



**FACULDADE DE ENFERMAGEM NOVA ESPERANÇA
CURSO DE BACHARELADO EM AGRONOMIA**

HANDERSON BRANDÃO MELO DE LIMA

**IMPACTO DAS MUDANÇAS DE USO DA TERRA NOS ESTOQUES DE CARBONO
DO SOLO**

JOÃO PESSOA

2022

HANDERSON BRANDÃO MELO DE LIMA

**IMPACTO DAS MUDANÇAS DE USO DA TERRA NOS ESTOQUES DE CARBONO
DO SOLO**

Monografia apresentada à Faculdade Nova Esperança como parte dos requisitos exigidos para a conclusão de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Kennedy Nascimento de Jesus

JOÃO PESSOA
2022

L698i

Lima, Handerson Brandão Melo de

Impacto das mudanças de uso da terra nos estoques de carbono do solo / Handerson Brandão Melo de Lima. – João Pessoa, 2022.

47f.

Orientador: Prof^o. Dr^o. Kennedy Nascimento de Jesus.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Agronomia) – Faculdade Nova Esperança - FACENE

1. Usos e Coberturas do Solo. 2. Matéria Orgânica do Solo. 3. Argissolo. 4. Carbono Orgânico Total. 5. Degradação do Solo.
I. Título.

CDU: 631.8

HANDERSON BRANDÃO MELO DE LIMA

**IMPACTO DAS MUDANÇAS DE USO DA TERRA NOS ESTOQUES DE CARBONO
DO SOLO**

Monografia apresentada à Faculdade Nova Esperança como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

João Pessoa, ____ de _____ de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Kennedy Nascimento de Jesus
Agronomia/ FACENE

Profª. Me. Gilmara Danielle C. Rocha
Agronomia/ FACENE

Prof. Dr. Júlio César Rodrigues Martins
Agronomia/ FACENE

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Kennedy Nascimento de Jesus, pela dedicada orientação e ensinamentos, pelos incentivos e motivação no trabalho e por ter sido mais que orientador, mas um amigo que contribuiu na minha formação profissional.

Aos professores da FACENE, pelos conhecimentos passados e amizade durante esses cinco anos de formação acadêmica.

Aos meus colegas de graduação, principalmente aos amigos José Lucas Ferreira da Silva e Michael Araújo de Sousa Santos, pelos momentos de estudo e convivência que deixarão saudades.

A minha filha, que mesmo distante, sempre esteve torcendo pelo meu sucesso.

Aos meus pais, Joselilde Brandão de Melo e José Brandão dos Santos Júnior, pelo exemplo de vida e apoio dado durante a realização do curso.

E a todos que colaboraram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho, muito obrigado.

RESUMO

O solo é considerado o principal reservatório temporário de carbono (C) no ecossistema por apresentar em média 3,3 vezes mais C do que a atmosfera. O equilíbrio entre as entradas e saídas de C no solo está diretamente ligado à mudança do uso da terra e seus efeitos sobre os estoques de C do solo são motivo de preocupação em relação às emissões de gases de efeito estufa. A transformação de áreas de vegetação nativa para sistemas de exploração agropecuária tem sido acompanhada por perdas do estoque original de matéria orgânica do solo. Nos dias atuais, busca-se cada vez mais a utilização de práticas agrícolas conservacionistas que visam diminuir o aquecimento global e diminuir os impactos sobre o solo. Os processos de mudança do uso e da cobertura da terra, além da perda de biodiversidade, alteram os estoques de C do solo. A composição química da atmosfera e os ciclos biogeoquímicos influenciam o clima e, por isso, fazem parte da agenda das pesquisas globais de meio ambiente. O objetivo deste estudo foi analisar o efeito de diferentes usos e coberturas da terra nos estoques de C do solo. O experimento foi conduzido na Fazenda Escola Nova Esperança, utilizando-se quatro diferentes usos e coberturas da terra: agricultura, áreas de pastagem (conservada e degradada) e mata nativa (remanescente de Mata Atlântica), que foi usada como referência de um estado de equilíbrio. Foram coletadas amostras indeformadas de solo, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, com quatro repetições por uso e cobertura e camada estudada coletadas em duplicata, perfazendo um total de 64 amostras. Os dados de densidade do solo foram obtidos pelo método do anel volumétrico e os de carbono orgânico (CO) pelo método da perda de massa por ignição (mufla). As maiores perdas de CO do solo foram causadas pela conversão de mata nativa em pastagem degradada (36%), mas a conversão de mata para pastagem conservada também reduziu os estoques de CO do solo em (12%). A estimativa dos estoques de CO calculados pelo método da massa equivalente de solo, apontou uma diminuição média de 2 Mg ha⁻¹ nos estoques totais, em comparação ao método de camada equivalente, o que se deve à diminuição da espessura a ser considerada quando feita a correção da massa, em relação à área de referência. A degradação do solo e a intervenção humana, através de práticas agropecuárias convencionais, reduziram os estoques de CO do solo a patamares inferiores aos encontrados na área de mata nativa, contribuindo para a emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera.

