Vermelho Amarelo. Seybol e Grossman (2006) também encontraram elevados valores de acidez na profundidade mais superficial do solo tipo Latossolo Vermelho. Resultado semelhante foi obtido por Leite (2002), avaliando uma área de floresta e áreas de diferentes sistemas de manejo. O autor enfatiza que a liberação de grupos carboxílicos e fenólicos, derivados da mineralização dos resíduos orgânicos depositados na superfície, e a exsudação de ácidos orgânicos pelas raízes das plantas também podem contribuir para a acidez do solo.

Silva e Mendonça (2007) afirmam que pelo fato do pH da maioria dos solos tropicais está entre 4,0 e 6,0, espera-se que a caulinita apresente carga líquida negativa e

os oxihidróxidos carga líquida positiva, de acordo com seus respectivos pontos isoeletrônicos que estão ao redor de 4,0 e 7,8, respectivamente.

Com relação ao Al^{3+} , observa-se que os valores obtidos situaram-se na faixa comumente encontrada em Latossolo Vermelho Amarelo. Leite (2002), ao analisar esse mesmo tipo de solo, em Minas Gerais, encontrou valores na entre 0,5 a 0,8 $cmol_c dm^{-3}$. De acordo com esse autor, a predominância dos minerais de argila 1:1 e o processo de intemperismo que ocorre nos Latossolos contribuem para a redução do Al^{3+} .

Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} na UMF e na FLONA-Araripe apresentaram valores médios bem próximos, considerado adequado para a qualidade do solo. A matéria orgânica, através dos colóides orgânicos, adsorvem os cátions de cálcio e magnésio, retendo-os em forma trocável, evitando perdas por lixiviação. Comportamento semelhante foi obtido por Santana *et al.* (2011) e Carvalho *et al.*, (2004) que ao avaliarem atributos químicos de um Latossolo constataram que os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} se correlacionaram com os valores de matéria orgânica e de pH do solo, proporcionando a decomposição dos resíduos vegetais e a liberação de nutrientes para as plantas.

Os teores de K^+ no solo foram maiores na área de floresta preservada (FLONA-Araripe) em comparação com a área da Unidade de Manejo Florestal (talhões T₁-T₅ e RA). Leite (2002) também encontrou maior valor em área de floresta do que em áreas com diversos usos. Os solos de regiões áridas e semiáridas contém, geralmente, mais potássio, porque nas regiões áridas e semiáridas não chove o suficiente para provocar a lixiviação de materiais solúveis.

Em relação a análise granulométrica, observa-se que não houve alteração das frações granulométricas (areia, silte e argila) em função do uso do solo.

Araújo *et al.* (2013), avaliando as modificações ocorridas na estrutura do solo da FLONA-Araripe e da UMF (talhões 1 a 5 e área de reserva ambiental), verificaram que ocorreu uma elevação na microporosidade e na resistência à penetração, ocasionando redução na macroporosidade e na capacidade de infiltração.

6.1.2 Caracterização física e química das áreas estudadas

- **Umidade**

Os teores de umidade do solo nas áreas avaliadas para as profundidades de 0-20, 0-40 e 0-60 cm são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Teores médios (n=6) de umidade (%) em áreas de floresta preservada (FLONA-Araripe) e Manejo Florestal (talhões T₁-T₅ e RA) nas profundidades de 20, 40 e 60 cm do solo.

Umidade (%)			
Profundidade (cm)			
ÁREAS	20	40	60
RA	8,72 b	8,76 b	10,58 b
T1	10,00 b	9,42 b	9,15 b
T2	11,35 b	10,83 b	11,64 b
T3	10,89 b	10,81 b	10,56 b
T4	10,35 b	9,94 b	10,95 b
T5	10,16 b	10,35 b	10,96 b
FLONA-Araripe	22,90 a	23,45 a	24,83 a

Médias das colunas seguidas das mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

De acordo com a Tabela 4, os valores de umidade do solo coletado nas profundidades de 20, 40 e 60 cm, na área de floresta preservada (FLONA-Araripe) foram superiores ao obtido nas áreas da Unidade de Manejo Florestal (talhões T₁-T₅ e RA), com diferenças significativas ao nível de significância de 5%. Estes resultados são atribuídos ao acúmulo de resíduo vegetal na área da FLONA-Araripe, que favorece a retenção de água no solo. Mendonça *et al.* (2009), ao estudar as características físicas e químicas do solo em áreas de cultivo de mandioca e na FLONA-Araripe, verificaram que o aporte de matéria orgânica conserva a umidade do solo devido à boa capacidade de absorção e retenção de água.

- **Capacidade de campo (CC)**

A umidade das amostras de solo foram ajustadas para atingir a capacidade de campo de 70%. Esse ajuste é necessário para manter a atividade da microbiota do solo durante o período de incubação.

- **Carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT)**

As concentrações de carbono orgânico total (COT) e de nitrogênio total (NT), bem como a relação C/N do solo para as áreas avaliadas, são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores médios (n=6) de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e relação C/N, nas áreas de Unidade de Manejo Floretal (talhões T₁-T₅ e RA) e floresta preservada (FLONA-Araripe), nas profundidades de 0 - 10, 10 - 20 e 0 - 20 cm do solo.

Áreas	COT (g. kg ⁻¹)	NT (g. kg ⁻¹)	C/N
0 - 10 cm			
T ₁	22,48 b	0,97 b	23,17
T ₂	24,40 b	0,88 b	27,72
T ₃	23,44 b	0,85 b	27,57
T ₄	24,55 b	0,74 b	32,77
T ₅	22,55 b	0,95 b	23,73
RA	17,59 b	0,75 b	23,72
FLONA-Araripe	43,43 a	1,47 a	29,57
10 - 20 cm			
T ₁	20,26 b	0,83 c	24,41
T ₂	20,30 b	0,67 c	30,29
T ₃	19,97 b	0,83 bC	24,06
T ₄	20,81 b	0,87 bC	23,92
T ₅	19,41 b	0,99 b	19,60
RA	16,21b	0,76 b	21,33
FLONA-Araripe	36,70 a	1,59 a	23,08
0 - 20 cm			
T ₁	21,90b	0,76 a	28,81
T ₂	24,42b	0,75 a	32,56
T ₃	22,48b	0,90 a	24,97
T ₄	22,23b	0,77 a	28,87
T ₅	21,81b	0,83 a	26,27
RA	18,03b	0,78 a	23,11
FLONA-Araripe	37,00 a	1,21 a	30,57

Médias das colunas seguidas das mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Verifica-se, que os teores de COT diferiram estatisticamente entre as áreas de estudo. Sendo que os maiores teores de COT foram encontrados, em ambas as áreas, nas profundidades de 0 - 10 e 0 - 20 cm, sendo os maiores valores na FLONA-Araripe e os menores nas áreas da UMF. Com relação ao NT foram observadas diferenças estatísticas nas profundidades de 0 - 10 e 10 - 20 cm. com os maiores teores obtidos na

profundidade de 0-10 cm. Ao se considerar as diferentes áreas de estudo verifica-se que os maiores teores de NT foram obtidos também na área de floresta preservada (FLONA-Araripe).

Esse comportamento é típico de vegetação nativa preservada, com resíduos vegetais na superfície do solo em decomposição lenta e gradual, a qual garante a constante incorporação de material orgânico no solo. Em relação ao incremento de NT, este pode estar associado à elevada umidade (TABELA 4) e também ao tipo de resíduo vegetal.

Esses resultados podem ser corroborados por estudos realizados por Leite (2002); Neto *et al.* (2011); Fracetto (2009) e Guareschi *et al.* (2012). Esses autores afirmam que os maiores teores de COT e NT em áreas de vegetação preservada estão relacionados ao maior aporte e deposição de resíduos, diversidade de plantas, densidades de espécies arbóreas, tipo de espécie vegetal. A cobertura vegetal nessas áreas favorece as melhores condições edafoclimáticas, tais como, clima e aeração do solo, que podem contribuir com o incremento de COT (GUIMARÃES *et al.*, 2012).

Ao se determinar o Coeficiente de Correlação de Pearson (r), para um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$), na profundidade de 0-20 cm, verificou-se correlação positiva entre o COT e a relação C/N ($r = 0,74$; $p < 0,05$; $n=7$). Essa correlação sugere uma maior influência da vegetação e do tipo de material orgânico presente no solo sob a floresta preservada (FLONA-Araripe) e a Unidade de Manejo Florestal (talhões T₁-T₅ e RA), uma vez que ocorreu predominância de material recalcitrante.

Em estudo realizado por Ferreira (2008), também foi observada correlação positiva entre COT e C/N, na profundidade de 0-20 cm, ($r = 0,72$; $p < 0,05$; $n=12$). Essa correlação foi atribuída a uma maior influência da qualidade da MOS depositada no solo pelos diferentes tipos de vegetação, podendo ocasionar as variações do NT em diferentes profundidades.

De modo geral, ocorreu um decréscimo de COT ao longo das profundidades em ambas as áreas. Esse comportamento também foi identificado por diversos autores (LEITE, 2002; CONCEIÇÃO, *et al.*, 2005; GUARESCHI, *et al.*, 2012).

Pode-se inferir, também, que apesar das diferenças entre as médias dos teores de carbono não serem estatisticamente significativas, observa-se uma redução dos teores de COT, no T₅, em profundidade. Este resultado indica impacto negativo ocorrido no solo após a retirada da vegetação, uma vez que este talhão ainda está sendo explorado.

É importante destacar que, ao longo das profundidades, não foram obtidas diferenças significativas entre as concentrações de COT, reforçando a assertiva de que o COT não é um indicador sensível para avaliar as mudanças da qualidade do solo em função do manejo, devido à predominância de compartimentos mais recalcitrantes (GUIMARÃES *et al.*, 2012).

Em relação ao decréscimo de NT, ao longo da profundidade, em ambas as áreas, verificou-se, de maneira geral, semelhança com observado por Santana *et al.* (2011), ao estudar um Latossolo subtropical com a presença de Fe e Al. Fracetto *et al.* (2012), enfatizam que esse comportamento só pode ser explicado se o NT não estiver ligado aos complexos argilominerais da fração argila. Assim, tanto o N como a MOS podem ser utilizados como indicadores da qualidade do solo, em sistemas agrícolas e em áreas de vegetação nativa.

Quanto à relação C/N, verificou-se, na FLONA-Araripe, uma tendência de elevação ao longo da profundidade. Esse resultado pode estar relacionado ao maior aporte de resíduos vegetais e a sua qualidade no solo. No entanto, conforme observado por Leite (2002), solos de florestas apresentam maiores relações C/N tanto em profundidades superficiais quanto em profundidades profundas. No ambiente de floresta, os valores elevados de C/N em profundidades mais profundas do que 20 cm devem-se a presença de fragmentos de MOS recalcitrante (SANTANA *et al.*, 2011).

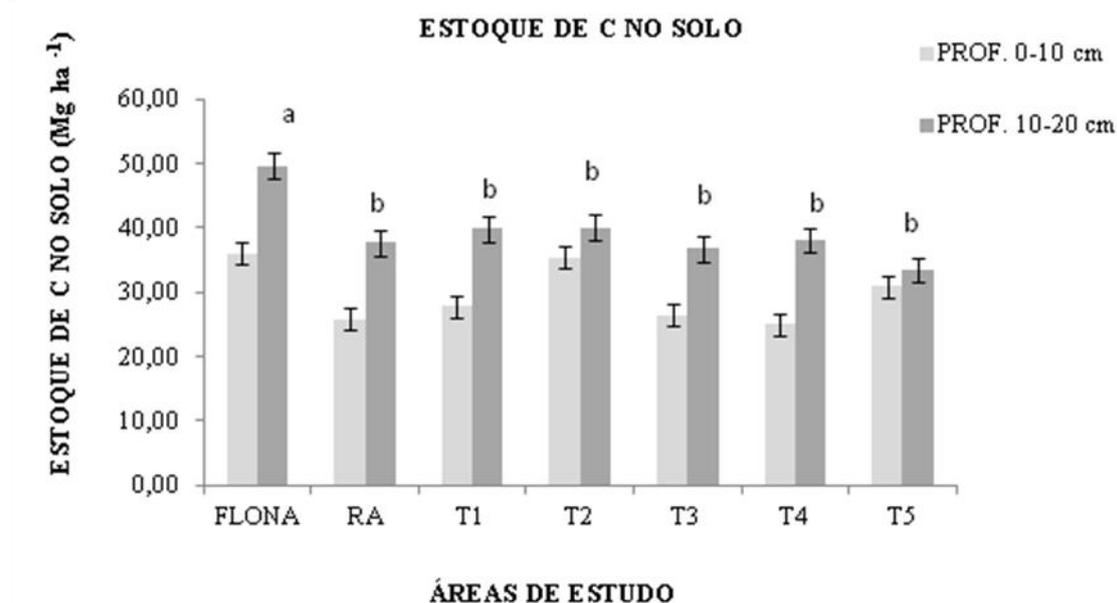
Assim, a relação C/N, além de sugerir sobre a qualidade da MOS adicionada ao solo também pode sugerir sobre o grau de humificação da MOS, sendo que altos valores sugerem adição e/ou presença no solo de uma MOS de difícil degradação (recalcitrante). Baixos valores indicam uma MOS mais facilmente decomponível e mais estável no solo (BRADY; WEIL, 2008).

De modo geral, ambas as áreas apresentaram relação C/N na faixa de 20 a 30. Os autores Moreira e Siqueira (2006) relatam que nestas condições a qualidade do substrato enquadra-se na faixa intermediária, a qual promove uma equivalência entre a imobilização e a mineralização; desta maneira, há um equilíbrio no fornecimento de nutrientes no solo.

- **Estoque de Carbono (C)**

Na Figura 10 constam os Estoques médios de C nas áreas de floresta preservada (FLONA-Araripe) e na Unidade de Manejo Florestal-UMF (talhões T₁-T₅ e RA), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm do solo.

Figura 10 . Estoques de Carbono (Mg ha⁻¹) em áreas de floresta preservada (FLONA-Araripe) e Unidade de Manejo Florestal (talhões T₁-T₅ e RA), nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm do solo.



Médias das colunas seguidas das mesmas letras, não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Os estoques de C na FLONA-Araripe diferiram estatisticamente das áreas da Unidade de Manejo Florestal (talhões T₁-T₅ e RA) em ambas as profundidades com baixos desvios padrão, expressando dados homogêneos.

O maior estoque de C foi observado na área de floresta preservada (FLONA-Araripe) com valores de 36,00 e 49,69 Mg ha⁻¹ nas profundidades de 0-10 a 10-20 cm, respectivamente. A explicação para o aumento no estoque de C é devido ao aporte contínuo de material orgânico proveniente da queda de galhos, folhas e das casca das árvores, que conseqüentemente forma uma manta orgânica e, a presença abundante de raízes na área de floresta.

Em ambas as áreas, na profundidade de 0-20 cm, o incremento no estoque de C foi significativo. Estudo realizado por Gatto *et al.* (2010); Viana *et al.* (2011); Neto *et al.* (2011), analisando o estoque de C na mata nativa e em diferentes áreas cultivadas, observaram que os maiores estoques de C foi na profundidade de 0-20 cm, os autores

afirmam que o uso do solo altera a quantidade de C estocado no solo, o que se deve ao fato do tipo de uso e manejo do solo em cada condição.

Na UMF os maiores estoques de C na profundidade de 0-20 cm foram 39,87, 40,13 e 38,09 Mg ha⁻¹ para os talhões T₁, T₂ e T₄ respectivamente, em que, este último por ser manejado recentemente apresentou um estoque de C significativo, reforçando a assertiva de que as inferências sobre o COT são baseadas principalmente na quantidade, enquanto o parâmetro analisado de forma isolada não responde satisfatoriamente em relação à qualidade.

Segundo Gatto *et al.* (2010), o elevado teor de argila na classe dos Latossolos, favorece a formação dos agregados estáveis, dificultando tanto a decomposição quanto a mineralização da matéria orgânica, desta forma promove o incremento de estoque do COT no solo.

- **Carbono Lábil (C_{lábil})**

Na Tabela 6 encontram-se os teores de carbono lábil (C_{lábil}), determinado em amostras de solo coletadas em diferentes profundidades (0-10, 10-20 e 0-20 cm) em áreas de floresta preservada (FLONA-Araripe) e Unidade de Manejo Florestal (talhões T₁-T₅ e RA). Esses dados foram obtidos a partir da utilização do oxidante KMnO₄ a 20,0 mmol.

Tabela 6 - Teores médios (n=6) de carbono lábil ($C_{\text{lábil}}$) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm do solo, em áreas de floresta preservada (FLONA-Araripe) e Unidade de Manejo Florestal (talhões T₁-T₅ e RA).

Áreas	$C_{\text{lábil}}$ (mmol.L ⁻¹)		
	g.kg ⁻¹		
	0-10 cm	10-20 cm	0-20 cm
T ₁	3,30 b	2,80 b	2,48 b
T ₂	3,26 b	2,73 b	2,68 b
T ₃	3,26 b	2,05 b	2,15 b
T ₄	3,09 b	2,98 b	2,89 b
T ₅	3,10 b	2,94 b	2,07 b
Reserva Ambiental	3,05 b	2,78 b	2,54 b
FLONA-Araripe	20,19 a	19,21 a	17,81 a

Médias das colunas seguidas das mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

A análise demonstra que os maiores teores de $C_{\text{lábil}}$ foram verificados em ambas as áreas estudadas, na profundidade de 0-10 cm. A área de floresta preservada (FLONA-Araripe), nas três profundidades estudadas, apresentou os teores mais elevados de $C_{\text{lábil}}$, diferindo estatisticamente das demais áreas.

Leite (2002), avaliando os compartimentos e a dinâmica da MOS, sob diferentes manejos e sistemas, obteve resultado similar, no qual os teores de $C_{\text{lábil}}$ na floresta foram maiores na profundidade de 0-10 cm. O autor afirmou, ainda, que a manutenção dos teores de $C_{\text{lábil}}$ no solo é essencial à melhoria da qualidade do solo e sustentabilidade dos sistemas. Essa explicação deve-se ao fato do estoque das frações labéis da MOS sofrer influência das condições de umidade, aeração, disponibilidade do substrato e composição química do mesmo e, principalmente, do manejo do solo (SILVA; MENDONÇA, 2007).

Assim, o declínio da fração de $C_{\text{lábil}}$ em profundidade, observada na TABELA - 6, está relacionada, principalmente, ao COT (TABELA - 5) e a umidade do solo (TABELA - 4), uma vez que estes estão associados ao aporte de resíduos vegetais adicionados ao solo. Resultado semelhante foi obtido por Rangel *et al.* (2008). Ao avaliarem a fração de $C_{\text{lábil}}$, verificaram redução expressiva com o aumento da profundidade de solo. Todavia, os teores de $C_{\text{lábil}}$, apesar de declinarem rapidamente, também apresentam recuperação similarmente acelerada ao longo do tempo, o que o torna um indicador sensível da dinâmica do C no sistema (LEITE, 2002).

Nas áreas da UMF com maiores períodos de pousio foi observada uma leve tendência de aumento dos teores de $C_{Lábil}$ na profundidade de 0-10 cm, com valores de 3,30; 3,26 e 3,26 g kg⁻¹, respectivamente. Este comportamento pode ser atribuído ao período de pousio, que é um fator diferencial em condições tropicais.

Também observou-se uma tendência à redução da fração lábil, com a profundidade, no talhão T₅, área da UMF que está sendo manejada recentemente. Confirmando a assertiva da sensibilidade da fração lábil em detectar impactos negativos, ocorridos no solo, em decorrência da remoção da vegetação e sua subsequente exposição às intempéries.

As frações lábeis são mais sensíveis aos cultivos do solo, quando comparados aos teores de COT, podendo ser consideradas como um indicador padrão de declínio da MOS.

Dessa maneira, esse compartimento da MOS, tem sido considerado uma alternativa interessante para elucidar ações negativas do manejo, devido à sua sensibilidade às mudanças causadas pelo uso e manejo do solo com resposta a curto prazo (BLAIR *et al.*, 1995; LEITE, 2002; SILVA; MENDONÇA, 2007; VIEIRA, *et al.*, 2007).

Em relação às concentrações do oxidante KMnO₄, utilizadas neste estudo (20 e 33,0 mmol.L⁻¹), verificou-se que a de 20,0 mmol.L⁻¹ detectou com mais sensibilidade os teores de $C_{Lábil}$ nas amostras analisadas. Este fato pode ser atribuído ao solo das áreas estudadas apresentarem, como minerais predominantes, a caulinita e os óxidos de Fe e Al, que proporcionam uma proteção física ao material orgânico existente.

Vieira *et al.* (2007), analisando o índice de manejo de carbono no solo em diversos sistemas de cultivo, utilizando concentrações de KMnO₄ de 333,0 mmol.L⁻¹ e 60,0 mmol.L⁻¹, concluíram que as melhores estimativas dos teores de $C_{Lábil}$ foram obtidas com a menor concentração de KMnO₄ (60,0 mmol L⁻¹). Ao utilizar o KMnO₄ a 333,0 mmol L⁻¹, observaram que os teores de $C_{Lábil}$ foram superestimados.

Neste contexto, os resultados obtidos em diversos trabalhos sugerem que a MOS em regiões tropicais é relativamente mais lábil. Tirol-Padre e Ladha (2004) ressaltam que o método do fracionamento do carbono orgânico foi originalmente proposto, sobre a premissa de que a decomposição microbiológica da matéria orgânica está associada aos processos de oxidação de caráter enzimático que ocorrem nos solos. Desde então, o carbono oxidado pelo KMnO₄ vem sendo utilizado no cálculo do índice de labilidade da

MOS (BLAIR *et al.*, 1995), muito embora a natureza química do C oxidado não tenha sido ainda completamente elucidada.

- **Índice de manejo do carbono (IMC)**

O IMC sugerido por Blair *et al.* (1995) leva em consideração aspectos da labilidade da MOS e permite comparação das mudanças que ocorrem no COT e $C_{\text{lábil}}$ em consequência do uso e manejo do solo. Na Tabela 7, a partir dos resultados de COT, foi calculado o IMC nas áreas UMF e FLONA-Araripe.

Tabela 7 - Proporção de Carbono lábil ($C_{\text{lábil}}$) no Carbono Orgânico Total (COT) e Índice de Manejo de Carbono (IMC), nas profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm do solo, em áreas de floresta preservada (FLONA-Araripe) e Unidade de Manejo Florestal (talhões T₁-T₅ e RA).