Palavras-chave: usos e coberturas do solo; matéria orgânica do solo; argissolo; carbono orgânico total; degradação do solo.

ABSTRACT

Soil is considered the main temporary reservoir of carbon (C) in the ecosystem, as it contains, on average, 3.3 times more C than the atmosphere. The balance between soil C inputs and outputs is directly linked to land use change, and its effects on soil C stocks are a matter of concern in relation to greenhouse gas emissions. The transformation of areas from native vegetation to agricultural exploitation systems has been accompanied by losses of the original stock of organic matter in the soil. Nowadays, there is an increasing search for the use of conservationist agricultural practices that aim to reduce global warming and reduce the impacts on the soil. The processes of change in land use and land cover, in addition to the loss of biodiversity, alter soil C stocks, the chemical composition of the atmosphere and biogeochemical cycles, influence the climate and, therefore, are part of the global environment research agenda. The aim of this study was to analyze the effect of different land uses and land cover on soil C stocks. The experiment took place at Fazenda Escola Nova Esperança, using four different uses and land cover: agriculture, pasture areas (conserved and degraded), and native forest (remains of the Atlantic Rainforest), which was used as a state of balance reference. Soil samples were collected in layers 0-10 and 10-20 cm, with four replications per use and coverage and studied layer, collected in duplicate, making a total of 64 samples. Soil density data were obtained by the volumetric ring method and organic carbon (OC) data by the weight loss-on-ignition (muffle) method. The greatest soil OC losses were caused by conversion of native forest to degraded pasture (36%), but conversion of forest to conserved pasture also reduced soil OC stocks by (12%). The estimation of OC stocks calculated by the soil equivalent mass method showed an average decrease of 2 Mg ha⁻¹ in total stocks, compared to the equivalent layer method, which is due to the decrease in thickness to be considered when making mass correction, in relation to the reference area. Soil degradation and human intervention through traditional farming practices, have reduced soil OC stocks to low levels found in native forest areas, contributing to the emission of greenhouse gases into the atmosphere.

Keywords: soil uses and covers; soil organic matter; argisol; total organic carbon; soil degradation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da Faculdade Nova Esperança	24
Figura 2 – Comparativo do histórico de uso da terra na FACENE nos anos de 2005 e 2022	25
Figura 3 – Área de pastagem conservada	26
Figura 4 – Mapa de uso e ocupação do solo da Fazenda Escola em 2018.....	27
Figura 5 – Imagem aérea de parte do <i>campus</i> da Faculdade Nova Esperança - FACENE, unidade João Pessoa, PB, em 2022.....	28
Figura 6 – Área de mata nativa.....	29
Figura 7 – Área sob cultivo agrícola (A e B) e área de pastagem degradada (C e D).....	30
Figura 8 – Coleta de amostras indeformadas de solo	31
Figura 9 – Peneiramento das amostras de solo seca em estufa para a obtenção da TFSE	32
Figura 10 – Incineração de amostras de solo em forno tipo mufla para determinação dos teores de MOS.....	33
Figura 11 – Densidade do solo (g.cm^{-3}) nos diferentes usos e cobertura da terra.....	36
Figura 12 – Estoques de COS (Mg ha^{-1}) nas camadas de 0-10 cm à 10-20 cm, sob diferentes usos e coberturas da terra.....	39
Figura 13 – Estoques totais de COS por uso e cobertura da terra na camada de 0-20 cm	41
Figura 14 – Redução em porcentagem nos estoques de COS em função das mudanças do uso da terra	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estoques de carbono orgânico, inorgânico e total nos solos do mundo	16
Tabela 2 – Estoques de carbono no solo ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$), sob diferentes usos e coberturas da terra em Pernambuco	20
Tabela 3 – Valores quantificados de estoque de carbono no solo em florestas tropicais e subtropicais	21
Tabela 4 – Efeito da correção de massa nas estimativas de mudança de estoque de COS	36
Tabela 5 – Estoques de COS calculados em camadas equivalentes de solo e em massas equivalentes de solo.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS

ABC	Agricultura de Baixa Emissão de Carbono
C	Carbono
CO	Carbono Orgânico
COT	Carbono Orgânico Total
COS	Carbono Orgânico do Solo
CO ₂	Dióxido de Carbono
Cr	Cromo
GEE	Gases de Efeito Estufa
MOL	Matéria Orgânica Leve
MOS	Matéria Orgânica do Solo
Pg	Petagrama
TFSE	Terra Fina Seca em Estufa

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	HIPÓTESE	14
3	OBJETIVOS	14
3.1	OBJETIVO GERAL	14
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
4	REFERENCIAL TEÓRICO	14
4.1	CICLO DO CARBONO	14
4.2	MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	17
4.3	USOS E COBERTURA DA TERRA.....	19
4.4	MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO	22
5	METODOLOGIA	23
5.1	ÁREA DE ESTUDO.....	23
5.2	USOS E COBERTURAS DA TERRA.....	24
5.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	28
5.4	DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE.....	30
5.5	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CARBONO	32
5.6	CÁLCULO DOS ESTOQUES DE C	34
5.7	ANÁLISE DOS DADOS.....	35
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
7	CONCLUSÕES	43
8	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, busca-se cada vez mais a utilização de práticas agrícolas conservacionistas que visam diminuir o aquecimento global e diminuir os impactos sobre o solo, sem que haja uma diminuição na produção de alimentos e que não impactem o desenvolvimento sustentável. Como a taxa de crescimento populacional cresce exponencialmente a cada ano, há uma necessidade de se produzir cada vez mais alimentos e, com isso, grandes áreas de vegetação nativa estão cedendo lugar para as atividades agropecuárias que, quando mal manejadas, podem reduzir drasticamente o quantitativo de carbono (C) estocado nos solos, contribuindo assim para o aumento das emissões de dióxido de carbono (CO₂) para a atmosfera, e conseqüentemente o aquecimento global (ESCOSTESGUY et al., 2007).

A matéria orgânica do solo (MOS) desempenha um importante papel no balanço global do C, que é a base de toda a vida, e vem sendo considerado como o principal fator responsável pelo aquecimento global, contribuindo para o aumento do efeito estufa (BRADY, 2013).

Os efeitos da mudança no uso da terra nas emissões globais de Gases de Efeito Estufa (GEE) são substanciais, sendo o desmatamento responsável por cerca de 12 a 20% das emissões mundiais de GEE por ano (WEST, 2010).

O equilíbrio entre as entradas e saídas de C no solo está diretamente ligado com a mudança do uso da terra (GUO, 2002). As práticas agropecuárias afetam o armazenamento de C, com conseqüências consideráveis no aumento da emissão de GEE e nas mudanças climáticas globais. É preciso achar um equilíbrio entre a necessidade de expandir a produção agrícola com a necessidade de manter ou até mesmo expandir os estoques de carbono do solo. Portanto, um novo desafio no contexto de mitigação das mudanças climáticas é o manejo conservacionista do uso da terra, para conservar os estoques de carbono existentes no solo, e promover o sequestro de carbono da atmosfera.