Índices de Manejo de C				
Áreas	0-10 cm			
	ICC ($COT_{\text{Flona}}/COT_{\text{UMF}}$)	$L(C_{\text{lábil}}/C_{\text{NL}})$	$IL(L_{\text{Flona}}/L_{\text{UMF}})$	IMC ICC*IL*100
T1	0,56	0,04	0,47	27,89
T2	0,57	0,04	0,61	32,52
T3	0,63	0,05	0,38	24,12
T4	0,63	0,03	0,24	15,42
T5	0,58	0,04	0,22	12,22
RA	0,51	0,05	0,43	22,31
FLONA-Araripe	1,00	0,13	1,00	100
10-20 cm				
T1	0,62	0,03	0,14	9,05
T2	0,56	0,03	0,12	8,26
T3	0,67	0,04	0,16	11,56
T4	0,69	0,03	0,13	9,98
T5	0,61	0,03	0,13	7,83
RA	0,56	0,03	0,13	7,39
FLONA-Araripe	1,00	0,22	1,00	100
0-20 cm				
T1	0,63	0,04	0,21	13,17
T2	0,67	0,03	0,25	16,48
T3	0,70	0,04	0,27	19,12
T4	0,62	0,05	0,23	14,92
T5	0,65	0,03	0,15	10,38
RA	0,59	0,04	0,25	14,87
FLONA-Araripe	1,00	0,18	1,00	100

ICC- índice de compartimento de carbono; L-Labilidade; IL- índice de labilidade; IMC- índice de manejo de carbono.

Na profundidade de 0-10 cm verificou-se no talhão T₅ o qual era retirado a madeira apresentou menor valor de IMC (12,22), e com o aumento da profundidade ocorreu uma redução com valores de 7,83 e 10,38 para as profundidades de 10-20 e 0-20 cm, indicando o impacto negativo do manejo adotado na área, corroborando com os resultados obtidos anteriormente e ratificando que a remoção da vegetação prejudica consideravelmente a manutenção da MOS, altera a qualidade do material aportado ao solo e interfere na dinâmica da MOS.

Resultados obtidos por Conceição (2010), avaliando o estoque de carbono e a qualidade em sistemas agrícolas com diversos usos e manejo em vegetação de caatinga, concluiu que as áreas de sistemas agrícolas apresentaram redução de IMC nos valores de 8,15 a 3,39 influenciada pela cultura, manejo de água e profundidade, indicando assim, que o uso do solo interfere diretamente no IMC.

Sabe-se que o IMC mede as alterações nos estoques de carbono considerando o aspecto da labilidade de carbono no solo (NICOLOSO, 2005; VIEIRA, 2007). Valores de IMC inferiores a 100 indicam práticas prejudiciais à manutenção da MOS e da qualidade do solo (BLAIR, *et al.*, 1995). Essa labilidade está relacionada às condições de manutenção do material orgânico no solo, atividade microbiana, aeração e, principalmente, a proteção física no material orgânico.

O grande mérito do IMC é o de contemplar, no mesmo índice, os componentes quantitativo e qualitativo da MOS (VIEIRA, 2007).

- **Substâncias húmicas (SHs)**

Na Tabela 8 constam as concentrações das frações de C dos ácidos fúlvicos, húmicos e humina e o índice de humificação das áreas de estudo.

A fração C-HUM foi a que apresentou maior concentração, entre as demais frações das substâncias húmicas, em ambas as áreas. O maior valor foi encontrado na profundidade de 0 - 10 cm (1,66) na área de Reserva Ambiental (RA), e decrescendo em profundidade .

Esse resultado corroborou com o encontrado por Passos (2000), que avaliando o carbono em um Latossolo Vermelho, encontrou maiores valores na profundidade superficial (5 - 10 cm), o autor atribui esse comportamento ao menor revolvimento do solo e incorporação dessa fração ao material orgânico.

Segundo Silva *et al.*(2011), essa fração caracteriza por está associada fortemente à fração mineral do solo, sendo responsável pelo mecanismo de agregação. Isto pode resultar uma melhor estruturação do solo que atinge diretamente a capacidade de infiltração, retenção de água e umidade, etc.

Estas substâncias representam as frações mais estáveis da MOS. Esta estabilidade é atribuída à estrutura química complexa, associada ao interior dos agregados do solo e às interações com minerais de argilas e cátions metálicos (THENG *et al.*, 1989). A remoção da vegetação sem monitoramento pode alterar as propriedades químicas das

SHs, e afetar o potencial de mobilidade do C no solo (GUIMARÃES *et al.*, 2012). O estudo dessa fração pode ser útil em virtude da maior precisão na obtenção de dados de estoque na avaliação da qualidade do C do solo, visando conseguir mais informações acerca de mudanças climáticas globais. O (C-HUM) é considerado o principal responsável pelo sequestro de C em solos, pois, na maioria dos solos tropicais é o compartimento que mais armazena C (SILVA *et al.*, (2012).

Salienta-se que compostos mais humificados apresentam maior complexidade bioquímica, devido à associação com as frações de argila do solo (estabilidade coloidal), o que dificulta a decomposição por microrganismos, favorecendo a sua estabilização e tem implicações na retenção de C no solo (SIX *et al.*, 2002).

Em relação aos teores de C-AF, estes foram relativamente maiores em todas as profundidades quando comparado aos teores de C-AH. Estudo realizado por Leite (2002), menciona que esses resultados são consistentes nos solos tropicais com alto teor de argila, devido aos altos teores de óxidos e hidróxidos de Fe e Al, apresentam mais teores de AF do que AH. Como AF apresentam peso molecular menor, apresentam maior solubilidade e pode facilitar a mobilidade da fração no solo (SILVA *et al.*, 2007).

Em ambas as profundidades, 0-10 e 10-20 cm na área de floresta preservada (FLONA-Araripe) foram encontradas os menores teores de C-AF (0,46 e 0,41 dag kg⁻¹) em relação a UMF (Tabela 8). Como a fração de AF possui menor peso molecular e grupos carboxílicos na sua estrutura, e assim contribuem como uma das frações orgânicas responsáveis pela emissão de CO₂, desta forma pode ser uma das explicações da FLONA-Araripe ter expressado menor emissão de CO₂.

Tabela 8 - Teores médios (n=6) de carbono das frações de ácidos fúlvicos (C- AF), ácidos húmicos (C-AH), humina (C- HUM) e índice de humificação (IH) nas áreas de Unidade de Manejo Florestal (talhões T₁-T₅ e RA) e floresta preservada (FLONA –Araripe) nas profundidades de 0 - 10, 10 - 20 e 0 - 20 cm do solo.

ÁREAS	C-AF	C-AH	C-HUM	C-AH/C-AF (IH)
	dag kg ⁻¹			
0-10 cm				
FLONA-Araripe	0,46 a	0,44 a	0,86 a	0,95
RA	0,78 a	0,65 a	1,66 a	0,83
T ₁	0,55 a	0,51 a	0,86 a	0,94
T ₂	0,64 a	0,34 a	1,02 a	0,53
T ₃	0,62 a	0,57 a	0,80 a	0,91
T ₄	0,74 a	0,42 a	0,92 a	0,56
T ₅	0,89 a	0,32 a	1,16 a	0,35
10-20 cm				
FLONA-Araripe	0,41 a	0,54 a	1,35 a	0,79
RA	0,68 a	0,42 a	0,78 a	1,02
T ₁	0,43 a	0,45 a	0,92 a	1,04
T ₂	0,86 a	0,48 a	0,98 a	0,55
T ₃	0,76 a	0,60 a	0,88 a	0,78
T ₄	0,68 a	0,60 a	1,08 a	0,88
T ₅	0,61 a	0,54 a	1,01 a	0,88
0-20 cm				
FLONA-Araripe	0,64 a B	0,47 a B	1,37 b	0,73
RA	0,60 a B	0,57 b C	0,77 a	0,95
T ₁	0,49 a B	0,35 a B	0,88 b	0,71
T ₂	0,30 a B	0,48 a B	0,74 b	1,60
T ₃	0,67 a	0,29 c	0,76 b	0,43
T ₄	0,54 a B	0,72 a	0,71 b	1,33
T ₅	0,42 a B	0,40 b C	0,81 b	0,95

Médias das colunas seguidas das mesmas letras minúscula, nas três profundidades, e maiúscula entre as situações com mesma profundidade não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Na profundidade de 0-10 cm houve um enriquecimento do teor de C-AF no T₅ (0,89 dag kg⁻¹), como essa fração possui substâncias orgânicas de fácil acesso aos microrganismos, corrobora assim com o elevado teor de C_{lábil} presente na área. Passos *et al.* (2007), ressalta que, a presença de maior quantidade de substâncias orgânicas deve acarretar maior atividade microbiana.

Os AH são menos móveis que o C-AF, devido a sua pouca mobilidade em água, e tendem a se acumular nas profundidades superficiais. Os AF e os AH são mais eficientes na detecção de mudanças de usos do solo quando comparados à HUM, em experimento realizado na Austrália, verificaram que a substituição de mata nativa para o cultivo de pinheiro, resultou na diminuição do estoque C-AF, enquanto o C-AH ficou inalterado, o que pode ser decorrente do processo de polimerização de compostos húmicos (NETO *et al.*, 2011).

O índice de humificação foi calculado para cada área da UMF e da FLONA-Araripe, e consiste na razão do C-AH/C-AF.

O IH variou na UMF de 0,35 a 0,94 (0-10 cm), de 0,55 a 1,04 (10-20 cm) e 0,43 a 1,60 (0-20 cm). NA FLONA-Araripe o IH apresentou redução com o aumento da profundidade, sendo o maior valor obtido de (0,95) na profundidade de 0-10 cm. Normalmente, em solos tropicais, essa relação é menor que 1,0, devido à menor intensidade do processo de humificação. O valor mais expressivo foi observado no T₂ (1,60), o que pode ser explicado devido a mineralização dos resíduos vegetais. Esse índice informa se o resíduo depositado no solo está funcionando como fonte de nutrientes e ou condicionante do solo.

A relação também é um indicador do potencial de mobilidade do carbono (Guimarães *et al.*, 2012). A primeira notação científica do IH foi por Kanonova (1982), como indicador da qualidade das substâncias húmicas.

Valores de IH superiores a 1,0 indicam que há predominância da fração C-AH em relação a C-AF, o que representa um material mais estável e, em consequência, melhor qualidade de húmus.

- **Carbono da matéria orgânica leve (MOL)**

Os resultados da MOL confirmam que na área da Unidade de Manejo Florestal, em função do tempo de pousio ocorre o aumento dessa fração nas profundidades superficiais do solo Tabela 9. Comprovando assim, a afirmativa que a MOL é alterada pela forma de manejo da área (LOSS *et al.*, 2010).

Observa-se que, assim como o COT (Tabela 5), as maiores concentrações da MOL foram obtidos na área da FLONA-Araripe, certamente, a influência por meio do maior aporte de matéria orgânica ao solo favoreceu esse incremento. Estes resultados corroboram com os resultados obtidos por Guareschi *et al.* (2012), onde elucidam que o acúmulo de MOL apresentará maior fornecimento de substrato utilizado como fonte de energia para o crescimento microbiano, o que poderá levar à liberação de nutrientes por meio da ciclagem da biomassa microbiana, além de favorecer a recuperação do equilíbrio biológico do solo e de sua qualidade.

Tabela 9 - Teores médios (n=6) da matéria orgânica leve (MOL) e de carbono da matéria orgânica leve (C-MOL) nas áreas de floresta preservada (FLONA-Araripe) e Unidade de Manejo Florestal (talhões T₁-T₅ e RA) nas profundidades 0 - 10, 10 - 20 e 0 - 20 cm do solo.

Áreas	MOL g.kg ⁻¹	C MOL %
0-10 cm		
FLONA	11,60 a	73,33
RA	2,70 b	35,71
T ₁	2,50 b	30,58
T ₂	1,68 b	29,76
T ₃	1,90 b	30,77
T ₄	1,60 b	25,00
T ₅	1,30 b	20,00
10-20 cm		
FLONA	13,90 a	41,18
RA	1,60 b	25,18
T ₁	2,10 b	25,00
T ₂	1,50 b	23,81
T ₃	1,70 b	21,05
T ₄	1,40 b	18,75
T ₅	1,10 b	16,67
0-20 cm		
FLONA	6,90 a	33,33
RA	1,60 b	32,00
T ₁	2,50 b	31,45
T ₂	2,28 b	32,00
T ₃	1,80 b	27,78
T ₄	1,30 b	17,54
T ₅	1,00 b	16,23

Médias das colunas seguidas das mesmas letras minúscula, nas três profundidades, e maiúscula entre as situações com mesma profundidade não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Em relação ao C-MOL observou-se que nos talhões T₄ e T₅ ocorreram perdas com aumento da profundidade do solo e também menores concentrações da fração. Essas perdas nessas áreas provavelmente estão associadas tanto ao revolvimento do solo, que aumenta as taxas de oxidação da matéria orgânica, como a retirada dos restos de madeira, troncos, galhos, etc.

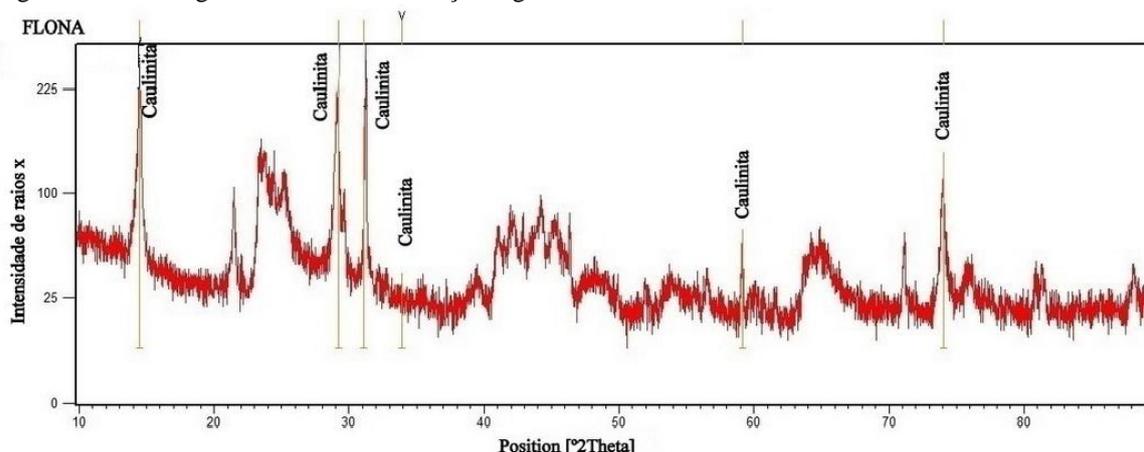
Estudo realizado por Xavier *et al.* (2006) mostraram essa mesma tendência a estoques de C-MOL em sistema convencional, em relação à mata nativa, pode-se associar à mobilização de resíduos orgânicos para as profundidades inferiores provocada pela ação dos implementos agrícolas durante o preparo do solo.

A manutenção da MOL no solo é fundamental para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, uma vez que representa, em curto e médio prazo, alto potencial para ciclagem de nutriente. Tal fato validam a importância da MOL no fornecimento de energia para o crescimento e atividade da biomassa microbiana.

- **Análises de mineralogia**

Os resultados das análises químicas dos teores totais de óxidos de silício (SiO_2), óxidos de alumínio (Al_2O_3) e óxidos de ferro (Fe_2O_3) obtidos por fluorescência de raios X (FRX), foram respectivamente (114%, 113% a 126%) em ambas áreas, sendo um indicativo da predominância da caulinita, confirmado pelas análises do difratograma de raio X (DRX). Para a interpretação dos dados de difração e fluorescência de raios-X, foi utilizado o software X'PERT HighScore Plus (PW3212). As análises por difração de raios-X e fluorescência de raios-X fornecem como resultados as fases presentes na argila e a relação dos constituintes da argila com a sua proporção na forma de óxidos. (Figura 11).

Figura 11 . Difratograma de raios X da fração argila.



Fonte: Araújo (2013)

De modo geral, a fração argila encontrada nos solos da UMF e FLONA-Araripe apresentam a predominância do pico argilomineral caulínítico 1:1, como ilustra a Figura

12, pois, em solos tropicais e da classe dos Latossolos Vermelho Amarelo a argila é dominada pelo mineral caulinita, e a presença de óxidos de ferro e alumínio (SILVA e MENDONÇA, 2007).

Segundo Gatto *et al.* (2010), afirmam que os Latossolos apresentam maior teor de argila, em torno de 60% e alto grau de flocculação de argila, característica que conferem maior proteção física ao COT, devido à formação dos organo - minerais, menos propensos à decomposição.

Além da argila, os solos da região classificados como Latossolos apresentam elevados teores de óxidos de Fe e Al, fato que contribui para aumentar a estabilização da MOS, em razão da alta capacidade de proteção na forma de complexos organominerais em muitos solos de clima tropical.

Essa pode ser a possível explicação dos resultados de COT elevados na profundidade de 0-20 cm, devido às amostras de solo possuírem essa proteção física. Os maiores teores de COT na profundidade 0-20 cm do solo, são atribuídos a proteção física da MOS pela quantidade de argila e pelos minerais presentes nesta fração, representados em sua maioria por óxidos de Fe e Al, além da agregação.

As alterações organominerais alteram a dinâmica da MOS (DICK *et al.*, 2009) e essas alterações podem interferir na qualidade da MOS em Latossolos, onde existe abundância de óxidos de Fe e de Al (SANTANA *et al.*, 2011). Mas é importante destacar que existem poucas informações a respeito da estabilização da MOS em solos altamente intemperizados (ZECH *et al.* 1997; MENDONÇA e SILVA, 2007).

6.1.2. Caracterização Microbiológica

- **Biomassa microbiana do solo**

Podemos observar que a FLONA-Araripe diferiu estatisticamente da UMF em todas as profundidades do solo analisadas (Tabela 10). Verifica-se que a profundidade de 0-10 cm foi a que mais favoreceu as variáveis microbiológicas, pois os maiores valores encontrados de C_{MIC} foi na profundidade superficial do solo, tanto para as áreas da UMF quanto da FLONA-Araripe. Outro aspecto a ser ressaltado é que os maiores valores médios foram encontrados na área da FLONA-Araripe e variaram entre (1,067 a 0,861 g kg⁻¹C_{MIC}).

Tabela 10. Valores médios (n=6) de carbono da biomassa microbiana (C_{MIC}) e a relação C_{MIC}/COT nas áreas de floresta preservada (FLONA -Araripe) e Unidade de Manejo Florestal (talhões T₁-T₅ e RA) nas profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm do solo.

Profundidade - 0-10 cm		
ÁREAS	C_{MIC} (g kg ⁻¹)	C_{MIC}/COT (%)
T ₁	0,364 b	1,61
T ₂	0,376 b	1,62
T ₃	0,396 b	1,69
T ₄	0,392 b	1,45
T ₅	0,215 b	1,33
RA	0,333 b	1,87
FLONA-Araripe	1,067 a	2,24
Profundidade 10-20 cm		
ÁREAS	C_{MIC} (g kg ⁻¹)	C_{MIC}/COT (%)
T ₁	0,351 b	1,73
T ₂	0,363 b	1,79
T ₃	0,369 b	1,92
T ₄	0,334 b	1,43
T ₅	0,210 b	1,07
RA	0,263 b	1,82
FLONA-Araripe	0,840 a	2,28
Profundidade 0-20 cm		
ÁREAS	C_{MIC} (g kg ⁻¹)	C_{MIC}/COT (%)
T ₁	0,359 b	1,73
T ₂	0,360 b	1,47
T ₃	0,359 b	1,64
T ₄	0,366 b	1,17
T ₅	0,239 b	1,00
RA	0,355 b	1,96
FLONA-Araripe	0,861 a	2,32

Médias das colunas seguidas das mesmas letras não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5%

Estudos elaborados por Leite (2002); Fialho *et al.* (2006); Silva *et al.* (2010) relatam que as maiores concentrações de C_{MIC} encontrados na profundidade superficial (0-10 cm) do solo em áreas de florestas pode ser pelo acúmulo de resíduos vegetais na superfície do solo e presença de matéria orgânica biodegradável. Sendo que os mesmos autores ressaltam que esses maiores valores encontrados na profundidade superficial implicam numa maior imobilização temporária do carbono no solo e, conseqüentemente menor perda do sistema-solo-planta.

Costa *et al.* (2008), enfatiza que sob vegetação natural o conteúdo de material orgânico do solo é mais estável, e com o uso agrícola esse conteúdo é de modo geral,

acentuadamente reduzido devido a utilização de métodos de intenso revolvimento do solo e sistemas de culturas com baixa adição de resíduos vegetais, condições estas que influenciam a atividade e a biomassa microbiana.

As demais áreas da UMF não apresentaram variações expressivas dos teores de C_{MIC} , com exceção do talhão (T_5), que verificou uma redução relevante com a profundidade de (0,215 a 0,239 g $kg^{-1}C_{MIC}$) (Tabela 10). Corroborando com os resultados, Silva *et al.* (2009) ressaltam, que devido a retirada da vegetação nativa e a intensidade de práticas de manejo no solo, foram expressivas as reduções nos teores de C_{MIC} nos diferentes sistemas de manejo, principalmente na profundidade 0-10 cm, onde são maiores as atividades da microbiota do solo. A presença da vegetação influencia diretamente na quantidade e qualidade do resíduo, fato este que pode contribuir para o acúmulo de carbono no solo e, portanto, melhores condições para o desenvolvimento da microbiota.

Silva *et al.* (2010), avaliando a biomassa e atividade microbiana em sistemas de manejo, concluíram que as reduções mais expressivas de C_{MIC} foram em áreas de sistema com práticas de intenso revolvimento do solo que limitaram a disponibilidade de material orgânico. Segundo Powlson *et al.* (1987), a biomassa microbiana é sensível às alterações nas formas de carbono em função das mudanças no manejo ou uso do solo. Para os autores, após as alterações serem introduzidas, a biomassa microbiana sofrerá flutuações, até atingir um novo equilíbrio.

A relação C_{MIC}/COT (Quociente Microbiano q_{MIC}), expressa quanto do carbono orgânico do solo está imobilizado na biomassa microbiana, ou seja, os maiores valores indicam a maior conversão de COT em C_{MIC} .

A área da FLONA-Araripe apresentou um elevado q_{MIC} variando de 2,24 a 2,32%, e elevando com o aumento da profundidade do solo. Um alto valor de q_{MIC} indica matéria orgânica muito ativa e sujeita as transformações (SAMPAIO *et al.*, 2008).

Apesar de não apresentarem diferenças significativas, observa-se que a UMF nos talhões (T_1 , T_2 , T_3 e RA) de maior período de pousio apresentaram q_{MIC} expressivos em todas as profundidades e os menores valores de q_{MIC} observados foi no talhão (T_5), em todas as profundidades analisadas.

Assim, o quociente microbiano (q_{MIC}), obtidos nas áreas de estudo estão na faixa de valores entre (0,27 a 7%), sugeridos por Anderson e Dowsch (1985). Conforme os autores, solos que exibem valores maiores ou menores de q_{MIC} podem expressar a ocorrência, respectivamente, de acúmulo ou perda de C do solo.

Jenkinson e Ladd (1981), mencionam valores de q_{MIC} de 2,2% como sendo o nível no qual estaria ocorrendo o equilíbrio nos sistemas, na FLONA-Araripe foi encontrado os valores de 2,24, 2,28 e 2,32 respectivamente, nas profundidades de 0-10, 10-20 e 0-20 cm do solo assim, a área da FLONA-Araripe indica reserva de energia e nutrientes imobilizados na biomassa microbiana. Resultados semelhantes foram obtidos por Leite (2002), Fialho *et al.* (2006), Pragana *et al.* (2012) em áreas de floresta.

No entanto, quando a biomassa está sob algum fator de estresse, a capacidade de utilização de carbono é diminuída reduzindo assim o conteúdo de q_{MIC} , situação que ocorreu no talhão (T_5) ao longo das profundidades, resultado que foi obtido também com o $C_{lável}$, C_{mol} e IMC.

A biomassa microbiana é o compartimento da MOS diretamente influenciado pelo mudança de uso e sistema de manejo do solo, podendo ser detectáveis mais rapidamente no que nos teores de C total do solo (SILVA *et al.*, 2010).

Portanto, confirma-se que o C_{MIC} é um importante reservatório lábil de nutrientes que se recicla rapidamente, sendo uma medida mais sensível às perdas de matéria orgânica relacionadas com os diferentes usos de manejo do solo que indicam condição de equilíbrio ou estresse nesses sistemas.

- **Respirometria basal do solo (RBS) e Quociente metabólico (qCO_2)**

De acordo com os resultados obtidos da RBS, pode-se analisar que os maiores valores encontrados foram na UMF (1,54; 1,58 e 1,65 mg C CO_2), respectivamente nas áreas T_1 , RA e T_5 na profundidade de 10-20 cm do solo (Tabela 11). Indicando assim maior atividade dos microrganismos nessas áreas, e em relação à profundidade pode-se inferir que as atividades microbianas na UMF respondem mais rapidamente ao manejo empregado nas áreas estudadas.

Todavia vale salientar que, a RBS não constitui um bom indicador para refletir as alterações nas atividades da microbiota. Pesquisas afirmam que se o parâmetro for avaliado assim, como o COT de forma isolada não expressará resultados biológicos precisos, pois eles esperavam uma maior atividade respiratória em sistemas de menor intensidade de manejo e obtiveram resposta inversa (SILVA *et al.*, 2010)

Segundo Matias *et al.* (2009), o estresse ocasionado na biomassa microbiana pode provocar um direcionamento de mais energia para a manutenção celular, de forma que uma proporção de carbono da biomassa será perdida como CO_2 em maior quantidade.

Este processo pode justificar a maior RBS observada no T₅ área que não se enquadra nas melhores condições para a atividade microbiana, devido principalmente aos reduzidos teores C_{lábil} e C_{MIC} que são as formas de matéria orgânico mais prontamente disponível aos microrganismos.

Por conseguinte, a baixa respiração basal do solo na FLONA-Araripe pode indicar estabilidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Pragana *et al.* (2012), em que a área de cerrado natural (CN) que apresentou maior C_{MIC} proporcionou menor respiração basal do solo.

Gama- Rodrigues e Gama- Rodrigues (2008) apud Pragana *et al.* (2012) esclarece que, quando a biomassa microbiana está em equilíbrio, são observadas menores perdas de CO₂ pela respiração basal do solo, e com isso, maior é a incorporação de C à biomassa microbiana, fato que também foi verificado nesta pesquisa, onde a área da FLONA-Araripe apresentou um elevado quociente microbiano.

Verificou-se baixa correlação entre os C-AH e a emissão de CO₂ (r= 0,33), essa correlação negativa também foi observada por Passos *et al.*, (2007) e indicam que os AH, por se tratar de moléculas orgânicas mais estáveis, tendem a ser menos preferida pelos microrganismos que atuam na mineralização da MOS e acarreta os menores valores de produção de CO₂.

Outro índice que pode ser utilizado para avaliar os impactos negativos produzidos por práticas de manejo do solo, decorrente do estresse na biomassa microbiana é o quociente metabólico (qCO₂), proposto por Anderson e Domsch (1993).

A área da FLONA-Araripe foi a que apresentou menor qCO₂, condição análoga foi mencionada por Pragana *et al.* (2012) em áreas de cerrado nativo. Valores menores apresentam melhores condições de equilíbrio. Conforme Tótola e Chaer (2002), baixo qCO₂ indica economia na utilização de energia e, supostamente, reflete um ambiente mais estável ou próximo do seu estado de equilíbrio.

Tabela 11. Valores médios (n=6) da Respiração Basal do Solo (RBS) e Quociente metabólico (qCO_2 $mg.CO_2.mg C_{MIC} dia^{-1}$) nas áreas de Unidade de Manejo Florestal (talhões T1-T5 e RA) e floresta preservada (FLONA-Araripe) nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm do solo.

Áreas	RBS	$qCO_2 \times 10^{-3}$
0-10 cm		
FLONA-Araripe	1,31	1,22
RA	1,43	4,29
T1	1,44	3,87
T2	1,30	3,45
T3	1,32	3,33
T4	1,35	3,44
T5	1,46	6,79
10-20 cm		
FLONA-Araripe	1,36	1,61
RA	1,58	6,00
T1	1,54	4,38
T2	1,35	3,71
T3	1,34	3,63
T4	1,35	4,04
T5	1,65	7,86

No entanto, valores elevados de qCO_2 são indicativos de ecossistemas submetidos a alguma condição de estresse ou distúrbios, situação observada na UMF, destacando-se em ambas as profundidades o talhão (T₅). Esse comportamento pode ser atribuído à qualidade do material orgânico presente na área pois a relação C/N no T₅ foi (19,60) na profundidade de 10-20 cm do solo, confirmando assim, os resultados obtidos na Tabela 5, no qual a qualidade do substrato que poderá ser classificado como pobre nessa área, pode ser o próprio fator limitante favorecendo para que ocorra um estresse no ambiente.

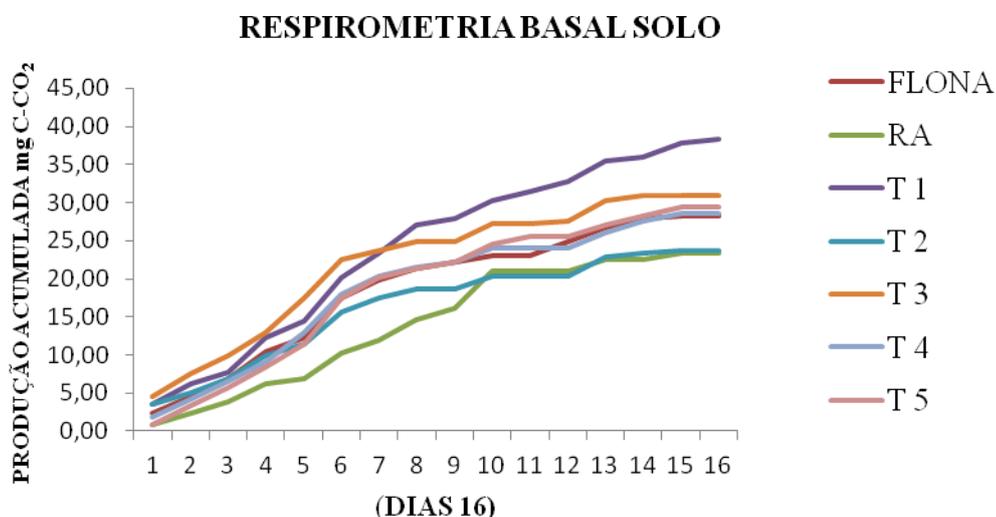
Pragana *et al.* (2012), afirmam que alto qCO_2 pode significar rápida transformação de resíduos orgânicos em nutrientes para as plantas, ou pode ser indicativo de estresse sobre a biomassa microbiana pela perturbação do solo, principalmente pela remoção da vegetação, implementos agrícolas e atividades de manejo e preparo do solo.

Este quociente pode ser considerado um índice que permite identificar solos que possuem biomassa mais eficiente na utilização de C e energia, refletindo assim, o grau de distúrbios ou estresse do ambiente (SILVA *et al.*, 2010). Para este índice, valores

elevados, normalmente, são associados a ecossistemas jovens, submetidos a algum tipo de estresse, enquanto os menores valores são, geralmente, associados a ecossistemas maduros e estáveis (ANDERSON; DOMSCH 1993).

A Figura 12 ilustra a avaliação temporal da estabilidade da RBS do solo nas áreas estudadas. O período compreendido de 16 dias de avaliação foi considerado como padrão, devido o comportamento da estabilização da RBS, tanto na profundidade de 0-10 cm como na de 10-20 cm.

Figura 12 . Estabilização da Respiração Basal do Solo



A verificação dessa estabilização no processo analítico da RBS é de suma importância, por exemplo, após esse período possivelmente outros grupos de microrganismos possam se reproduzir no meio e utilizarem outra fonte alternativa de energia. Estudos realizados por Moscatelli et al. (2007), ressaltam que durante um período de 10 dias a produção de CO_2 pode ser relativamente constante, no entanto, os autores enfatizam que como a RBS é um processo dinâmico, pode sofrer interferências de vários fatores, tais como: temperatura, umidade, aeração, etc, sendo assim, importante avaliar até atingir a estabilização.

6.2. APLICAÇÃO DA FERRAMENTA MULTIVARIADA

Na Tabela 12, estão apresentados os valores mínimos, máximos e médios dos atributos analisados na área de floresta preservada (FLONA-Araripe), com seus respectivos desvios padrão e coeficientes de variação.

Tabela 12 - Estatística descritiva (n = 6) dos atributos da FLONA-Araripe.

Atributos	Mínimo	Máximo	Média	D P	CV (%)
COT (g/kg)	13,58	46,31	23,86	4, 84	20,28
C _{lábil} (g/kg)	0,10	38,24	5,12	1,08	21,09
pH	3,30	5,20	4,34	0,48	11,05
U (%)	6,43	25,27	5,17	1,05	20,30
NT (g/kg)	0,0	1,74	0,84	0,18	21,42
RBS (mgC-CO ₂)	0,30	4,40	1,68	0,55	32,73
C _{MIC} (g/kg)	23,80	1385	409, 04	319	79,00
AF (dag/kg)	0,18	0,92	0,56	0,12	21,42
AH (dag/kg)	0,15	1,13	0,46	0,10	21,73
HU (dag/kg)	0,30	1,89	0,90	0,20	22,22
qCO ₂ (mgC-CO ₂ mg ⁻¹ (Cmic dia ⁻¹)	0,0	0,06	0,09	0,13	14,44
Est C (mg.ha ⁻¹)	22,08	86,35	40,66	12,42	30,54
MOL (g/kg)	17,51	38,70	28,69	6,09	21,22

COT: carbono orgânico total; C_{lábil} : carbono lábil; pH: potencia hidrogeniônica; U: umidade; NT: nitrogênio total;RBS: respiração basal do solo; C_{MIC} :Carbono da Biomassa Microbiana; AF: Ácido Fúlvico; AH: Ácido HúmicoHU: Humina; qCO₂: quociente metabólico; EST C: Estoque de Carbono e MOL : Matéria Orgânica Leve.

A análise da Tabela 12 mostra que, de modo geral, de acordo com a classificação de Gomes (2000), os resultados obtidos apresentaram dispersão elevada ($20 \leq CV \leq 30$). O referidor autor, nos ensaios agrícolas para experimentos de campo, os coeficientes de variação são considerados baixos, quando inferiores a 10%; médio, no intervalo de 10 a 20%; elevado, entre 20 e 30%; e muito elevado, quando superiores a 30%.

A qualidade do material orgânico incorporado ao solo, por apresentar uma elevada dinâmica e, conseqüentemente, sensibilidade as alterações de manejo, pode proporcionar uma grande variabilidade dos teores de C_{MIC}, resultando assim, em uma elevada dispersão e heterogeneidade de dados.

Nos pontos aonde o C_{MIC} é elevado predominam melhores condições de desenvolvimento da microbiota, contribuindo para baixos qCO_2 . Esse resultado indica economia na utilização de energia, representando um ambiente mais estável ou próximo do estado de equilíbrio.

Na Tabela 13 encontra-se a matriz de correlação para os atributos estudados. Ao se analisar essa tabela, verifica-se que 41% dos coeficientes de correlação obtidos apresentam valores significativos ($p < 0,05$). Desses, aproximadamente 53% encontraram-se no intervalo $0,6 < |r| < 0,9$, caracterizados, segundo Callegari- Jacques (2003), como de correlação forte. O restante (47%) encontrou-se no intervalo de $0,3 < |r| < 0,6$, caracterizado como de correlação moderada.

Tabela 13 - Coeficientes de correlação dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo na área de floresta preservada (FLONA-Araripe).

	COT	$C_{LÁBIL}$	pH	U	NT	RBS	C_{MIC}	AF	AH	HU	qCO_2	ESTC	IMC	MOL
COT	1													
$C_{lábil}$	0,67*	1												
pH	0,17	0,51*	1											
U	0,42	0,84*	0,55*	1										
NT	0,64*	-0,31	0,36	-0,12	1									
RBS	0,57*	0,32	0,65*	0,09	0,46*	1								
C_{MIC}	0,58*	0,79*	0,12	-0,20	0,73*	0,30	1							
AF	0,50*	0,23	0,23	0,43	0,75*	0,42	0,75*	1						
AH	-0,01	0,42	0,23	0,73*	0,22	-0,06	-0,13	-0,08	1					
HU	-0,18	0,59*	0,39	0,34	0,61*	-0,14	0,47*	0,37	0,24	1				
qCO_2	0,15	0,63*	0,67*	-0,21	0,83*	0,78*	0,50*	0,33	0,26	0,59*	1			
ESTC	-0,10	0,50*	0,69*	-0,20	0,59*	0,96*	0,08	0,11	0,38	0,26	0,90*	1		
IMC	0,50*	0,61*	0,05	0,65*	0,15	0,03	0,55*	0,07	0,16	0,48*	-0,01	0,30	1	
MOL	0,34	0,06	-0,23	0,31	-0,40	-0,38	-0,25	0,06	-0,58	0,27	0,45*	0,47*	0,04	1

*valores significativos com $p < 0,05$; COT: carbono orgânico total (g/kg); $C_{lábil}$: carbono lábil (g/kg); pH: potencial hidrogeniônico; U: umidade (%); NT: nitrogênio total ((g/kg); RBS: respiração basal do solo (mg C - CO_2); C_{MIC} : carbono da biomassa microbiana (g/kg); AF: ácido fúlvico (dag/kg); AH: ácido húmico (dag/kg); HU: humina(dag/kg); qCO_2 : quociente metabólico (mg. CO_2 .mg C_{MIC} dia⁻¹); EST C: estoque de carbono (mg ha⁻¹); MOL: matéria orgânica leve (g/kg); IMC :Índice de manejo de carbono(%).

A correlação elevada entre o COT e $C_{lábil}$ já era esperada, uma vez que o $C_{lábil}$ é um componente ativo da matéria orgânica do solo e ambos compõem o IMC. As correlações positivas entre o IMC e o COT, e entre o IMC e o $C_{lábil}$ foram de 0,50 e 0,61, respectivamente.

O $C_{\text{lábil}}$, por ser um componente da fração do C_{MIC} , apresentou elevada correlação positiva (0,79) com o C_{MIC} . Já a correlação entre o C_{MIC} e o COT foi moderada ($r = 0,58$).

Conceição *et al.* (2005), estudando a qualidade do solo em sistemas de manejo, obtiveram correlação entre o COT e C_{MIC} de 0,50. Eles concluíram que maior entrada de carbono no solo estimula a atividade dos microrganismos.

Com relação a RBS, foi obtida correlação moderada (0,57) com o C_{MIC} . Conceição *et al.* (2005) afirmam que o C_{MIC} e a RBS apresentam potencial de utilização para seleção de manejo.

Ao se analisar o NT, verificou-se que o mesmo se correlacionou positivamente com o C_{MIC} (0,73) e com o $q\text{CO}_2$ (0,50). Esse fato pode ser a incorporação de NT na biomassa microbiana e a eficiente utilização desses compostos, liberando na forma de CO_2 e incorporando aos tecidos microbianos, independentemente da profundidade do solo.

Elbasiouny *et al.* (2013), investigando a variabilidade espacial do COT e NT pelo método da krigagem, observaram correlação positiva semelhante ao dessa pesquisa ($r = 0,64$). Os autores asseguram que essa correlação contribui para o sequestro de carbono no ecossistema terrestre.

A matriz de correlação também evidenciou correlação positiva entre o COT e os AF e correlação negativa entre o COT e os AH. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato das moléculas dos ácidos húmicos serem mais estáveis, tornando-as menos disponíveis pelos microrganismos. Os ácidos fúlvicos, por sua vez, por serem menos estáveis, são mais prontamente assimilados pelos microrganismos (PASSOS, 2000).

Após análise da matriz de correlação procedeu-se a análise fatorial (AF), com o objetivo de compreender a importância de cada atributo estudado e indicar quais deles podem ser usados para explicar a dinâmica da MOS.

O índice KMO, obtido para o conjunto de atributos analisados, foi 0,67. O teste estatístico de esfericidade de Bartlett evidenciou-se significativo a $p < 0,01$, indicando que os fatores a serem encontrados na AF podem descrever significativamente a variação dos dados originais.

A redução dos atributos pela análise de componentes principais resultou em 2 componentes, conforme Tabela 14. A variância do primeiro componente foi de 43,19% e a do segundo foi de 30,44%. Dessa forma, o modelo conseguiu explicar aproximadamente 74% da variância dos dados originais, podendo assim, ser utilizado

com significância na elucidação da dinâmica da MOS das áreas estudadas nesta pesquisa. Esse resultado indica que tanto os atributos 1 e 2 podem ser utilizados como indicadores da dinâmica da MOS em seus diversos usos.

As variâncias dos atributos COT, C_{Lábil}, IMC, U, pH e C_{MIC} indicaram comunalidades entre 74 e 81%, sendo que, os atributos COT e C_{Lábil} foram explicados pelo Fator 1. Os demais atributos tiveram entre 62 e 75% da variabilidade explicada. Apenas o atributo AF é explicado por 57% dos fatores derivados pela Análise Fatorial.

Tabela 14 - Cargas fatoriais, comunalidades e variância explicada na análise fatorial dos atributos analisados.

Atributos	Fator 1	Fator 2	Comunalidades
COT	0,798	0,069	0,778
C _{Lábil}	0,790	0,073	0,740
pH	-0,40	0,450	0,812
U	0,690	0,504	0,750
NT	0,140	0,851	0,744
RBS	0,080	0,260	0,633
C _{MIC}	0,367	0,757	0,802
AF	0,220	0,156	0,572
AH	0,286	-0,180	0,622
HU	0,433	0,636	0,689
qCO ₂	0,210	-0,630	0,682
EST C	0,289	0,598	0,740
MOL	0,144	-0,830	0,683
IMC	0,838	0,172	0,758
% variância	43,19	30,44	

COT : carbono orgânico total (g/kg); C_{Lábil}: carbono lábil (g/kg); pH: potencial hidrogeniônico; U: umidade (%); NT: nitrogênio total (g/kg); RBS: respiração basal do solo (mg C - CO₂); C_{MIC} : carbono da biomassa microbiana (g/kg) ; AF: ácido fúlvico (dag/kg); AH: ácido húmico (dag/kg); HU: humina (dag/kg); qCO₂:quociente metabólico (mg.CO₂.mg C_{MIC} dia⁻¹); EST C: estoque de carbono (Mg ha⁻¹) ; MOL : matéria orgânica leve (g/kg).

Pode-se observar, em ordem decrescente das comunalidades, que os atributos que podem ser usados para explicar a dinâmica da matéria orgânica do solo são: pH, C_{MIC}, COT, IMC, U, C_{Lábil}, , NT, Est C.

A análise da Tabela 14 mostra que dos oito atributos com percentuais de comunalidades acima de 0,70, são necessários, apenas quatro atributos para explicar a

dinâmica da MOS nas áreas de estudo. São eles: COT e $C_{\text{lábil}}$ ambos compõem o IMC, NT e C_{MIC} . Esse resultado, ao reduzir o número de atributos a serem analisados, sem perder características significativas das áreas de estudo, permite reduzir os custos das análises laboratoriais.

A primeira componente principal atributo representado pelo COT e $C_{\text{lábil}}$ encontra-se fortemente correlacionada ao índice de manejo de carbono (IMC), uma vez que o IMC considera aspectos da labilidade da MOS, conforme relatado por Blair *et al.* (1995). Ele também permite comparar as mudanças que ocorrem no COT e no $C_{\text{lábil}}$ em consequência do uso e manejo do solo, conforme evidenciado nas Tabelas 5 e 6.

O estudo do IMC, devido a sua sensibilidade as mudanças causadas pelo uso e manejo do solo, com resposta a curto e médio prazo, tem sido considerado uma alternativa para elucidar ações negativas de manejo. E como já mencionado anteriormente, o IMC contempla os componentes quantitativo (COT) e qualitativo da MOS (carbono lábil, biomassa microbiana e matéria orgânica leve (BLAIR *et al.*, 1995; LEITE, 2005; SILVA e MENDONÇA, 2007; VIEIRA, *et al.*, 2007).