O solo é considerado o principal reservatório temporário de C no ecossistema, por apresentar em média 3,3 vezes mais C do que a atmosfera (LAL, 2004) e cerca de 4 vezes mais do que a vegetação. Com essas quantidades de C estocadas no solo, torna-se evidente a importância desse reservatório para o equilíbrio da concentração de CO₂ na atmosfera.

O uso e o manejo do solo em sistemas agrícolas atuam modificando tanto a entrada como a saída de C do solo para a atmosfera. A conversão de ecossistemas em agroecossistemas, envolve uma série de atividades que afetam as taxas de adição e decomposição da MOS.

A quantidade de CO₂ liberada na atmosfera, devido à remoção de áreas nativas, é determinada, principalmente, pela quantidade armazenada na biomassa vegetal e aquela contida na MOS. Ecossistemas que possuem uma vegetação mais aberta, como a caatinga hiperxerófila, armazenam quantidades menores de carbono, quando comparadas com algumas fitofisionomias das florestas tropicais (JESUS, 2017), como no caso das florestas ombrófilas densas, por exemplo, que possuem uma vegetação mais densa e, por isso, armazenam muito mais C na biomassa do que qualquer outro bioma no planeta. As florestas tropicais apresentam as maiores taxas de conversão de áreas de vegetação nativa em terras agrícolas, quando comparadas com outras regiões e/ou biomas no planeta. West (2010) estima que quase três vezes mais C é perdido por hectare nos trópicos do que nas regiões temperadas, quando a vegetação nativa é convertida em área de produção agrícola e/ou pastoril.

As políticas internacionais vêm ganhando força usando o mercado de C como incentivo para reduzir as emissões de GEE por desmatamento e degradação do solo. Esses esforços podem ajudar a equilibrar as compensações entre armazenamento de carbono e produção agropecuária (ZINN, 2005).

Do mesmo modo, a adoção pelo governo brasileiro do programa Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (Plano ABC), que visa o financiamento de projetos que adotem sistemas mais conservacionistas e com balanço positivo nos estoques de carbono, amplia ainda mais a necessidade de acompanhamento e entendimento das variações nos estoques de carbono no solo (SATO, 2013).

Para reverter a perda de C, algumas práticas de manejo como um melhor controle da erosão do solo e o uso de cultivos conservacionistas, devem ser adotadas para aumentar as adições de C ao solo e/ou diminuir suas perdas. Brady (2009) relata que as perdas anuais de C estão em torno de 2,5% e que a eliminação da aração também pode reduzir, pela respiração, essas perdas para 1,5%.

Sendo assim, o objetivo desse trabalho foi determinar os estoques de C do solo nos diferentes usos e coberturas da terra, com a finalidade de inferir que áreas degradadas e a exploração agropecuária reduzem os estoques COS a patamares inferiores aos encontrados na

área de mata nativa, contribuindo para a emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera. No país são escassas as pesquisas que avaliam a contribuição da agricultura na emissão de CO₂.

2 HIPÓTESE

A remoção de áreas nativas para a exploração agropecuária aumentam a oxidação da MOS e consequentemente as taxas de emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Determinar os estoques de carbono do solo nos diferentes usos e coberturas da terra.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar a densidade do solo nos diferentes usos e cobertura da terra em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm);

Quantificar os teores de Carbono nos diferentes usos e cobertura da terra nas profundidades 0-10 e 10-20 cm;

Quantificar os estoques de C totais do solo nos diferentes usos da terra e nas diferentes camadas.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 CICLO DO CARBONO

O C é a base de toda a vida e o seu ciclo na Terra corresponde a história da vida nesse planeta. Os compostos que fazem parte dos tecidos vivos são feitos de átomos de C associados a muitos outros elementos (BRADY, 2009).