Estudos realizados por Barreto *et al.* (2008), utilizando análise de componente principal (ACP) para caracterizar a atividade da biomassa microbiana em solos sob plantações de eucalipto em uma sequência de idades, confirmaram que os atributos microbianos do solo são mais fortemente correlacionados ao nitrogênio e ao carbono do solo. Dinesh *et al.* (2003), também utilizando a ACP para interpretar a relação entre atributos químicos e microbianos de solos, sob diferentes coberturas florestais, verificaram que as maiores correlações ocorreram entre o carbono e o nitrogênio da biomassa microbiana. Esses autores sugeriram que a associação entre essas variáveis caracteriza a dependência dos microrganismos do solo aos teores de MOS e de NT.

Esses resultados sugerem que a eficiência do carbono da biomassa microbiana e NT nas áreas estariam também diretamente relacionadas à qualidade da serapilheira .

6.3. ETAPA TEÓRICA

- **Parametrização do Aplicativo *Century***

Vale salientar que a determinação do C passivo, na simulação de equilíbrio, foi realizada considerando-se o somatório das frações de ácido húmico e humina, uma vez que, ao se considerar os ácidos fúlvicos neste somatório, ocorreu uma superestimação de C no compartimento passivo. Essa superestimação gerou erros relativos na ordem de 40%. Ao ser desconsiderada do somatório, o erro foi de 10%.

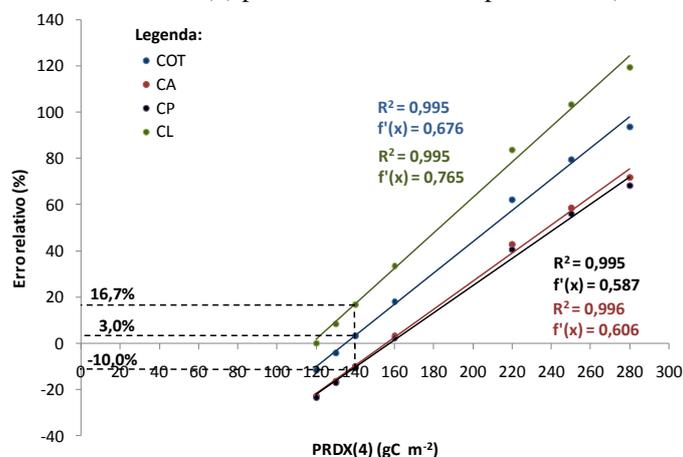
Ressalta-se que a desconsideração do C dos ácidos fúlvicos no compartimento passivo, se deve a possibilidade da presença de elevados teores de compostos orgânicos de baixo peso molecular, uma vez que não classificados como de elevada recalcitrância.

Partindo do pressuposto que a FLONA-Araripe possui maior cobertura vegetal, aporte de resíduos e condições edafoclimáticas propícias às concentrações elevadas de carbono obteve-se assim um PRDX (4) na Figura 13 superior ao da Reserva Ambiental (Figura 14), que apesar de ser uma área com vegetação permanente, o solo está mais exposto às intempéries devido às temperaturas elevadas, menor teor de umidade do solo, densidade arbórea reduzida. Assim, as condições edafoclimáticas tornam-se fatores determinantes na produção potencial de carbono e interferem diretamente no controle na dinâmica da MOS (WATTS *et al.*, 2006).

Salienta-se que o parâmetro PRDX quando não ocorre limitações ao crescimento vegetal, pode ser modificado pelo usuário para aproximar os valores simulados aos dados reais.

Observa-se que esse procedimento é importante na simulação de equilíbrio, pois, se essa condição não for ajustada corretamente podem ocorrer erros de interpretação dos valores observados quando o solo é utilizado para agricultura, principalmente em relação aos resultados obtidos no compartimento passivo (LOPES, 2006).

Figura 13 . Erro relativo entre os valores medidos e calculados de COT e de estoque de carbono nos compartimentos CA, CP e CL vs. PRDX(4) para a área de floresta preservada (FLONA – Araripe).

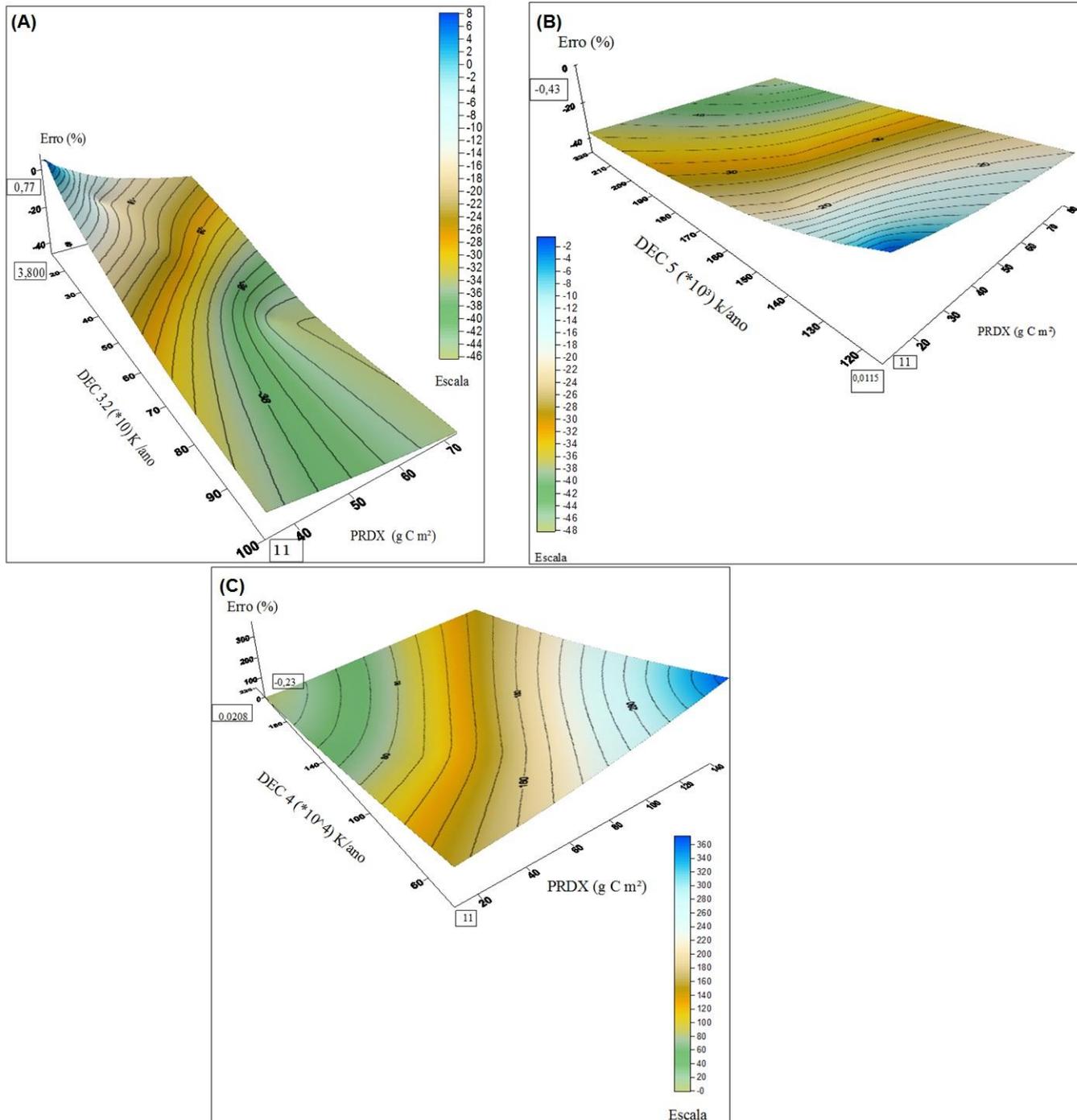


Observa-se na Figura 13 que para um PRDX(4) de 140 g C m^{-2} o COT calculado ($6128,0 \text{ g C m}^{-2}$) é superestimado em 3,0% quando comparado com o medido ($5948,8 \text{ g C m}^{-2}$). No CL o estoque de carbono calculado ($3463,0 \text{ g C m}^{-2}$) foi superestimado em 16,7% em relação ao medido ($2968,3 \text{ g C m}^{-2}$). Nos compartimentos CA e CP observou-se que os estoques de carbono calculados (respectivamente $104,8$ e $2559,0 \text{ g C m}^{-2}$) foram subestimados em 10,0% com relação aos medidos (respectivamente $116,5$ e $2864,0 \text{ g C m}^{-2}$).

De acordo com a Figura 13, observa-se um bom ajuste linear para as quatro retas de correlação, com R^2 maiores que 0,99. A inclinação das quatro retas definidas por $f'(x)$ indicam que o compartimento lento é o mais sensível as variações do PRDX(4), por apresentar maior inclinação positiva (indicando uma elevação de 0,765% no erro a cada 1 g C m^{-2}) e o passivo, o menos sensível (indicando uma elevação de 0,587% no erro a cada 1 g C m^{-2}).

A Figura 14 mostra as superfícies dos erros gerados para cada compartimento, a partir do ajuste do PRDX. Observa-se, nesta figura, o decréscimo dos erros gerados, aproximando-se dos erros mínimos 0,77 da taxa de decaimento compartimento ativo (DEC3.2), -0,23 taxa de decaimento compartimento do compartimento passivo (DEC4) e -0,43 taxa de decaimento compartimento lento (DEC5) obtidos nos procedimentos de calibração do modelo.

Figura 14 . Superfícies geradas pela variação do PRDX em função do erro considerando-se as taxas de decaimento DEC 3.2, DEC 4 e DEC 5, correspondentes, respectivamente, aos compartimentos CA (a), CP (b) e CL (c), na Reserva Ambiental.



Na Figura 14A, o erro de 0,77 foi obtido no DEC3.2 a partir do ajuste do PRDX (4) para 11 g C m⁻², uma vez que o estoque de carbono calculado foi 13 g C m⁻² e o medido foi 12,9 g C m⁻². Nos DEC5 (CL) e DEC4 (CP) Figuras 14B e 14C, os estoques de carbono calculados foram 342,0 e 34 g C m⁻², respectivamente; subestimados em -

0,43 e -0,23% em relação aos estoques de carbono medidos (343,5 para o DEC5 e 34,08 g C m⁻² para o DEC 4).

Em relação ao COT ocorreu uma subestimação de -0,12%, quando comparando o estoque de carbono calculado (390,0 g C m⁻²) com o medido (390,5 g C m⁻²).

Após o ajuste de PRDX, para cada área foram realizadas as simulações estacionárias (condição de equilíbrio), Figuras 15 e 16 considerando os seguintes dados de entrada: clima, solo e vegetação. A análise dessas figuras mostra que, independente do PRDX, tipo de solo, manejo da área, a condição de equilíbrio gerada é a mesma para ambas as áreas. Esse comportamento pode ser atribuído ao fato de ter sido considerado um período muito longo para o estoque de carbono nos compartimentos avaliados, que é uma condição imposta pelo aplicativo *Century* para gerar as simulações estacionárias. Essa imposição retrata a falta de sensibilidade do Aplicativo *Century* a pequenas mudanças nos valores de PRDX.

Esse comportamento também foi observado por Fernandes (2002), ao estudar o uso do Aplicativo *Century* da dinâmica do carbono orgânico em solos do Rio Grande do Sul.

Figura 15 . Estoques de COT e dos compartimentos de carbono na área de floresta preservada (FLONA-Araripe) na profundidade de 0-20 cm do solo, obtidos por meio da simulação de equilíbrio realizada pelo Aplicativo Century.

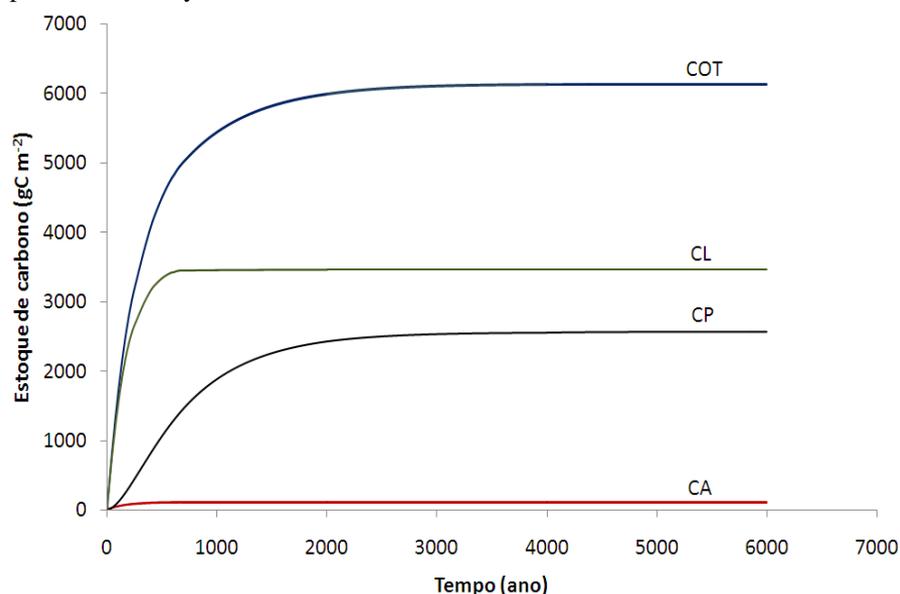
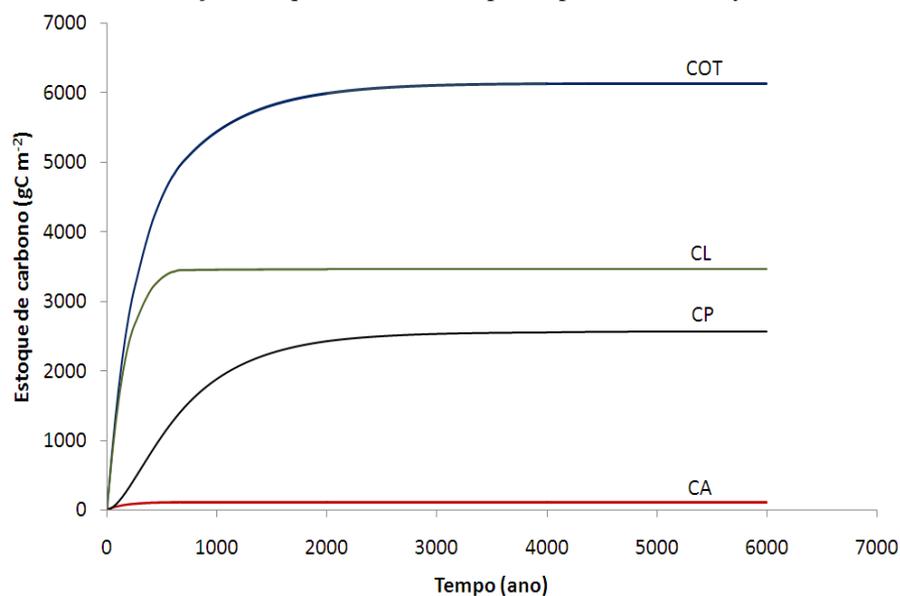


Figura 16 . Estoques de COT e dos compartimentos de carbono na Reserva Ambiental (0-20 cm), obtidos por meio da simulação de equilíbrio realizada pelo Aplicativo Century.



A subestimação no CP em ambas as áreas está em conformidade com os resultados obtidos por Silva e Mendonça (2007). De acordo com os autores, essa subestimação em solos tropicais, com predominância do mineral caulinita, decorre da interferência dos teores de Fe e Al na estabilização da MOS.

Silva e Mendonça (2007) elucidam que a alta estabilidade dos organo-minerais decorre da interação eletrostática das cargas positivas dos óxidos de Fe e Al e cargas

negativas da MOS, dificultando o acesso microbiano ao substrato orgânico. Os óxidos são responsáveis pela desorganização das partículas das argilas em escala microscópica, dificultando a orientação face a face dos cristais de caulinita. Essa desorientação impede a formação do plasma deso, favorecendo o surgimento da formação da estrutura granular, o que garante maior resistência à interferência antrópica e às alterações no manejo do solo.

Em seguida foram realizadas, nas simulações da FLONA-Araripe, correções das constantes de decaimento do C (K) e dos fatores de correção (A), nos compartimentos passivo (DEC4), lento (DEC5) e ativo (DEC3.2), da área de estudo, conforme Tabela 15 e Figura 18. Esse procedimento foi realizado até obter-se erros absolutos para os valores de COT inferiores a 10%.

Tabela 15 - Constantes das taxas de decaimento (K) e dos fatores de correção (A), padrões do modelo, constantes ajustadas (K*) e fatores de correção ajustados (A*) das taxas de decomposição do carbono nos compartimentos passivo (DEC4), lento (DEC5) e ativo (DEC3.2) na área de floresta preservada (FLONA Araripe).

Parâmetro	K (ano ⁻¹)	A	K* (ano ⁻¹)	A*
DEC4	0,0045	1,00	0,00402	0,89
DEC5	0,2000	1,00	0,22500	1,12
DEC3.2	7,3000	1,00	6,50000	0,89

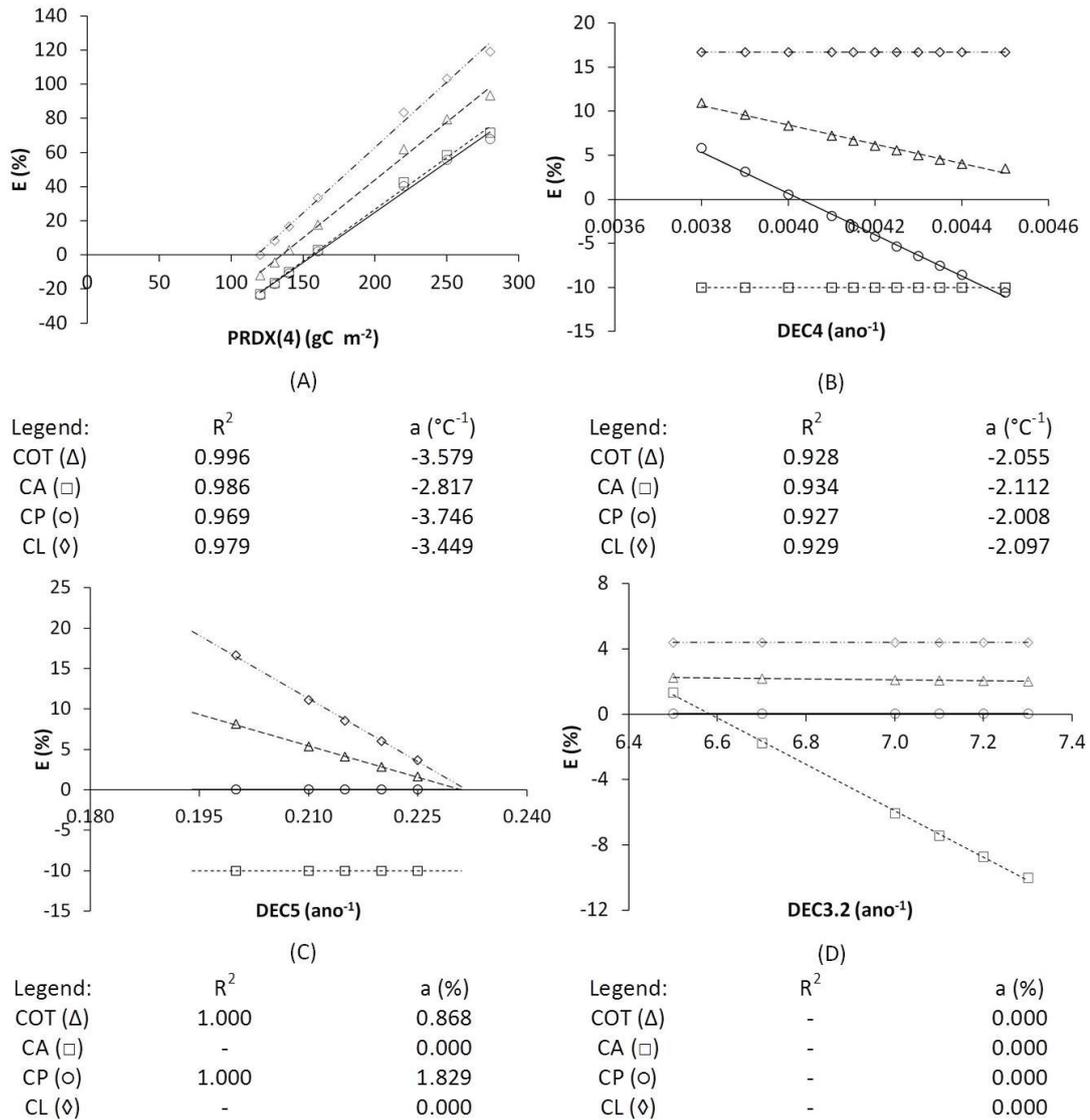
Na Figura 18 (B), mantendo-se o PRDX(4) fixo (Figura 18 A), observou-se que o ajuste da constante de decaimento do C, no compartimento passivo (DEC4), de 0,00402 ano⁻¹, gera um erro de apenas 0,04%, ou seja, considerado ótimo para a área de estudo. Por outro lado, essa redução no valor de K reduziu a taxa de decaimento do C, resultando no aumento das concentrações de COT, com conseqüente elevação do erro entre os valores medidos e simulados (de 3 para 8%).

É importante ressaltar que a redução da constante de decaimento do compartimento passivo, nesta pesquisa, se justifica pela mineralogia da área de estudo. De acordo com Sollins *et al.* (1996), essa proteção torna a MOS inacessível aos microrganismos e contribui com a formação de microagregados.

Leite *et al.* (2004) reafirmam que em solos com predominância da caulinita o DEC4 pode chegar a representar cerca de 90% do COT, ou seja, maior do que o

tamanho pressuposto no Aplicativo *Century* (30 a 50%). Essa diferença pode está relacionada com a proteção na decomposição gerada pela mineralogia dominante da área de estudo, associada a textura argilosa. Por esse motivo é essencial a incorporação da mineralogia no submodelo do carbono.

Figura 17 . Erro relativo (E) das concentrações de COT e de carbono nos compartimentos ativo (CA), passivo (CP) e lento (CL) vs. PRDX (4) (A), DEC4 (B), DEC5 (C) e DEC3.2 (D). R² - coeficiente de determinação, a - coeficiente angular da reta de correlação.



Outro aspecto a ser considerado, refere-se ao fato do ajuste do K do compartimento ativo não ter alterado as concentrações de C nos compartimentos ativo e lento, mostrando que o DEC5 e o DEC3.2 não são sensíveis a constante de decaimento do DEC4.

Com relação ao compartimento lento (DEC5), Figura 17 (C), os menores erros referentes a concentração de CL (3,7%) e ao COT (1,7%) foram obtidos ao se elevar o valor de K de 0,20000 ano⁻¹ para 0,22500 ano⁻¹ (Tabela 15). Para o DEC3.2, os menores erros foram obtidos ao se reduzir o K de 7,3 ano⁻¹ para 6,5 ano⁻¹: 2,3% para o COT e 1,4% para o carbono do compartimento ativo.

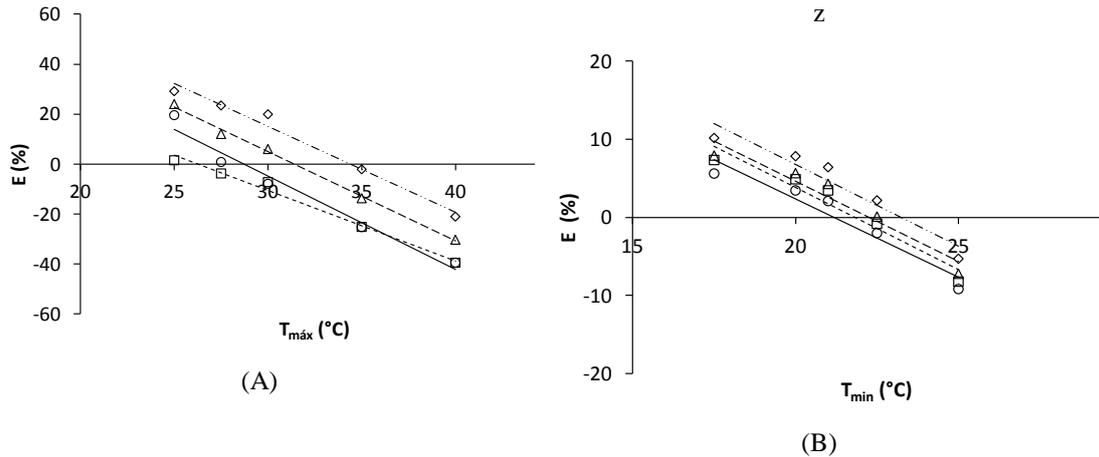
Dessa forma, os ajustes das constantes de decaimento corrigiram as subestimações das concentrações de C nos compartimentos ativo e passivo e a superestimação no compartimento lento. Por outro lado, esses ajustes alteraram o valor do efeito combinado de temperatura e umidade (A), assumido como sendo igual a 1, para todos os compartimentos, pelo padrão do aplicativo *Century*. Após os ajustes de K, os fatores de correção de A, aqui representados por A*, específicos para a área de estudo, foram iguais a 0,89 para os compartimentos ativo e passivo e 1,12 para o compartimento lento (Tabela 15). Estes resultados sugerem, inicialmente, maior taxa de decaimento da matéria orgânica no compartimento lento, indo de encontro ao comportamento esperado para as taxas de decaimento de matéria orgânica nos três compartimentos: maior no lento, intermediário no ativo e menor no passivo.

Porém, o fato de A* ter sido mais elevado no compartimento lento pode ser atribuído ao aporte de materiais de difícil biodegradação (por exemplo, a lignina), proveniente dos compartimentos estruturais das partes aérea e raiz. Nesse caso, para compensar o efeito do tipo de material alocado nesse compartimento, de tal forma que a taxa de decaimento da matéria orgânica seja intermediária, ao compará-la com as observadas nos demais compartimentos, realmente é necessário que o efeito combinado de temperatura e umidade seja maior. De fato, de acordo com Motavalli *et al.* (1994), o compartimento lento inclui outros compostos além do C da fração leve, com características que resultam no incremento do fator abiótico.

Análise de sensibilidade

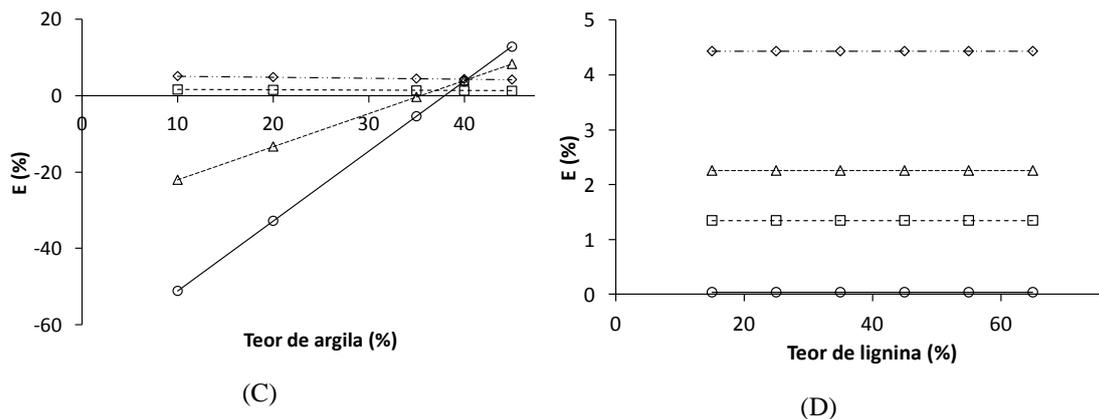
A Figura 18 mostra as análises de sensibilidade do modelo em relação as temperaturas máximas e mínimas, teor de argila e lignina.

Figura 18 . Erro relativo (E) das concentrações de COT e de carbono nos compartimentos passivo (CP), lento (CL) e ativo (CA) vs. temperatura máxima mensal (A), temperatura mínima mensal (B), teor de argila (C) e teor de lignina (D).



Legend a:	R ²	a (°C ⁻¹)
COT (Δ)	0.996	-3.579
CA (□)	0.986	-2.817
CP (○)	0.969	-3.746
CL (◇)	0.979	-3.449

Legenda:	R ²	a (°C ⁻¹)
COT (Δ)	0.928	-2.055
CA (□)	0.934	-2.112
CP (○)	0.927	-2.008
CL (◇)	0.929	-2.097



Legenda :	R ²	a (%)
COT (Δ)	1.000	0.868
CA (□)	-	0.000
CP (○)	1.000	1.829
CL (◇)	-	0.000

Legenda:	R ²	a (%)
COT (Δ)	-	0.000
CA (□)	-	0.000
CP (○)	-	0.000
CL (◇)	-	0.000

As Figuras 18 A e B, mostram que as variáveis de entrada temperatura máxima e mínima foram mais sensíveis. A menos sensível dentre as temperaturas indica uma redução de 2,733 % no erro a cada 1 °C de T_{\min} e a mais sensível, uma redução de 4,094 % a cada 1 °C de T_{\max} .

A variável de entrada, teor de argila, não foi sensível para os estoques de carbono nos compartimentos CA e CL (Figura 19 C). Porém, para o COT e CP apresentou sensibilidade, com elevações de respectivamente 0,706% e 1,633% nos erros a cada 1% de argila.

Este fato pode ser devido a possível proteção física, que favorece o incremento do carbono nos compartimentos, uma vez que ocorre predominância da caulinita e óxidos de ferro e alumínio nas amostras analisadas.

A variável de entrada teor de lignina não foi sensível para o COT nem para os estoques de carbono nos compartimentos CA, CP e CL.

- **Validação do Aplicativo *Century* na Unidade de Manejo Florestal (UMF)**

Após a simulação de equilíbrio na RA foram realizados os ajustes para a validação do aplicativo na UMF (Tabela 16).

Tabela 16 - Ajuste das constantes de decaimento (K) da taxa de decomposição do carbono nos compartimentos CP (DEC4), CL (DEC5) e CA (DEC3.2) dos talhões (T) da UMF.

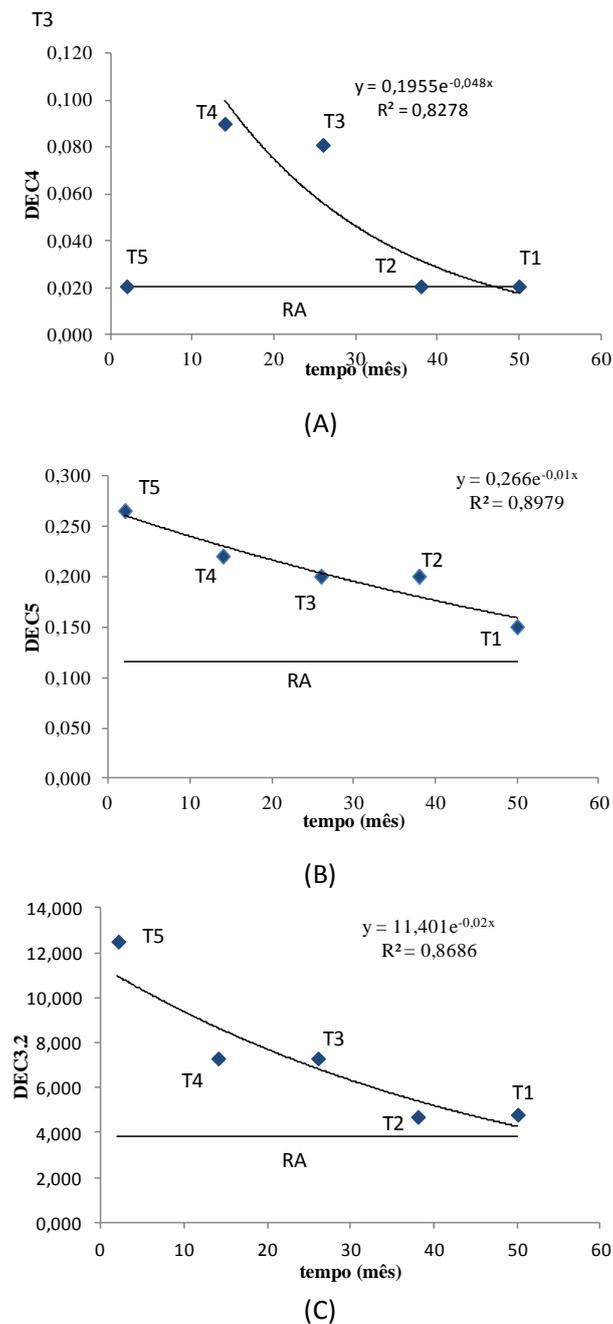
UMF	T1	T2	T3	T4	T5	RA
Parâmetros	K (ano ⁻¹)					
DEC 4	0,0210	0,0210	0,0810	0,0900	0,0210	0,0208
DEC 5	0,1500	0,0200	0,2000	0,2200	0,2650	0,0115
DEC3.2	4,8000	4,7000	7,3000	7,3000	12,5000	3,8000

Verifica-se que o DEC3.2 dos talhões 1 e 2 apresentam valores próximos aos ajustes obtidos para a RA. Esse comportamento pode ser atribuído ao maior tempo de pousio, favorecendo uma melhoria nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, retornando às condições iniciais do solo na UMF. Assim, esse período de pousio proporciona uma estabilidade da dinâmica da MOS semelhante as condições iniciais.

Destaca-se que o DEC3.2 apresenta respostas mais rápidas ao sistema de manejo adotado devido ao menor tempo de ciclagem da MOS, sendo, portanto, o mais sensível.

As simulações foram realizadas nos Talhões T₁, T₂, T₃, T₄, T₅ e RA da UMF, considerando corte raso nos meses de junho e julho dos anos de exploração de cada talhão, com posterior recuperação da vegetação até o ano de coleta (2013) (APÊNDICE 17). A RA foi considerada como referência. As variações mensais das taxas de decaimento do carbono em cada talhão da UMF estão ilustradas na Figura 19

Figura 19 . Variações mensais das taxas de decaimento do carbono na área de Unidade de Manejo Florestal (UMF).



Analisando a Figura 19A, identifica-se que não ocorre alteração na taxa de decaimento DEC4 nos dois primeiros meses, somente após 10 a 25 meses de retirada da vegetação e que pode-se observar um declínio. Com a retirada da vegetação, após o corte, ocorre uma menor deposição de resíduos vegetais e um aumento na compactação do solo por meio de máquinas e fragmentação dos agregados, proporcionando oxidação da MOS, refletindo no seu declínio.

Six *et al.* (2002), explicam que a perturbação do solo tende a estimular as perdas de carbono, tanto por aumentar a oferta de oxigênio para os organismos decompositores, quanto por fragmentar os agregados que protegem o carbono do acesso microbiano. Observou-se na simulação, que após aproximadamente 47 meses (4 anos) a taxa de decaimento DEC4 apresenta uma tendência à estabilidade. Esse comportamento deve-se, possivelmente, ao período de pousio nos talhões T₁ e T₂, que promove a recuperação diferenciada da MOS ao longo dos meses. O comportamento do T₅ justifica-se por não ter ocorrido período de pousio.

Fernandes (2002), ressalta que o DEC4 está associado ao atributo óxido de ferro e alumínio e as interações minerais, assim a matéria orgânica é suficiente para tornar o carbono estável ao longo do tempo. A locação do carbono no compartimento passivo ocorre devido, principalmente, a proteção à decomposição produzida pelos intemperismos físico, químico e biológico na mineralogia dominada pelos óxidos de ferro e alumínio, gerando uma estabilidade nos teores da MOS. Durante o período de pousio ocorre menor revolvimento do solo e maior incremento do carbono via deposição serrapilheira (resíduos vegetais após corte).

Em relação a taxa de decaimento DEC5 (Figura 19B), as reduções iniciam-se após a retirada da vegetação, ao contrário do resultado obtido para o DEC4. Duxbury *et al.* (1989), esclareceram que esta é a fração menos protegida e que são as mais alteradas pelo manejo.

Resultado semelhante foi obtido por Lopes (2006), avaliando a utilização do Aplicativo *Century* na dinâmica da MOS em uma pequena bacia hidrográfica rural. A autora observou que o compartimento lento, representado pelo DEC5, reflete as reduções de carbono nos primeiros meses, nas áreas de intenso cultivo, apresentando perdas de 50,3%, estimando-se um tempo de 6 anos para ocorrer a recuperação das unidades avaliadas. De acordo com a Figura 19B o tempo de recuperação para a UMF é de aproximadamente 87 meses (7 anos).

Estudos realizados por Vilela e Mendonça (2013), avaliando impactos de sistemas agroflorestais em Latossolo Vermelho Amarelo, observaram uma redução no estoque de carbono, com alteração dos teores no compartimento lento (DEC5) nos primeiros meses e depois no compartimento passivo (DEC4).

Fernandes (2002) e Leite *et al.* (2004) elucidam que as possíveis falhas que podem ocorrer na estimativa de carbono no compartimento lento (DEC5), estão associadas a não representação da perturbação provocada pelo revolvimento solo e que nesse compartimento, provavelmente pode conter outros compostos além do carbono da fração leve, levando a necessidade de revisão das taxas de composição dos compartimentos no aplicativo

O ajuste da taxa de decaimento DEC 3.2 (Figura 19C) mostra que as alterações na dinâmica da MOS acontece nos primeiros meses de retirada da vegetação. Embora, o carbono esteja estabilizado, o armazenado no solo está sendo transferido para reservatórios mais lábeis, ao contrário do compartimento passivo, ou seja, com menor tempo de permanência e com uma dinâmica constante, dependendo do uso solo. Logo, esse carbono está mais susceptível a decomposição, devido a impactos como mudanças na temperatura e regime de chuvas ou perturbação do solo por revolvimento.

Observa-se na simulação que ocorreu variação ao longo dos diferentes meses conforme Figura 19C, esse resultado corrobora com Vilela e Mendonça (2013), que elucidaram que esse comportamento é devido a variação constante do compartimento no solo em função de mudanças de umidade, temperatura e no estágio desenvolvimento das culturas.

No modelo, o compartimento ativo está associado à biomassa microbiana, apresentando menor tempo de reciclagem e maior sensibilidade às ações antrópicas e às alterações de manejo. Nessa pesquisa, a taxa de decaimento para o DEC3.2 foi de 55 meses, aproximadamente 5 anos para os talhões da UMF. Vale salientar que o aplicativo assume tempo de ciclagem de 1 a 3 anos.

Neste sentido, a partir desses cenários, a pesquisa mostra que a utilização do aplicativo, com ajustes necessários nas constantes das taxas de decaimento (DEC4, DEC5 e DEC3.2), consegue definir o tempo estimado de recuperação das características física, químicas e biológicas do solo dos talhões manejados.

Tornquist *et al.* (2009), ressaltam que embora testado e utilizado com sucesso em outros ecossistemas no Sul do Brasil, numerosos parâmetros do Aplicativo *Century* necessitam de alterações para sua aplicação em determinadas regiões, às vezes com

modificações mínimas em determinados parâmetros, especialmente em experimentos de longa duração, que poderia levar a um melhor ajuste dos dados simulados e observados e reduzindo as incertezas, confirmando assim assertiva dessa pesquisa.

Os próprios idealizadores do *Century* (PARTON *et al.*, 1987; METHEREL *et al.*,1994) relatam que os compartimentos da MOS simulados pelo modelo são teóricos (conceituais) e não podem ser comparados diretamente às frações físicas granulométricas ou densimétricas, entretanto, algumas relações podem ser realizadas com sucesso após os ajustes nos parâmetros de decomposição do modelo.

7. CONCLUSÕES

- Ocorrem alterações nas características físico (umidade), químicas (COT, NT, $C_{\text{lábil}}$, C_{MOL} , frações C-AF, C-AH e C-HU) e biológicas (RBS, C_{MIC} , $q\text{CO}_2$, q_{MIC}) do solo submetido ao manejo florestal.

- A dinâmica da MOS avaliadas pelas constantes das taxas decaimento dos talhões (T_1 a T_5), compreendidos nos períodos de manejo praticado (2007 a 2013), revelam que o acúmulo de carbono nas áreas da UMF, a partir do tempo de pousio já adotado pelos proprietários da UMF, são satisfatórios para recuperar as características física, químicas e biológicas do solo dos talhões manejados.

- O Índice de manejo de carbono, os teores de carbono da biomassa microbiana e nitrogênio total podem ser utilizados como indicador da qualidade do solo nas áreas de estudo.

- Ocorrem variações temporais em relação a quantidade e qualidade da MOS através das taxas de decaimento DEC4, DEC5 e DEC3.2 na FLONA- Araripe e UMF, sendo que, essas alterações dependem do compartimento de que o carbono é alocado.

- As taxas de decaimento DEC3.2 e DEC5 podem ser consideradas mais sensíveis às alterações de mudanças de uso do solo, indicando a importância do estudo das taxas na dinâmica da MOS.

- Os resultados das simulações demonstraram que o Aplicativo *Century* pode ser adotado nos estudos da dinâmica da matéria orgânica em solos tropicais com predominância da caulinita, porém com a necessidade da correção pelas constantes das taxas decaimento.

- O presente estudo pode contribuir para a elucidação sobre os potenciais de acúmulo de carbono em curto, médio e longo prazo em um Latossolo Vermelho Amarelo em áreas de floresta preservada (FLONA-Araripe) e Unidade de Manejo Florestal (UMF) e subsidiar aos programas de monitoramento ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, S.K.P.; ALENCAR, G.S.S.; SOUZA, G.S.; SILVA, C.A., MAGALHÃES, C.L.; SANTOS, C.A.A. **Levantamento fitossociológico em área de floresta ambrófila na Floresta Nacional do Araripe/Apodi – CE.** Congresso Norte e Nordeste de Pesquisa e Inovação. 2012. 2000.

ALVES, C. C. E. ; BEZERRA, L. M. A.; MATIAS, A. C. C. A importância da conservação/preservação ambiental da floresta nacional do araripe para a região do Cariri – Ceará/Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, EGAL, Costa Rica II p. 1-10, 2011.

ALLEONI, F.; MELO, V.F.; LUIS, R. **Química e Mineralogia do Solo.**Parte II. Sociedade Brasileira Ciência do Solo. p. 685, 2009.

AMARO FILHO, J.; MOTA, J.C.A.; ASSIS JÚNIOR, R.N. **Física do Solo.** Conceitos e Aplicações. p. 290, 2008.

ANDERSON, T.H. & DOMSCH, K.H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, 25 (3): 393-395, 1985.

ARAÚJO, A.O.; MENDONÇA, L.A.R.; LIMA, M.G.S.; FEITOSA, V.J.; SILVA, F.J.A.; NESS, R.L.L.; FRISCHKORN, H.; SIMPLÍCIO, A.A.F.; KERNTOPF, M.F. Modificações nas propriedades dos solos de uma área de manejo florestal na Chapada do Araripe.**Revista Brasileira Ciência do Solo.** v. 37, p.317-326, 2013.

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

BALDOCK, J.A.; SKJEMSTAD, J.O. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic against biological attack. **Organic Geochemistry**. p. 697-710. 2000.

BARETTA, C. R.D.M.; AMARANTE, C.V.T.; FILHO, D.K. Análise multivariada de atributos do solo em sistemas convencional e orgânico de produção de maçãs. **Revista Pesquisa. Agropecuária. Brasileira**. Brasília, v.41, n.10, p.1531-1539, out. 2006.

BARRETO, P.A.B; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; FONSECA, S. Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em sequência de idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa v. 32, p. 611- 619, 2008.

BAYER, C.; NETO-MARTIN, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A.; DIEKOW, J. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no – till. **Soil Tillage Reserch**, v.86, p. 237-24, 2006.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R. D. B.; LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a Carbon Management Index, for agricultural systems. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v.46, p.1459-1466, 1995.

BORTOLON, E.S.O.; MIELNICZUK, J; TORNQUIST, C.G.; LOPES, F.; GIASSON, E. BERGAMASCHI, H. Potencial de uso do modelo *century* e SIG para avaliar o impacto da agricultura sobre os estoques regionais de carbono orgânico do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p.831-849, 2012.

BURAK, D.L.; FONTES, M.P.F.; BECQUER, T. Microagregados estáveis e reserva de nutrientes em Latossolo Vermelho sob pastagem em região do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical Goiânia**. n. 2, v. 41, p.229-241, 2011.

BROLINGER, M.A.; ANGERS, D.A.; GREGORICH, E.G; CARTER, M.R.; The response of soil quality indications to conservation management. **Can.J. Soil. Science**. 79: 37-45, 1999.

BUNNELL, F.L.; TAIT, D.E.N.; FLANAGANT, P.W.; VAN CLEVE, K. Microbial respiration and substrate weight-loss. A general model of the influences of abiotic variables. **Soil Biology Biochemistry**, Oxford, v.9, p. 33-40, 1977.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The Nature and Properties of Soils**. 14th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008, 965p.