O ciclo do carbono se inicia com a emissão de CO₂ pela respiração dos seres vivos, pela atividade oceânica, decomposição e queima de substâncias orgânicas e tem andamento com a captação ou retenção (fixação) deste composto pelas plantas, fitoplânctons e cianobactérias,

através do processo de fotossíntese, havendo então a reintegração do C a MOS, após a decomposição desses organismos autótrofos (HONORIO, 2010).

Desta forma, há um equilíbrio entre a quantidade de CO₂ produzida pelos seres vivos, e a quantidade capturada durante a fotossíntese, posteriormente retida no solo (COSTA et al., 2006).

Os quatro principais compartimentos de C na Terra são: os oceanos, a atmosfera, as formações geológicas (contendo carbono fóssil e mineral) e os ecossistemas terrestres (MACHADO, 2015). Em escala global, os solos estocam pelo menos três vezes mais C do que a atmosfera e quatro vezes mais carbono que a vegetação. Consequentemente, as mudanças nos estoques de C do solo desempenham um papel importante no ciclo global de C, e o manejo da MOS durante a mudança no uso da terra pode ser significativo em termos do comprometimento regional e nacional de C (TRUMBORE, 2009).

O C ocorre no solo tanto na forma orgânica como inorgânica. A grande maioria é encontrada na matéria orgânica e em minerais carbonatados (MONIZ, 2009). As principais fontes de C mineral no solo são os carbonatos de cálcio (CaCO₃), carvão mineral e o petróleo. Os carbonatos são muito menos solúveis e tendem a se acumular em solos sob condições alcalinas, especialmente nas regiões áridas (BRADY, 2013). Em regiões de clima muito úmido, onde os perfis são submetidos a intensa lixiviação, o carbono aparece predominantemente na forma orgânica (Tabela 1).

Tabela 1 – Estoques de carbono orgânico, inorgânico e total nos solos do mundo.

Classes de solo (Ordens)	Área global (10 ³ Km ²)	Carbono alocado nos primeiros 100 cm do solo			Total	(%)
		Orgânico	Inorgânico			
		Estoques (Pg)*				
Neossolos - R	21.137	90	263	353	14,2	
Cambissolos - C	12.863	190	34	224	9,0	
Organossolos - O	1.526	179	0	180	7,2	
<i>Andisols</i> **	912	20	0	20	0,8	
<i>Gelisols</i> **	11.260	316	7	323	12,9	
Vertissolos - V	3.160	42	21	64	2,6	
Gleissolos Sálícos - GZ***	15.699	59	456	515	20,6	
Chernossolos - M	9.005	121	116	237	9,5	
Espodossolos - E	3.353	64	0	64	2,6	
Luvissolos - T	12.620	158	43	201	8,0	
Argissolos - P	11.052	137	0	137	5,5	
Latosolos - L	9.810	126	0	126	5,1	
Solos diversos	18.398	24	0	24	1,0	
Total	130.795	1.526	940	2.468	100	

Legenda: *1 Pg = 10¹⁵g, ou um bilhão de toneladas; **Solos não classificados no Brasil (presentes no *Soil Taxonomy* e *WRB FAO*). ***Classificados ao nível de subordem (SiBCS, 2018); Fonte: Adaptado de BRADY e WEIL, 2013.

O MO dos horizontes superiores dos solos contém entre 1200 a 1500 Pg de CO, principalmente na forma de substâncias humificadas. Considerando a profundidade total do solo, alguns autores elevam a quantidade CO a 2.300 Pg (GALLARDO, 2007).

De acordo com os estoques de carbono totais presentes no solo, torna-se evidente que a preservação desses reservatórios é de grande importância para o equilíbrio da concentração de CO₂ na atmosfera. No país, são escassas as pesquisas que avaliam a contribuição da agricultura na emissão de CO₂.

É importante ressaltar que o C do solo é uma propriedade fundamental que está diretamente ligada com a emissão de gases do efeito estufa, mitigação do aquecimento global e fertilidade do solo. Além disso, o C transmite informações sobre a qualidade do solo em geral, abrangendo dados químicos, físicos e biológicos (COSTA, 2006).