BLEICHER, L. ; SASAKI, J.M. INTRODUÇÃO À DIFRAÇÃO DE RAIOS-X EM CRISTAIS. Universidade Federal do Ceará, 2000. p.20

CALLEGARI-JACQUES, S.M. **Bioestatística: Princípios e Aplicações**. Porto Alegre, Artemed, 2003.p.255.

CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES, B.C.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D. & WATSON, C.A. (eds.) **Sustainable management of soil organic**. Wallingford: CAB International, 2001. p.9-22.

CARVALHO, O.L.; AQUINO, B. F.; FRISCHKORN, H.; AQUINO, M.D.; FONTENELE, R.E.S. **Tecnologia agrícola e de conservação ambiental para o topo da Chapada do Araripe**. Relatório Técnico Final. Fortaleza: BNB/FINEP – ACEP, p.232, 1999.

CARVALHO, J.L.N.; AVANZI, J.C.; SILVA, M.L.N.; MELLO, C.R.; CERRI, C.E.P.; Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 34, p. 277- 289, 2010.

CARVALHO, R.; GOEDERT, W.J.; ARMANDO, M.S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistemas agroflorestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n.11, p. 1153-1155, 2004.

COELHO, M.M. **Estudo da respiração do solo em floresta de transição no Sudoeste da Amazônia**. Dissertação (Mestrado em) Universidade Federal de Mato Grosso. Dep. Física e Meio Ambiente. p. 51, 2005.

CONCEIÇÃO, A.M.S.B. **Estoque e qualidade do solo em Cambissolo do Semiárido Baiano**. 2010. 70f. Dissertação (Mestrado em) - Universidade Federal do Recôncavo Baiano, 2010.

CONCEIÇÃO, P. C. **Proteção física da matéria orgânica do solo em solos do Sul do Brasil**. 2006. 145 f. Tese (Doutorado em) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2006.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J. SPAGNOLLO, E. 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, 777-788, 2005.

CORNEJO, J.; HERMOSÍN, M.C. Interaction of substances and soil clays. **Humic Substances in Terrestrial Ecosystems**, Chapter 15. Ed A . Piccolo, 1996.

CORRAR, L. J. et al. **Análise Multivariada para os cursos de Administração, Ciências Contábeis e Economia**. 1. Ed. 2. Reimpr. São Paulo: Atlas, 2012. p.541.

COSTA, F.; BAYER, C. ZANATTA, J.A.; MIELNICZUK, J. Estoque de carbono orgânico no solo e emissões de dióxidos de carbono influenciados por sistemas de manejo no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 3, p. 10-17, 2008.

CRITTER, S.A.M.; FREITAS, S.S.; AIROLDI, C. Microcalorimetric measurements of the metabolic activity by bacteria and fungi in some Brazilian soils amended with different organic matter. **Thermochimica Acta**, v.417, p.275-281, 2004.

CULMAN, S.W.; SNAPP, S.S.; FREEMAN, M.A; SCHIPANSKI, M.E.; BENISTON, J.; LAL, R.; DRINKWATER, L.E; FRANZLUEBBER, A.J.; GLOVER, J.D.; GRANDY, A.S.; LEE, J.; SIX, J.; MAUL, J.E.; MIRKSY,S.B.; SPARGO, J.T.; WANDER, M.M. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management. **Soil Biology & Biochemistry**. v.76, n.2, p.494-504, 2012.

DEBARBA, L **Simulação pelo modelo Century no impacto da agricultura no estoque de carbono orgânico de solos do Planalto Rio – Grandense**. 2002. 195 f. Tese (Doutorado em.) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

DALAL, R.C.; MAYER, R.J. Long-term trends in fertility of soils 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, 1986.

DICK, D.P.; NOVOTNY, E.H.; DIECKOW, J. ; BAYER, C. Química da matéria orgânica do solo. In: MELO, V.F; ALLEONI, L.R.F. (Eds.) **Química e mineralogia do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, p. 1-67, 2009.

DINESH, R.; GHOSHAL CHAUDHURI, S.; GANESHAMURTHY, A.N. & CHANCHAL DEY. Changes in soil microbial indices and their relationships following deforestation and cultivation in wet tropical forests. **Soil Biol. Biochem.**, 24:17-26, 2003.

DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BELDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (org.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, p. 3-21, 1994.

DORAN, J.W. soil quality and sustainability. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. Rio de Janeiro. **Anais**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

DUXBURY, J.M.; SMITH, M.S.; DORAN, J.M. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii: NifTAL, p. 33-67, 1989.

ELBASIOUNY, H.; ABOWALY, M.; ALKHEIR, A.A.; GAD, A.A.; Spacial variation of soil carbon and nitrogen pool by using ordinary kriging method in na área of North Nile Delta Egypt. **Catena**. v.113p. 70-78, 2013.

ELBERLING, B.O. Seasonal trends of soil CO₂ dynamics in a soil subject to freezing. **Journal of Hydrology**. p. 159-175, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA CENTRO NACIONAL DE PESQUISAS DE SOLOS. **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro, p. 212, 1997.

EDWARDS, P.A.; BREMNER, J.M. Microaggregates in soils. **Journal. Soils Science**. v.18, p. 64-73, 1967.

FERNANDES, F.F. **Uso do modelo *century* no estudo da dinâmica do carbono orgânico em solos do Rio Grande do Sul.** 157 f. 2002. Tese (Doutorado em) - Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2002.

FERREIRA, F.P. **Caracterização das substâncias húmicas extraídas do solo do manguezal de Pai Matos (Cananéia, SP, BR) e de marismas da Espanha (Galícia e Valência).** 2008. 126 f. Tese (Doutorado em) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2008.

FIALHO, J.A.S.; GOMES, V.F.F.; OLIVEIRA, T.S.; JÚNIOR, J.M.T.S. Indicadores de qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Revista Ciência Agronômica**, v.37, n.3, p.250-257, 2006.

FIGUIEREDO, C.C.; RAMOS, M.L. G.; TOSTES, R. Propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo vermelho sob sistemas de manejo e cerrado nativo. **Biosciência Jornal**, Uberlândia, v. 24, p. 24-30, 2008.

FLEIGL, B.L.; MELILLO, J.; CERRI, C.C. Changes in the origin and quality of soil organic matter after pasture introduction in Rondonia (Brazil). **Plant and Soil**, v.175, p. 21-29, 1995.

FRACETTO, F.J.C. **Estoques de carbono e nitrogênio e estruturas da comunidade de diazotróficas em solos de caatinga com plantio de mamona.** 2009. 78 f. Dissertação (Mestrado em) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Biomassa microbiana e ciclagem de nutrientes. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais.** 2 ed. Porto Alegre, p. 227- 244, 2008.

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

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14 ed. Piracicaba: Degaspari, p.477, 2000.

GULLISON, R. E. et al. Tropical forests and climate change. **Soil Science**, New York, v. 316, n. 5827, p. 985-986, 2007

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p. 909-920, 2012.

GUIMARÃES, D.V.; GONZAGA, M.I.S.; SILVA, T.O.; SILVA, T. L.; DIAS, N.S.; MATIAS, M.I.S. Soil organic matter pools and carbon fractions in soil under different land uses. **Soil & Tillage Research**. v. 126, p. 177-182, 2012.

GUPTA, S.C.; LARSON, W.E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter content and bulk density. **Water Resource Research**, v.15, p.1633-1635, 1979.

GRANT, R. F. Modeling transformations of soil organic carbon and nitrogen at differing scales of complexity. In: SHAFFER, M. J.; MA, L.; HANSEN, S. (Eds). **Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management**. Boca Raton: Lewis Publisher, p.597-630, 2001.

IBAMA. **Ecossistemas brasileiros: Caatinga**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/caatinga.htm>>. Acesso em: 04 mar 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Normais climatológicas**, 1961 – 1990. Brasília: INMET, 1993.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change: The Scientific Basis**. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

JASSENS, I.A.; KOWALSKI, A.S.; CELEUMASN, R. Forest floor estimated by eddy covariance and chambers- based model. **Agriculture and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.106.p. 61-69, 2001.

JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: Measurement and Turnover. In PAUL, E. A.; LADD, J.N.(Eds.). **Soil Biology and Biochemistry**,v. 13, n.5, p. 415-417, 1981.

JOHNSON, M.G. The role of soil management in sequestering soil carbon. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B.A. (Eds.) **Soil management and greenhouse effect**. Advances in Soil Science, Boca Raton: CRC, p. 351-363, 1995.

JÚNIOR, J.M.T.S; GOMES. V.F.F.; FILHO, P. F.M. Atividade microbiana e desenvolvimento do melão cultivado sob diferentes proporções de pó de coco. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 4, p. 369-376, 2006.

KONONOVA, M.M. Matéria orgánica del suelo; su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Barcelona, Oikos-tau, 365p. 1982.

KLAUS, R. **A água em sistemas agrícolas**. Ed. Malone, p. 188, 1990.

KRISCHBAUM, M. U. F. Will changes in soil organic carbon act as a positive or negative feedback on global warming. **Biogeochemical**, Dordrecht, v.48, n. 1,p. 21-51, 2000.

LACERDA, C.F. **Relações solo-planta em ambientes naturais e agrícolas no nordeste brasileiro**. Universidade Federal Rural de Pernambuco. p. 78, 2007.

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

LAL, R. No till farming and environment quality. In: Simpósio Sobre o Plantio Direto e meio Ambiente – Sequestro de carbono e qualidade da água, 1. Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu : Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha, p. 29-37, 2005.

LAL, R. Potential of desertification control to sequester carbon and mitigate the greenhouse. **Climatic Change**, v. 51, p. 35-72, 2001.

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

LARSON, W.E.; PIERCE, F.J. The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management In: DORAN, J.W.; PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BELDICEK, D.F.; STEWART, B.A. (org.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, p. 37-51, 1994.

LEITE, E.P.F.; FIGUEIREDO, M.A.; SILVA, Z.R. Avaliação da evapotranspiração real do solo em áreas desmatadas e não desmatadas na Chapada do Araripe no município de Santana do Cariri – Ceará. **Revista Caatinga**, n.7, p. 256-265, 1990.

LEITE, L.F.C. **Compartimentos e dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes manejos e sua simulação pelo modelo *century***. 2002. 158 f. Tese (Doutorado em) - 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, p.821-832, 2003.

LEITE, F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. Simulação pelo modelo *Century* da dinâmica da matéria orgânica de um argissolo sob adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p. 347-358, 2004.

LEITE, L.F.C; MENDONÇA, E.S. Perspectivas e limitações da modelagem da dinâmica da matéria orgânica dos solos tropicais. In: CERETTA,C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M., (eds.) **Tópicos em Ciência dos Solos**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 5, p. 181- 217, 2007.

LINACRE, E.T. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. **Agricultural Meteorology**. v.18, p. 409-424, 1977.

LINN, D.M.; DORAN, J.W. Effects of water filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soil. **Soil Science Society of American Journal**. v. 48, p. 1267-1272, 1984.

LOPES, F. **Modelagem espaço-temporal da alteração pelo cultivo dos estoques de matéria orgânica em solos da região da vacaria nos campos de cima da serra- Rio Grande d Sul**. Tese (Doutorado em). Universidade Federal do Rio Grande Sul - (UFRGS). p.117, 2009.

LOPES, F. **Utilização do Modelo *Century* para Avaliar a Dinâmica do Carbono do Solo em uma Pequena Bacia Hidrográfica Rural**. 2006. 129f. Dissertação (Mestrado em.)- Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2006.

LOSS, A.; MORAES, A.G.L.; PEREIRA, M.G; SILVA, E.M.R.; ANJOS, L.H.C. Carbono, matéria orgânica leve e frações oxidáveis do carbono sob diferentes sistemas de produção orgânica. **Comunicata Scientiae**, v 1, p57-64, 2010.

MACHADO, P. L. O.A.; BERNADI, A.C.C.; SILVA, C.A. Agricultura de precisão para o manejo da fertilidade do solo em sistemas de plantio direto. **Embrapa solos (RJ)**. P. 2002, 2004

MATIAS, M.C.B.S.; SALVIANO, A.A.C.; LEITE, F.C.L.; ARAÚJO, A.S.F. Biomassa microbiana e estoques de C e N do solo em diferentes sistemas de manejo, no Cerrado do Piauí. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 3, p. 517-521, 2009.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. Matéria Orgânica do Solo. **Métodos de Análises**. Viçosa, 2005. 81p.

MENDONÇA, L.A.R.; VÁSQUEZ, M.A.N.; FEITOSA, J.V.; OLIVEIRA, J.F.; FRANCA, R.M.; VÁSQUEZ, E.M.F.; FRISCHKORN, H. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Revista Engenharia. Sanitária e Ambiental**, 2009.

METHERELL, A.K.; HARVING, L.A.; COLE, C.V.; PARTON, W.J. **Century: Soil Organic Matter Model Environmental**. Technical Documentation Agrossystem Version 4.0. Fort Collins: USDA-ARS,. 123p. (Gear Plains System Research Unit. Technical Report, 4) 1994.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F.M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F.F.; DEBARBA, L. Manejo do solo e culturas e sua relação em estoques de carbono e nitrogênio do solo. **Tópicos em ciência do solo**, Campinas, v.3p. 209-248, 2003.

MOREIRA, F.M.S; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2 ed. UFLA, 2006, 729p.

MOSCATELLI, M.C.; TIZIO, A.DI.; MARINARI, S.; GREGO, S. Microbial indicators related to soil carbon in Mediterranean land uses systems. **Soil and Tillage Research**. v.97p.51-59, 2007.

MOTAVELLI, P.P.; PALM, P.C.A.; PARTON, W.J.; ELLIOT, E.T.; FREYS, S.D. Comparison of laboratory and modeling simulation methods for estimating soil carbon pools in tropical forest soils. **Soil Biol. Biochem.**,26: 935-944, 1994.

NETO, F.A; LEITE, L.F.C; ARNHOLD, E.; MACIEL, G.A.; CARNEIRO, R.F.V. Compartimentos de carbono em Latossolos vermelho sob cultivo de eucalipto e fitofisionomias de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 849-856, 2011.

NICOLOSO, R.S. **Dinâmica da matéria orgânica dos solos em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema plantio direto**. 2005. 150f. Dissertação (Mestrado.) – Universidade de Santa Maria, 2005.

NICOLOSO, R.S.; LOVATO, T.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M.E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura – pecuária no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, v.32, p.2425-2433, 2008.

OLIVEIRA, E.S. **Uso do Modelo *Century* no estudo da dinâmica do nitrogênio em um Argissolo do Rio Grande do Sul**. 2005. 129f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

PARFITT, R.L.; THENG, B.K.G.; WHITTON, J.S.; SHEPHERD, T.G. Effects of clay mineral and land use on organic matter pools. **Geoderma**, v. 75, p. 1-12, 1997.

PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of Factors

Controlling Soil Organic Matter Levels in Great Plains Grasslands. **Soil Science Society Of América**, Madison, v. 51, p. 1173-1179, 1987.

PARTON, W.J.; STEWART, J.W.B.; COLE, C.V. Dynamics of C, N, P and S in grassland soils: model. **Biogeochemistry**, 5: p. 109-131, 1998.

PARTON, W.J. The *Century* Model. **Springer Verlag Berlin Heidelberg**, 1996.

PASSOS, R.R. **Carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um Latossolo vermelho sob duas coberturas vegetais**. 2000. 99 f. Tese (Doutorado em)-Universidade Federal de Viçosa, 2000.

PASSOS, R.R.; RUIZ, H.A.; MENDONÇA, E.S.; CANTARUTTI, R.B.; SOUZA, A. P. Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.31, p.1119-1129, 2007.

PESSOA, P.M.A.; DUDA, G.P.; BARROS, R.B.; FREIRE, M.B.G.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; CORREA, M.M. Frações de carbono de um Latossolo Húmico sob diferentes usos no agreste brasileiro. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. v. 36, p. 97-104, 2012.

PILLON, C.N.; MIELNICZUK, J.M.; NETO, L.M. Dinâmica da matéria orgânica no ambiente. **Documentos 105**. Embrapa. p. 41, 2002.

PIMENTEL, M.S.; OLIVEIRA, N.G.; COSTA J.R.; ALMEIDA, D.L.; DE-POLI, H. Atributos químicos e microbianos do solo sob diferentes manejos no município de seropédica, RJ. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, RS. v.14, n.2, p.307-317, abr-jun, 2008.

POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSE, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, n.2, p. 159-164, 1987.

PRAGANA, R.B.; NÓBREGA, R.S. A.; RIBEIRO, M.R.; FILHO, J.F.L. Atributos biológicos e dinâmica da matéria orgânica em Latossolos amarelos na região do cerrado Piauiense sob sistemas plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 36,p. 851-858, 2012.

RAWLS, W.J.; BRANKENSIEK, D.L.; SAXTON, K.E. Estimation of soil water properties. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**. v.25, n.5, p.1316-1328, 1982.

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

REEVES, D.W. The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v.43, p.131-167, 1997.

SAMPAIO, D.B.; ARAÚJO, A.S.F.; SANTOS, V.B. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo sob sistemas de cultivo convencional e orgânico de frutas. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 32, n.2, , p. 353-359, 2008.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEBO, I.H. Diretrizes para o manejo sustentável de solos brasileiros: regiões semiárida. In. **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 26. Mesa Redonda. Anais... Rio de Janeiro, 1997.

SANTANA, G.S.; DICK, D.P.; JACQUES, A.V.A.; CHITARRA, G.S. Susbstâncias húmicas e suas interações com Fe e Al em Latossolo Subtropical sob diferentes sistemas de manejo e pastagem. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.35, p. 461-472, 2011.

SANTOS, P.R.A.; ARAÚJO, A.O.; LIMA, M.G.S.; MENDONÇA, L.A.R.; SIMPLÍCIO, A.A.F. Estimativa da atividade da microbiota edáfica em áreas de vegetação nativa e de manejo florestal na Chapada do Araripe. 26° **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**.Porto Alegre, 2011.

SCHIAVO, J.A.; ROSSET, J.S.; PEREIRA, M.G.; SALTON, J.C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília,v. 46, n.10, p. 1332-1338, 2011.

SEYBOLD, C. A.; GROSSMAN, R. B. Prediction of effective Cation Exchange Capacity in low pH soils. **Soils Science**. USA. v. 171. n. 1, 2006.

SHANG, C.; TIESSEN, H. Organic matter lability in tropical oxisol: evidence from shifting cultivation, chemical oxidation, particle size, density, and magnetic fractionations. **Soil Science**, v. 162, n.11, p.1795-807, 1997.

SIGNINI, A. **Estrutura e estabilidade da matéria orgânica em áreas com potencial de sequestro de carbono solo**. 2007. 131f. Tese (Doutorado em)- Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo,., 2007.

SILVA, C.F.; PEREIRA, M.G.; MIGUEL, D.L.; FEITORA, J.C.F.; LOSS, A.; MENEZES, C.E.G.; SILVA, E.M.R. Carbono orgânico total, biomassa microbiana e atividade enzimática do solo em áreas agrícolas, florestais e pastagem no Médio Vale do Paraíba do Sul (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.36, p. 1680-1689, 2012.

SILVA, E.A.; SILVA, C.A.; SILVA, I.R.; MARQUES, J.J.G.S.M.; ARAÚJO, E.F.; CARVALHO, S.A.; SILVA, S.H.G.; CURTI, N. Frações de carbono em topossequência de solos sob eucalipto com diferentes históricos de usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.4, v.36, p.1167-1178, 2012.

SILVA, E.F.; LOURENTE, E.P.R.; MARCHETTI, M.E.; MERCANTE, F.M.; FERREIRA, A.K.T.; FUJII, G.C. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.10, n.10, p. 1321-1331, 2011.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAES, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, p. 275-374, 2007.

SILVA, L. S.; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, n.2, v.21, p.313-319, 1997.

SILVA, L.G.; MENDES, I.C.; REIS JÚNIOR, F.; FERNANDES, M.F.; MELO, J.T E KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de Cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 44, p. 613-620, 2009.

SILVA, R.R.; SILVA, M.L.N.; CARDOSO, E.L.; MOREIRA, F.M.S.; CURI, N.; ALOVISI, A.M.T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes-MG. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.34, p.1585-1592, 2010.

SILVEIRA, A.M.; VICTORIA, R.L.; BALLESTER, M.V.; CAMARGO, P.B.; MARTINELLI, L.A.; PICCOLO, M.C. Simulação dos efeitos das mudanças do uso da terra na dinâmica de carbono no solo na bacia do rio Piracicaba. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n. 2, v. 35, p.389-399, 2000.

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

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

SPARLING, G.P. Soil microbial biomass, activity and nutrient cycling as indicators of soil health. In: PANKHURST, C.; DOUBE B. M.; GUPTA, V.V.S.R. (Eds.). **Biological indicators of soil health**. Cambridge: CAB International, 1997. p. 97-120.

SPOSITO, G. **The Chemistry of Soils**. New York: Oxford University Press, p 277, 1989.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry, genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley & Sons. p. 443, 1994.

THENG, B.K.G; TATE, K.R.; SOLLINS, P. Constituents of Organic Matter in temperate and tropical soil. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu: University of Hawaii: NifTAL, p. 5-32, 1989.

TIROL-PADRE,A.; LADHA, J.K. Assessing the reliability of permanganate-oxidizable carbon as an index of soil labile carbon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.68, p. 969-978, 2004.

TORNQUIST, C.G.; MIELNICZUK, J.; CERRI, C.E.P. Modeling Soil Organic Carbon Dynamics in Oxisols of Ibirubá (Brazil) with yhe *Century* Model. **Soil & Tillage Research**.v.105 p.33-43, 2009.

TÓTOLA, M.R.; CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores qualidade dos solos. In: Sociedade Brasileira de Ciência do solo. **Tópicos em Ciência Solo**, v.2, p. 195-276, 2002.

VAN VEEN, J.A.; PAUL, E.A. Organic carbon dynamics in grassland soil.1. Background information and computer simulation. **Canadian Journal Soil Science**, Lethbridge, v.61, p.185-201, 1981.

VANCE, G. F.; STEVENSON, F. J.; SIKORA, F. J. Environment chemistry of aluminum-organic complexes. In: SPOSITO, G. (ed.). **The environment chemistry of aluminium**. Boca Raton: Lewis, p.169-220, 1995.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK J. Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33 n. 4, p. 743-755, 2009.

VEZZANI, F.M. **Qualidade do Sistema Solo na Produção Agrícola**. 2001. 184f. Tese (Doutorado em..)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

VIANA, E.T.; BATISTA, M.A.; TORMENA, C.A.; COSTA, A.C.S.; INOUSE, T.T. Atributos físicos e carbono orgânico em Latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 2105-2114, 2011.

VIEIRA, F.C.B. **Estoques e labilidade da matéria orgânica e acidificação de um argissolo sob plantio direto afetados por sistemas de cultura e adubação nitrogenada**. 2007. f. 139 Tese (Doutorado em)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

VIEIRA, F.C.B.; BAYER, C.; ZANATTA, J.A.; DIECKOW J.; MIELNICZUK, J. HE, Z.L. Carbon management index based on physical fractionation of soil organic matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v.96, p. 195-204, 2007.

VILELA, E.F.; MENDONÇA, E.S. Impacto de sistemas agroflorestais sobre a matéria orgânica do solo: modelagem de carbono e nitrogênio. **Coffee Science**, v. 8, p. 354-363, 2013.

WATTS, C.W.; CLARK, L.J.; POULTON, P.R.; POWLSON, D.S.; WHITMORE, A.P. The role of clay, organic carbon and long-term management on mouldboard plough draught measured on the Broadbalk wheat experiment Rothamsted. **Soil Use Management**, v.22, p. 334-341, 2006.

WARDLE, D.A.; GHANI, A. Why is the strength of relationships between pairs of methods for estimating soil microbial biomass often so variable? **Soil Biol. Biochem.**, v.27, p.821-828, 1995.

WEIL, R.R.; ISLAM, K.R.; STINE, M.A.; GRUVER, J.B.; LIEBIG, S.E.S. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. **American Journal of Alternative Agriculture**. v.18, n.1, p 15, 2003.

XAVIER, F.A.S.; MAIA, S.M.F.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S. Biomassa microbiana e matéria orgânica leve em solos sob sistemas agrícolas orgânico convencional na Chapada da Ibiapaba-CE. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 247-258, 2006.

ZHANG, H.; BASTA, N., STIEGLER, J. **Using biosolids as plant nutrient source** p.1-4, 2001.

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.

APÊNDICE 1 – Dados mensais de precipitação e temperaturas médias mensais dos últimos 30 anos das normais climatológicas. FLONA-Araripe.

Dados mensais de precipitação e temperaturas mensais

Meses	Precipitação (mm)	Temperaturas máximas médias mensais 9h(°C)	Temperaturas mínimas médias mensais 21h(°C)
Janeiro	175,20	32,10	21,20
Fevereiro	191,40	30,90	21,10
Março	234,30	30,30	20,90
Abril	209,80	30,10	21,20
Mai	48,10	30,00	20,60
Junho	20,80	28,40	19,30
Julho	11,50	29,90	19,10
Agosto	5,60	31,70	18,10
Setembro	5,20	33,30	20,10
Outubro	2,50	34,10	21,10
Novembro	4,80	33,90	21,80
Dezembro	92,20	33,10	21,70

APÊNDICE 2 – Dados mensais de precipitação dos últimos 30 anos e temperaturas médias mensais ano 2012 da UMF.

Dados mensais de precipitação e temperaturas mensais

Meses	Precipitação (mm)	Temperaturas máximas médias mensais 9h (°C)	Temperaturas mínimas médias mensais 21h(°C)
Janeiro	175,20	28,80	14,80
Fevereiro	191,40	30,40	14,40
Março	234,30	23,40	14,40
Abril	209,80	24,30	14,40
Maiο	48,10	25,30	14,40
Junho	20,80	23,10	18,00
Julho	11,50	23,30	19,60
Agosto	5,60	24,30	17,00
Setembro	5,20	23,30	17,00
Outubro	2,50	24,30	17,30
Novembro	4,80	23,70	17,00
Dezembro	92,20	22,85	17,10

APÊNDICE 3 – Parâmetros do arquivo Tree.100 do Aplicativo *Century* utilizados nas simulações de equilíbrio *default* “Luquillo” - “Floresta Tropical”, arquivo “F1”.

TREE.100

F1	F1	700	'CERFOR(3,1,2)'
	1	100	'CERFOR(3,1,3)'
	9999	76	'CERFOR(3,2,1)'
	140	765	'CERFOR(3,2,2)'
	30	129	'CERFOR(3,2,3)'
	45	84	'CERFOR(3,3,1)'
	1	1366	'CERFOR(3,3,2)'
	2,5	92	'CERFOR(3,3,3)'
	20	155	'CERFOR(3,4,1)'
	700	2260	'CERFOR(3,4,2)'
	100	183	'CERFOR(3,4,3)'
	35	155	'CERFOR(3,5,1)'
	765	2478	'CERFOR(3,5,2)'

129	'CERFOR(1,2,3)'	175	'CERFOR(3,5,3)'
120	'CERFOR(1,3,1)'	1,5	'DECW1'
1366	'CERFOR(1,3,2)'	0,5	'DECW2'
92	'CERFOR(1,3,3)'	0,6	'DECW3'
150	'CERFOR(1,4,1)'	0,25	'FCFRAC(1,1)'
2260	'CERFOR(1,4,2)'	0,25	'FCFRAC(2,1)'
183	'CERFOR(1,4,3)'	0,1	'FCFRAC(3,1)'
150	'CERFOR(1,5,1)'	0,3	'FCFRAC(4,1)'
2478	'CERFOR(1,5,2)'	0,1	'FCFRAC(5,1)'
175	'CERFOR(1,5,3)'	0,34	'FCFRAC(1,2)'
40	'CERFOR(2,1,1)'	0,25	'FCFRAC(2,2)'
700	'CERFOR(2,1,2)'	0,11	'FCFRAC(3,2)'
100	'CERFOR(2,1,3)'	0,22	'FCFRAC(4,2)'
60	'CERFOR(2,2,1)'	0,08	'FCFRAC(5,2)'
765	'CERFOR(2,2,2)'	0,07	'LEAFDR(1)'
129	'CERFOR(2,2,3)'	0,07	'LEAFDR(2)'
180	'CERFOR(2,3,1)'	0,07	'LEAFDR(3)'
1366	'CERFOR(2,3,2)'	0,07	'LEAFDR(4)'
92	'CERFOR(2,3,3)'	0,07	'LEAFDR(5)'
300	'CERFOR(2,4,1)'	0,07	'LEAFDR(6)'
2260	'CERFOR(2,4,2)'	0,07	'LEAFDR(7)'
183	'CERFOR(2,4,3)'	0,07	'LEAFDR(8)'
300	'CERFOR(2,5,1)'	0,07	'LEAFDR(9)'
2478	'CERFOR(2,5,2)'	0,07	'LEAFDR(10)'
175	'CERFOR(2,5,3)'	0,07	'LEAFDR(11)'
40	'CERFOR(3,1,1)'	0,07	'LEAFDR(12)'

0,007	'BTOLAI'
1	'KLAI'
-0,47	'LAITOP'
20	'MAXLAI'
1	'MAXLDR'
0,2	'FORRTF(1)'
0	'FORRTF(2)'
0	'FORRTF(3)'
1	'SAPK'
0	'SWOLD'
0,15	'WDLIG(1)'
0,28	'WDLIG(2)'
0,35	'WDLIG(3)'
0,35	'WDLIG(4)'
0,35	'WDLIG(5)'
1	'WOODDR(1)'

0,03	'WOODDR(2)'
0,01	'WOODDR(3)'
0,002	'WOODDR(4)'
0,004	'WOODDR(5)'
0	'SNFXMX(2)'
0	'DEL13C'
1,2	'CO2IPR'
0,8	'CO2ITR'
1,2	'CO2ICE(1,1,1)'
1	'CO2ICE(1,1,2)'
1	'CO2ICE(1,1,3)'
1,2	'CO2ICE(1,2,1)'
1	'CO2ICE(1,2,2)'
1	'CO2ICE(1,2,3)'
1	'CO2IRS'
1	'BASFC2'
400	'BASFCT'
2400	'SITPOT'

APÊNDICE 4 – Parâmetros do arquivo Tree.100 do Aplicativo *Century* utilizados nas simulações de equilíbrio *default* “Luquillo” - “Floresta Tropical”, arquivo “UMF”.

TREE.100

UMF	UMF	700	'CERFOR(3,1,2)'
1	'DECID'	100	'CERFOR(3,1,3)'
9999	'PRDX(3)'	76	'CERFOR(3,2,1)'
11	'PRDX(4)'	765	'CERFOR(3,2,2)'
30	'PPDF(1)'	129	'CERFOR(3,2,3)'
45	'PPDF(2)'	84	'CERFOR(3,3,1)'
1	'PPDF(3)'	1366	'CERFOR(3,3,2)'
2,5	'PPDF(4)'	92	'CERFOR(3,3,3)'
20	'CERFOR(1,1,1)'	155	'CERFOR(3,4,1)'
700	'CERFOR(1,1,2)'	2260	'CERFOR(3,4,2)'
100	'CERFOR(1,1,3)'	183	'CERFOR(3,4,3)'
35	'CERFOR(1,2,1)'	155	'CERFOR(3,5,1)'
765	'CERFOR(1,2,2)'	2478	'CERFOR(3,5,2)'
129	'CERFOR(1,2,3)'	175	'CERFOR(3,5,3)'
120	'CERFOR(1,3,1)'	1,5	'DECW1'
1366	'CERFOR(1,3,2)'	0,5	'DECW2'
92	'CERFOR(1,3,3)'	0,6	'DECW3'
150	'CERFOR(1,4,1)'	0,25	'FCFRAC(1,1)'
2260	'CERFOR(1,4,2)'	0,25	'FCFRAC(2,1)'
183	'CERFOR(1,4,3)'	0,1	'FCFRAC(3,1)'
150	'CERFOR(1,5,1)'	0,3	'FCFRAC(4,1)'

2478	'CERFOR(1,5,2)'	0,1	'FCFRAC(5,1)'
175	'CERFOR(1,5,3)'	0,34	'FCFRAC(1,2)'
40	'CERFOR(2,1,1)'	0,25	'FCFRAC(2,2)'
700	'CERFOR(2,1,2)'	0,11	'FCFRAC(3,2)'
100	'CERFOR(2,1,3)'	0,22	'FCFRAC(4,2)'
60	'CERFOR(2,2,1)'	0,08	'FCFRAC(5,2)'
765	'CERFOR(2,2,2)'	0,07	'LEAFDR(1)'
129	'CERFOR(2,2,3)'	0,07	'LEAFDR(2)'
180	'CERFOR(2,3,1)'	0,07	'LEAFDR(3)'
1366	'CERFOR(2,3,2)'	0,07	'LEAFDR(4)'
92	'CERFOR(2,3,3)'	0,07	'LEAFDR(5)'
300	'CERFOR(2,4,1)'	0,07	'LEAFDR(6)'
2260	'CERFOR(2,4,2)'	0,07	'LEAFDR(7)'
183	'CERFOR(2,4,3)'	0,07	'LEAFDR(8)'
300	'CERFOR(2,5,1)'	0,07	'LEAFDR(9)'
2478	'CERFOR(2,5,2)'	0,07	'LEAFDR(10)'
175	'CERFOR(2,5,3)'	0,07	'LEAFDR(11)'
40	'CERFOR(3,1,1)'	0,07	'LEAFDR(12)'
0,007	'BTOLAI'		
1	'KLAI'		
-0,47	'LAITOP'		
20	'MAXLAI'		
1	'MAXLDR'		
0,2	'FORRTF(1)'		
0	'FORRTF(2)'		
0	'FORRTF(3)'		
1	'SAPK'		
0	'SWOLD'		
0,15	'WDLIG(1)'		
0,28	'WDLIG(2)'		
0,35	'WDLIG(3)'		
0,35	'WDLIG(4)'		
0,35	'WDLIG(5)'		
1	'WOODDR(1)'		
0,03	'WOODDR(2)'		
0,01	'WOODDR(3)'		
0,002	'WOODDR(4)'		
0,004	'WOODDR(5)'		
0	'SNFXMX(2)'		
0	'DEL13C'		
1,2	'CO2IPR'		
0,8	'CO2ITR'		
1,2	'CO2ICE(1,1,1)'		
1	'CO2ICE(1,1,2)'		

1	'CO2ICE(1,1,3)'
1,2	'CO2ICE(1,2,1)'
1	'CO2ICE(1,2,2)'
1	'CO2ICE(1,2,3)'
1	'CO2IRS'
1	'BASFC2'
400	'BASFACT'
2400	'SITPOT'

Nota: Parâmetro em **negrito** tem seu valor modificado do default do Aplicativo *Century*.

APÊNDICE 5 – Parâmetros do arquivo Trem.100 do Aplicativo *Century* utilizados nas simulações de equilíbrio *default* “CC Clearcut” , arquivo “UMF3”.

TREM.100

UMF3	UMF3
0.00000	'EVNTYP'
0.90000	'REMF(1)'
0.90000	'REMF(2)'
0.90000	'REMF(3)'
0.90000	'REMF(4)'
0.70000	'REMF(5)'
0.70000	'FD(1)'
0.30000	'FD(2)'
0.30000	'RETF(1,1)'
0.30000	'RETF(1,2)'
0.30000	'RETF(1,3)'
0.30000	'RETF(1,4)'
0.30000	'RETF(2,1)'
0.30000	'RETF(2,2)'
0.30000	'RETF(2,3)'
0.30000	'RETF(2,4)'
0.30000	'RETF(3,1)'
0.30000	'RETF(3,2)'
0.30000	'RETF(3,3)'

APÊNDICE 6 – Variáveis locais do arquivo SITE.100 do Modelo *Century* utilizada na condição de equilíbrio com base de dados de clima e solo da FLONA-Araripe, usados como padrão no arquivo “FLONA.100”

Temperatura e Precipitação (dos últimos 30 anos)

FLONA 100		0.00	'PRCSKW(11)'
*** Climate parameters		0.00	'PRCSKW(12)'
17.52	'PRECIP(1)'	21.20	'TMN2M(1)'
19.14	'PRECIP(2)'	21.10	'TMN2M(2)'
23.43	'PRECIP(3)'	20.90	'TMN2M(3)'
20.98	'PRECIP(4)'	21.20	'TMN2M(4)'
4.81	'PRECIP(5)'	20.60	'TMN2M(5)'
2.8	'PRECIP(6)'	19.30	'TMN2M(6)'
1.5	'PRECIP(7)'	19.10	'TMN2M(7)'
0.56	'PRECIP(8)'	18.10	'TMN2M(8)'
0.54	'PRECIP(9)'	20.10	'TMN2M(9)'
0.25	'PRECIP(10)'	21.10	'TMN2M(10)'
0.48	'PRECIP(11)'	21.80	'TMN2M(11)'
9.42	'PRECIP(12)'	21.70	'TMN2M(12)'
0.00	'PRCSTD(1)'	32.10	'TMX2M(1)'
0.00	'PRCSTD(2)'	30.90	'TMX2M(2)'
0.00	'PRCSTD(3)'	30.30	'TMX2M(3)'
0.00	'PRCSTD(4)'	30.10	'TMX2M(4)'
0.00	'PRCSTD(5)'	30.00	'TMX2M(5)'
0.00	'PRCSTD(6)'	28.40	'TMX2M(6)'
0.00	'PRCSTD(7)'	29.90	'TMX2M(7)'
0.00	'PRCSTD(8)'	31.70	'TMX2M(8)'
0.00	'PRCSTD(9)'	33.30	'TMX2M(9)'
0.00	'PRCSTD(10)'	34.10	'TMX2M(10)'
0.00	'PRCSTD(11)'	33.90	'TMX2M(11)'
0.00	'PRCSTD(12)'	33.10	'TMX2M(12)'
0.00	'PRCSKW(1)'	*** Site and control parameters	
0.00	'PRCSKW(2)'	0.0000	'IVAUTO'
0.00	'PRCSKW(3)'	1.0000	'NELEM'
0.00	'PRCSKW(4)'	-39.29	'SITLAT'
0.00	'PRCSKW(5)'	-7.14	'SITLNG'
0.00	'PRCSKW(6)'	0.45	'SAND'
0.00	'PRCSKW(7)'	0.16	'SILT'
0.00	'PRCSKW(8)'	0.38	'CLAY'
0.00	'PRCSKW(9)'	0.80	'BULKD'
0	'PRCSKW(10)'	5.00	'NLAYER'
*** Site and control parameters		0.0001	'SOM2CI(2)'

4.00	'NLAYPG'	0,00001	'SOM3CI(1)'
0,50	'DRAIN'	0.00	'SOM3CI(2)'
0,30	'BASEF'	14,4.0	'RCES1(1,1)'
0,3	'STORMF'	13.00	'RCES1(1,2)'
0.00	'SWFLAG'	150.00	'RCES1(1,3)'
0,20	'AWILT(1)'	14.00	'RCES1(2,1)'
0,20	'AWILT(2)'	130	'RCES1(2,2)'
0,20	'AWILT(3)'	150	'RCES1(2,3)'
0,20	'AWILT(4)'	27.00	'RCES2(1)'
0,20	'AWILT(5)'	230	'RCES2(2)'
0,20	'AWILT(6)'	9999	'RCES2(3)'
0,20	'AWILT(7)'	13.00	'RCES3(1)'
0,20	'AWILT(8)'	100	'RCES3(2)'
0,20	'AWILT(9)'	9999	'RCES3(3)'
0,3	'AWILT(10)'	350	'CLITTR(1,1)'
0,30	'AFIEL(1)'	0.00	'CLITTR(1,2)'
0,30	'AFIEL(2)'	180	'CLITTR(2,1)'
0,30	'AFIEL(3)'	0.00	'CLITTR(2,2)'
0,30	'AFIEL(4)'	90.00	'RCELIT(1,1)'
0,30	'AFIEL(5)'	468	'RCELIT(1,2)'
0,30	'AFIEL(6)'	100	'RCELIT(1,3)'
0,30	'AFIEL(7)'	66	'RCELIT(2,1)'
0,30	'AFIEL(8)'	300	'RCELIT(2,2)'
0,3	'AFIEL(9)'	300	'RCELIT(2,3)'
0	'AFIEL(10)'	0.00	'AGLCIS(1)'
4,47	'PH'	0.00	'AGLCIS(2)'
1	'PSLSRB'	0.00	'AGLIVE(1)'
5	'SORPMX'	0.00	'AGLIVE(2)'
*** External nutrient input parameters		0.00	'AGLIVE(3)'
0,05	'EPNFA(1)'	0.00	'BGLCIS(1)'
0,007	'EPNFA(2)'	0.00	'BGLCIS(2)'
-0,9	'EPNFS(1)'	0.00	'BGLIVE(1)'
0,015	'EPNFS(2)'	0.00	'BGLIVE(2)'
0.00	'SATMOS(1)'	0.00	'BGLIVE(3)'
0.00	'SATMOS(2)'	0.00	'STDCIS(1)'
0.00	'SIRRI'	0.00	'STDCIS(2)'
*** Organic matter initial values		0.00	'STDEDE(1)'
0,00001	'SOM1CI(1,1)'	0.00	'STDEDE(2)'
0.00	'SOM1CI(1,2)'	0.00	'STDEDE(3)'
0,00001	'SOM1CI(2,1)'	*** Forest organic matter initial parameters	
0.00	'SOM1CI(2,2)'	0.00	'RLVCIS(1)'
0,00001	'SOM2CI(1)'	0.00	'RLVCIS(2)'
*** Forest organic matter initial parameters		0.00	'MINERL(10,1)'
0.00	'RLEAVE(1)'	0.50	'MINERL(1,2)'

0.00	'RLEAVE(2)'	0.00	'MINERL(2,2)'
0.00	'RLEAVE(3)'	0.00	'MINERL(3,2)'
0.00	'FBRCIS(1)'	0.00	'MINERL(4,2)'
0.00	'FBRCIS(2)'	0.00	'MINERL(5,2)'
0.00	'FBRCHE(1)'	0.00	'MINERL(6,2)'
0.00	'FBRCHE(2)'	0.00	'MINERL(7,2)'
0.00	'FBRCHE(3)'	0.00	'MINERL(8,2)'
0.00	'RLWCIS(1)'	0.00	'MINERL(9,2)'
0.00	'RLWCIS(2)'	0.00	'MINERL(10,2)'
0.00	'RLWODE(1)'	0.50	'MINERL(1,3)'
0.00	'RLWODE(2)'	0.00	'MINERL(2,3)'
0.00	'RLWODE(3)'	0.00	'MINERL(3,3)'
0.00	'FRTCIS(1)'	0.00	'MINERL(4,3)'
0.00	'FRTCIS(2)'	0.00	'MINERL(5,3)'
0.00	'FROOTE(1)'	0.00	'MINERL(6,3)'
0.00	'FROOTE(2)'	0.00	'MINERL(7,3)'
0.00	'FROOTE(3)'	0.00	'MINERL(8,3)'
0.00	'CRTCIS(1)'	0.00	'MINERL(9,3)'
0.00	'CRTCIS(2)'	0.00	'MINERL(10,3)'
0.00	'CROOTE(1)'	0.00	'PARENT(1)'
0.00	'CROOTE(2)'	0.00	'PARENT(2)'
0.00	'CROOTE(3)'	0.00	'PARENT(3)'
0.00	'WD1CIS(1)'	0.00	'SECNDY(1)'
0.00	'WD1CIS(2)'	0.00	'SECNDY(2)'
0.00	'WD2CIS(1)'	0.00	'SECNDY(3)'
0.00	'WD2CIS(2)'	0.00	'OCCLUD'
0.00	'WD3CIS(1)'	***	Water initial parameters
0.00	'WD3CIS(2)'	0.00	'RWCF(1)'
0,45	'W1LIG'	0.00	'RWCF(2)'
0,45	'W2LIG'	0.00	'RWCF(3)'
0,45	'W3LIG'	0.00	'RWCF(4)'
*** Mineral initial parameters		0.00	'RWCF(5)'
0,21	'MINERL(1,1)'	0.00	'RWCF(6)'
0.00	'MINERL(2,1)'	0.00	'RWCF(7)'
0.00	'MINERL(3,1)'	0.00	'RWCF(8)'
0.00	'MINERL(4,1)'	0.00	'RWCF(9)'
0.00	'MINERL(5,1)'	0.00	'RWCF(10)'
0.00	'MINERL(6,1)'	0.00	'SNLQ'
0.00	'MINERL(7,1)'	0.00	'SNOW'
0.00	'MINERL(8,1)'		
0.00	'MINERL(9,1)'		

Nota: Parâmetro em negrito tem seu valor modificado do default do Aplicativo *Century*

APÊNDICE 7 – Variáveis locais do arquivo SITE.100 do Modelo *Century* utilizadas na condição de equilíbrio com base de dados de clima e solo da R.A, usados como padrão no arquivo “manejo.100”

Temperatura (2012) e Precipitação (dos últimos 30 anos)

Manejo. 100		0.00	'PRCSKW(11)'
*** Climate parameters		0.00	'PRCSKW(12)'
17.52	'PRECIP(1)'	14.80	'TMN2M(1)'
19.14	'PRECIP(2)'	14.40	'TMN2M(2)'
23.43	'PRECIP(3)'	14.40	'TMN2M(3)'
20.98	'PRECIP(4)'	14.40	'TMN2M(4)'
4.81	'PRECIP(5)'	14.40	'TMN2M(5)'
2.8	'PRECIP(6)'	18.00	'TMN2M(6)'
1.5	'PRECIP(7)'	19.60	'TMN2M(7)'
0.56	'PRECIP(8)'	17.00	'TMN2M(8)'
0.54	'PRECIP(9)'	17.00	'TMN2M(9)'
0.25	'PRECIP(10)'	17.30	'TMN2M(10)'
0.48	'PRECIP(11)'	17.00	'TMN2M(11)'
9.42	'PRECIP(12)'	17.10	'TMN2M(12)'
0.00	'PRCSTD(1)'	28.80	'TMX2M(1)'
0.00	'PRCSTD(2)'	30.40	'TMX2M(2)'
0.00	'PRCSTD(3)'	23.40	'TMX2M(3)'
0.00	'PRCSTD(4)'	24.30	'TMX2M(4)'
0.00	'PRCSTD(5)'	25.30	'TMX2M(5)'
0.00	'PRCSTD(6)'	23.10	'TMX2M(6)'
0.00	'PRCSTD(7)'	24.60	'TMX2M(7)'
0.00	'PRCSTD(8)'	23.30	'TMX2M(8)'
0.00	'PRCSTD(9)'	24.30	'TMX2M(9)'
0.00	'PRCSTD(10)'	23.70	'TMX2M(10)'
0.00	'PRCSTD(11)'	22.85	'TMX2M(11)'
0.00	'PRCSTD(12)'	22.87	'TMX2M(12)'
0.00	'PRCSKW(1)'	*** Site and control parameters	
0.00	'PRCSKW(2)'	0.0000	'IVAUTO'
0.00	'PRCSKW(3)'	1.0000	'NELEM'
0.00	'PRCSKW(4)'	-39.29	'SITLAT'
0.00	'PRCSKW(5)'	-7.14	'SITLNG'
0.00	'PRCSKW(6)'	0.45	'SAND'
0.00	'PRCSKW(7)'	0.16	'SILT'
0.00	'PRCSKW(8)'	0.38	'CLAY'
0.00	'PRCSKW(9)'	0.80	'BULKD'
0	'PRCSKW(10)'	5.00	'NLAYER'

*** Site and control parameters		0.0001	'SOM2CI(2)'
4.00	'NLAYPG'	0,00001	'SOM3CI(1)'
0,50	'DRAIN'	0.00	'SOM3CI(2)'
0,30	'BASEF'	14,4.0	'RCES1(1,1)'
0,3	'STORMF'	13.00	'RCES1(1,2)'
0.00	'SWFLAG'	150.00	'RCES1(1,3)'
0,20	'AWILT(1)'	14.00	'RCES1(2,1)'
0,20	'AWILT(2)'	130	'RCES1(2,2)'
0,20	'AWILT(3)'	150	'RCES1(2,3)'
0,20	'AWILT(4)'	27.00	'RCES2(1)'
0,20	'AWILT(5)'	230	'RCES2(2)'
0,20	'AWILT(6)'	9999	'RCES2(3)'
0,20	'AWILT(7)'	13.00	'RCES3(1)'
0,20	'AWILT(8)'	100	'RCES3(2)'
0,20	'AWILT(9)'	9999	'RCES3(3)'
0,3	'AWILT(10)'	350	'CLITTR(1,1)'
0,30	'AFIEL(1)'	0.00	'CLITTR(1,2)'
0,30	'AFIEL(2)'	180	'CLITTR(2,1)'
0,30	'AFIEL(3)'	0.00	'CLITTR(2,2)'
0,30	'AFIEL(4)'	90.00	'RCELIT(1,1)'
0,30	'AFIEL(5)'	468	'RCELIT(1,2)'
0,30	'AFIEL(6)'	100	'RCELIT(1,3)'
0,30	'AFIEL(7)'	66	'RCELIT(2,1)'
0,30	'AFIEL(8)'	300	'RCELIT(2,2)'
0,3	'AFIEL(9)'	300	'RCELIT(2,3)'
0	'AFIEL(10)'	0.00	'AGLCIS(1)'
4,47	'PH'	0.00	'AGLCIS(2)'
1	'PSLSRB'	0.00	'AGLIVE(1)'
5	'SORPMX'	0.00	'AGLIVE(2)'
*** External nutrient input parameters		0.00	'AGLIVE(3)'
0,05	'EPNFA(1)'	0.00	'BGLCIS(1)'
0,007	'EPNFA(2)'	0.00	'BGLCIS(2)'
-0,9	'EPNFS(1)'	0.00	'BGLIVE(1)'
0,015	'EPNFS(2)'	0.00	'BGLIVE(2)'
0.00	'SATMOS(1)'	0.00	'BGLIVE(3)'
0.00	'SATMOS(2)'	0.00	'STDCIS(1)'
0.00	'SIRRI'	0.00	'STDCIS(2)'
*** Organic matter initial values		0.00	'STDEDE(1)'
0,00001	'SOM1CI(1,1)'	0.00	'STDEDE(2)'
0.00	'SOM1CI(1,2)'	0.00	'STDEDE(3)'
0,00001	'SOM1CI(2,1)'	*** Forest organic matter initial parameters	
0.00	'SOM1CI(2,2)'	0.00	'RLVCIS(1)'
0,00001	'SOM2CI(1)'	0.00	'RLVCIS(2)'
*** Forest organic matter initial parameters		0.00	'MINERL(10,1)'

0.00	'RLEAVE(1)'	0.50	'MINERL(1,2)'
0.00	'RLEAVE(2)'	0.00	'MINERL(2,2)'
0.00	'RLEAVE(3)'	0.00	'MINERL(3,2)'
0.00	'FBRCIS(1)'	0.00	'MINERL(4,2)'
0.00	'FBRCIS(2)'	0.00	'MINERL(5,2)'
0.00	'FBRCHE(1)'	0.00	'MINERL(6,2)'
0.00	'FBRCHE(2)'	0.00	'MINERL(7,2)'
0.00	'FBRCHE(3)'	0.00	'MINERL(8,2)'
0.00	'RLWCIS(1)'	0.00	'MINERL(9,2)'
0.00	'RLWCIS(2)'	0.00	'MINERL(10,2)'
0.00	'RLWODE(1)'	0.50	'MINERL(1,3)'
0.00	'RLWODE(2)'	0.00	'MINERL(2,3)'
0.00	'RLWODE(3)'	0.00	'MINERL(3,3)'
0.00	'FRTCIS(1)'	0.00	'MINERL(4,3)'
0.00	'FRTCIS(2)'	0.00	'MINERL(5,3)'
0.00	'FROOTE(1)'	0.00	'MINERL(6,3)'
0.00	'FROOTE(2)'	0.00	'MINERL(7,3)'
0.00	'FROOTE(3)'	0.00	'MINERL(8,3)'
0.00	'CRTCIS(1)'	0.00	'MINERL(9,3)'
0.00	'CRTCIS(2)'	0.00	'MINERL(10,3)'
0.00	'CROOTE(1)'	0.00	'PARENT(1)'
0.00	'CROOTE(2)'	0.00	'PARENT(2)'
0.00	'CROOTE(3)'	0.00	'PARENT(3)'
0.00	'WD1CIS(1)'	0.00	'SECNDY(1)'
0.00	'WD1CIS(2)'	0.00	'SECNDY(2)'
0.00	'WD2CIS(1)'	0.00	'SECNDY(3)'
0.00	'WD2CIS(2)'	0.00	'OCCLUD'
0.00	'WD3CIS(1)'	*** Water initial parameters	
0.00	'WD3CIS(2)'	0.00	'RWCF(1)'
<u>0,45</u>	'W1LIG'	0.00	'RWCF(2)'
<u>0,45</u>	'W2LIG'	0.00	'RWCF(3)'
<u>0,45</u>	'W3LIG'	0.00	'RWCF(4)'
*** Mineral initial parameters		0.00	'RWCF(5)'
0,21	'MINERL(1,1)'	0.00	'RWCF(6)'
0.00	'MINERL(2,1)'	0.00	'RWCF(7)'
0.00	'MINERL(3,1)'	0.00	'RWCF(8)'
0.00	'MINERL(4,1)'	0.00	'RWCF(9)'
0.00	'MINERL(5,1)'	0.00	'RWCF(10)'
0.00	'MINERL(6,1)'	0.00	'SNLQ'
0.00	'MINERL(7,1)'	0.00	'SNOW'
0.00	'MINERL(8,1)'		
0.00	'MINERL(9,1)'		

APÊNDICE 8 – Arquivo do EVENT.100 usado para a parametrização na situação de equilíbrio “FLONA.SCH” utilizado no Aplicativo *Century*.

O	Starting year	0.08	Output interval
6000	Last year	M	Weather choice
Flona.100	Site file name	1	1 TREE
0	Labeling type	F1	
-1.00	Labeling year	1	1 TFST
-1.00	Microcosm	1	2 TREE
-1.00	CO2 Systems	F1	
2	Initial system	1	3 TREE
2	Initial crop	F1	
F1	Initial tree	1	4 TREE
	Year Month Option	F1	
1	Block # M	1	5 TREE
6000	Last year	F1	
1	Repeats # years	1	6 TREE
1	Output month	F1	
		1	7 TREE
		F1	
		1	8 TREE
		F1	
		1	9 TREE
		F1	
		1	10 TREE
		F1	
		1	11 TREE
		F1	
		1	12 TREE
		F1	
		1	12 TLST
		-999	-9999X

APÊNDICE 9 – Arquivo do EVENT.100 usado para a parametrização na situação de equilíbrio R.A “manejo.SCH” utilizado no Aplicativo *Century*.

O	Starting year	0.08	Output interval
6000	Last year	M	Weather choice
manejo.100	Site file name	1	1 TREE
0	Labeling type	UMF	
-1.00	Labeling year	1	1 TFST
-1.00	Microcosm	1	2 TREE
-1.00	CO2 Systems	UMF	
2	Initial system	1	3 TREE
2	Initial crop	UMF	
UMF	Initial tree	1	4 TREE
	Year Month Option	UMF	
1	Block # M	1	5 TREE
6000	Last year	UMF	
1	Repeats # years	1	6 TREE
1	Output month	UMF	
		1	7 TREE
		UMF	
		1	8 TREE
		UMF	
		1	9 TREE
		UMF	
		1	10 TREE
		UMF	
		1	11 TREE
		UMF	
		1	12 TREE
		UMF	
		1	12 TLST
		-999	-9999X

APÊNDICE 10 – Arquivo do FIX.100 usado para os ajustes nas das taxas decaimento da MOS (FLONA-Araripe).

15.00000	'ADEP(1)'	0.01000	'DAMR(1,3)'
0.02000	'DAMR(2,1)'	0.65000	'FWLOSS(3)'
0.02000	'DAMR(2,2)'	15.0000	'ADEP(2)'
15.00000	'ADEP(3)'	0.8000	'FWLOSS(2)'
0.04000	'DAMR(2,3)'	15.0000	'ADEP(4)'
15.00000	'DAMRMN(1)'	30.0000	'ADEP(5)'
150.00000	'DAMRMN(2)'	30.0000	'ADEP(6)'
150.00000	'DAMRMN(3)'	30.0000	'ADEP(7)'
3.90000	'DEC1(1)'	30.0000	'ADEP(8)'
		0.00000	'ADEP(9)'
4.90000	'DEC1(2)'	0.80000	'FWLOSS(1)'
14.80000	'DEC2(1)'	0.00000	'ADEP(10)'
18.50000	'DEC2(2)'	-40.0000	'AGPPA'
6.00000	'DEC3(1)'	7.70000	'AGPPB'
		1.50000	'ANEREF(1)'
		3.00000	'ANEREF(2)'
6.5000	'DEC3(2)'	1.50000	'ANEREF(1)'
		3.00000	'ANEREF(2)'
		0.20000	'FLEACH(1)'
		0.70000	'FLEACH(2)'
		1.00000	'FLEACH(3)'
0.00402	'DEC4'	0.00000	'FLEACH(4)'
0.22500	'DEC5'	0.10000	'FLEACH(5)'
5.00000	'DECK5'	0.40000	'FAVAIL(5)'
-4.00000	'DLIGDF'	0.20000	'FAVAIL(4)'
0.99900	'DRESP'	0.30000	'ANEREF(3)'
0.20000	'EDEPTH'	5.00000	'ANIMPT'
0.40000	'ELITST'	0.80000	'AWTL(1)'
2.00000	'ENRICH'	0.60000	'AWTL(2)'
0.90000	'FAVAIL(1)'	0.40000	'AWTL(3)'
0.50000	'FAVAIL(3)'	0.30000	'AWTL(4)'
2.00000	'FAVAIL(6)'	0.20000	'AWTL(5)'

0.20000	'AWTL(7)'	100.00000	'BGPPA'
		7.00000	'BGPPB'
0.20000	'AWTL(8)'	350.00000	'CO2PPM(1)'
		700.00000	'CO2PPM(2)'
0.00000	'AWTL(9)'	0.00000	'CO2RMP'
		0.00000	'DAMR(1,1)'
0.00000	'AWTL(10)'	0.00000	'DAMR(1,2)'
		0.90000	'FWLOSS(4)'
-0.12500	'FXMCA'	0.35000	'FXMXS'
		7.00000	'FXNPB'
0.00500	'FXMCB'	2.00000	'IDEF'
		0.20000	'LHZF(1)'
0.00000	'GREMB'	0.40000	'LHZF(2)'
		0.80000	'LHZF(3)'
18.00000	'MINLCH'	4.00000	'NTSPM'
		0.03000	'OMLECH(1)'
0.00000	'NSNFIX'	0.12000	'OMLECH(2)'
		60.00000	'OMLECH(3)'
0.60000	'P1CO2A(1)'	0.17000	'P1CO2A(2)'
		0.00000	'P1CO2B(1)'
0.68000	'P1CO2B(2)'	0.55000	'P2CO2'
		0.55000	'P3CO2'
100.00000	'PABRES'	16.00000	'PCEMIC(1,1)'
		200.00000	'PCEMIC(1,2)'
150.00000	'PCEMIC(1,3)'	10.00000	'PCEMIC(2,1)'
		99.00000	'PCEMIC(2,2)'
50.00000	'PCEMIC (2,3)'	0.02000	'PCEMIC(3,1)'
		0.00150	'PCEMIC(3,2)'
0.00150	'PCEMIC(3,3)'	0.25000	'PEFTXA'
		0.75000	'PEFTXB'
6.00000	'PHESP(1)'	0.00080	'PHESP(2)'
7.60000	'PHESP(3)'	0.01500	'PHESP(4)'
3.00000	'PLIGST(1)'	3.00000	'PLIGST(2)'
		0.55000	'PMCO2(1)'

0.55000	'PMCO2(2)'	0.00000	'PMNSEC(1)'
		0.00000	'PMNSEC(2)'
2.00000	'PMNSEC(3)'	0.00400	'PMNTMP'
		600.00000	'PMXBIO'
-0.00350	'PMXTMP'	0.00000	'PPARMN(1)'
		0.00010	'PPARMN(2)'
0.00050	'PPARMN(3)'	0.00000	'PPRPTS(1)'
		1.00000	'PPRPTS(2)'
0.80000	'PPRPTS(3)'	0.45000	'PS1CO2(1)'
		0.55000	'PS1CO2(2)'
0.00300	'PS1S3(1)'	0.03200	'PS1S3(2)'
		0.00300	'PS2S3(1)'
0.00900	'PS2S3(2)'	0.00000	'PSECMN(1)'
		0.00220	'PSECMN(2)'
0.20000	'PSECMN(3)'	0.00000	'PSECOC'
		12.00000	'RAD1P(1,1)'
3.00000	'RAD1P(2,1)'	5.00000	'RAD1P(3,1)'
		220.00000	'RAD1P(1,2)'
5.00000	'RAD1P(2,2)'	100.00000	'RAD1P(3,2)'
		220.000000	'RAD1P(1,3)'
5.00000	'RAD1P(2,3)'	100.00000	'RAD1P(3,3)'
		200.00000	'RCESTR(1)'
500.00000	'RCESTR(2)'	500.00000	'RCESTR(3)'
		0.01500	'RICTRL'
0.80000	'RIINT'	0.30000	'RSPLIG'
		-1.00000	'SEED'
0.85000	'SPL(1)'	0.01300	'SPL(2)'
		5000.00000	'STRMAX(1)'
5000.00000	'STRMAX(2)'	1.00000	'TEXEPP(1)'
		0.70000	'TEXEPP(2)'
0.00010	'TEXEPP(3)'	0.00016	'TEXEPP(4)'
2.00000	'TEXEPP(5)'	1.00000	'TEXESP(1)'
0.00400	'TEXESP(3)'	0.00000	'TEFF(1)'

		0.12500	'TEFF(2)'
0.07000	'TEFF(3)'	-8.00000	'TMELT(1)'
		4.00000	'TMELT(2)'
14.00000	'VARAT1(1,1)'	3.00000	'VARAT1(2,1)'
		2.00000	'VARAT1(3,1)'
150.0000	'VARAT1(1,2)'	30.00000	'VARAT1(2,2)'
		2.00000	'VARAT1(3,2)'
200.0000	'VARAT1(1,3)'	50.00000	'VARAT1(2,3)'
		2.00000	'VARAT1(3,3)'
20.00000	'VARAT2(1,1)'	12.00000	'VARAT2(2,1)'
		2.00000	'VARAT2(3,1)'
400.00000	'VARAT2(1,2)'	100.0000	'VARAT2(2,2)'
		2.00000	'VARAT2(3,2)'
400.00000	'VARAT2(1,3)'	100.0000	'VARAT2(2,3)'
		2.00000	'VARAT2(3,3)'
8.00000	'VARAT3(1,1)'	6.00000	'VARAT3(2,1)'
		2.00000	'VARAT3(3,1)'
200.00000	'VARAT3(1,2)'	50.00000	'VARAT3(2,2)'
		2.00000	'VARAT3(3,2)'
200.00000	'VARAT3(1,3)'	50.00000	'VARAT3(2,3)'
		2.00000	'VARAT3(3,3)'
0.02000	'VLOSSE'		
0.01000	'VLOSSG'		

Nota: Parâmetro em negrito tem seu valor modificado do default do Aplicativo *Century*

APÊNDICE 11 – Arquivo do FIX.100 usado para os ajustes das taxas de decaimento da MOS na UMF Reserva Ambiental

3.8000	'DEC3(2)'
0.02080	'DEC4'
0.11500	'DEC5'

Nota: Os demais parâmetros são semelhantes ao APÊNDICE 9 e os parâmetros em negrito tem seu valor modificado do default do Aplicativo *Century*

APÊNDICE 12 – Arquivo do FIX.100 usado para os ajustes das taxas de decaimento da MOS na UMF T1

4.8000 '**DEC3(2)**'
0.02100 '**DEC4**'
0.15000 '**DEC5**'

Nota: Os demais parâmetros são semelhantes ao APÊNDICE 9 e os parâmetros em negrito tem seu valor modificado do default do Aplicativo *Century*

APÊNDICE 13 – Arquivo do FIX.100 usado para os ajustes das taxas de decaimento da MOS na UMF T2

4.8000 '**DEC3(2)**'
0.02100 '**DEC4**'
0.20000 '**DEC5**'

Nota: Os demais parâmetros são semelhantes ao APÊNDICE 9 e os parâmetros em negrito tem seu valor modificado do default do Aplicativo *Century*

APÊNDICE 14 – Arquivo do FIX.100 usado para os ajustes das taxas de decaimento da MOS na UMF T3

7.3000 '**DEC3(2)**'
0.0810 '**DEC4**'
0.20000 '**DEC5**'

Nota: Os demais parâmetros são semelhantes ao APÊNDICE 9 e os parâmetros em negrito tem seu valor modificado do default do Aplicativo *Century*

APÊNDICE 15 – Arquivo do FIX.100 usado para os ajustes das taxas de decaimento da MOS na UMF T4

7.3000 '**DEC3(2)**'
0.09000 '**DEC4**'
0.22000 '**DEC5**'

Nota: Os demais parâmetros são semelhantes ao APÊNDICE 9 e os parâmetros em negrito tem seu valor modificado do default do Aplicativo *Century*

APÊNDICE 16 – Arquivo do FIX.100 usado para os ajustes das taxas de decaimento da MOS na UMF T5

12.500 '**DEC3(2)**'
0.0210 '**DEC4**'
0.2650 '**DEC5**'

Nota: Os demais parâmetros são semelhantes ao APÊNDICE 9 e os parâmetros em negrito tem seu valor modificado do default do Aplicativo *Century*

APÊNDICE 17 – Arquivo do EVENT.100 usado para a validação na criação de cenários “MANEJO.SCH” utilizado na simulação do manejo realizado em cada Talhão (T₁ a T₅) e demais talhões no Aplicativo *Century*.

2007	Starting year	0.08	Output interval
2013	Last year	M	Weather choice
UMF.100	Site file name	1	1 TREE
2007	Labeling type	UMF	
-1.00	Labeling year	1	1 TFST
-1.00	Microcosm	1	2 TREE
-1.00	CO2 Systems	UMF	
2	Initial system	1	3 TREE
2	Initial crop	UMF	
T1	Initial tree	1	4 TREE
	Year Month Option	UMF	
1	Block # M	1	5 TREE

2013	Last year	UMF	
1	Repeats # years	UMF3	6 TREM
1	Output month	UMF	
		UMF3	7 T TREM
		UMF	
		1	8 TREE
		UMF	
		1	9 TREE
		UMF	
		1	10 TREE
		UMF	
		1	11 TREE
		UMF	
		1	12 TREE
		UMF	
		1	12 TLST
		-999	-9999X