A queima de combustíveis fósseis e o desmatamento de florestas nativas para uso na agropecuária são apontados como os principais responsáveis pelo crescente aumento de CO₂ na atmosfera (JESUS, 2017).

Existe na atmosfera entre 720 e 780 Pg (10¹⁵ g), principalmente na forma de CO₂. E cerca de 850 Pg de C se encontra alocado na vegetação terrestre (GALLARDO, 2007).

Cerri et al. (2004) estimaram ter ocorrido uma emissão líquida de CO₂, anual, da ordem de 46,4 milhões de toneladas no período entre 1975-1995. Os mesmos autores também apontaram que a adoção do sistema plantio direto conseguiu mitigar cerca de 33 milhões de toneladas de CO₂, anualmente, para o mesmo período estudado. Indicando assim, a importância do não revolvimento do solo e principalmente do acúmulo de CO (na forma de MOS) decorrente da utilização do sistema plantio direto.

4.2 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A Matéria Orgânica do Solo (MOS) é a fração orgânica do solo originada de resíduos vegetais e animais, compostos microbianos e húmus, que possui vários estágios de decomposição, sendo o mais estável deles, o húmus. Os constituintes principais da MOS são o C (52 - 58%), oxigênio (34 - 39%), hidrogênio (3,3 - 4,8%) e nitrogênio (3,7 - 4,2%) (SILVA et al., 2004). Essa dinâmica resulta em nutrientes que podem ser absorvidos pelas plantas, além de atuar de forma benéfica na estruturação do solo.

A MOS atua na agregação e estruturação do solo, promovendo a melhoria das características físicas do solo (DE BONA, 2005), além de desempenhar um papel importante na ciclagem de nutrientes essenciais para as plantas, sendo considerada a principal indicadora de qualidade do solo.

O C apresenta predominância na constituição da MO (cerca de 58%), consequentemente, a determinação do carbono orgânico total (CO) tem sido utilizada para estimar a fração orgânica do solo (NELSON e SOMMERS, 1996).

Parte dessa MOS é composta pela Matéria Orgânica Leve (MOL), que é caracterizada por ser uma fração ativa da MOS, constituída por resíduos orgânicos parcialmente humificados em diferentes estágios de decomposição, podendo permanecer no solo em curto e médio prazo

(PEREIRA et al., 2013). Além de ser constituída, principalmente, de partes de plantas, a MOL também pode apresentar resíduos de animais e microrganismos (PEREIRA et al., 2011).

O CO é obtido pelas plantas através da fotossíntese, onde o gás carbônico que se encontra na atmosfera é absorvido pelos vegetais. O processo que remove o dióxido de carbono da atmosfera é conhecido como “sequestro de CO₂”.

Vários fatores influenciam na quantidade de MOS como, por exemplo, a textura do solo, a incorporação de material orgânico, a taxa de mineralização (microorganismos), o clima, entre outros fatores. Em solos sob vegetação nativa, como não há influência da agricultura, o estoque de C é determinado, principalmente, pelas condições climáticas como temperatura e precipitação, também pelo tipo de solo devido a influências destes fatores nas taxas de adição e de perda (COSTA, 2006). Esses fatores estão em constante interação no solo, mantendo as áreas de vegetação primária (nativa) em equilíbrio, ou seja, as entradas (incorporação) e as saídas (mineralização) se equivalem no tempo e espaço, embora haja uma tendência de acumulação a longo prazo (KHORRAMDEL et al., 2013). Com o acúmulo da MOS há a ativação de vários processos no solo, como uma maior resistência a erosão (agregação do solo), maior taxa de infiltração da água, maior retenção de água no solo, maior capacidade de retenção de cátions, maior sequestro de C atmosférico, aumento da ciclagem de nutrientes e da atividade e diversidade biológica de microrganismos no solo. Além de representar a reserva dominante de nitrogênio, enxofre e fósforo para as plantas na pedosfera, tendo em vista que o principal substrato para a formação da MOS são os resíduos vegetais, e que a adoção de sistemas conservacionistas, como adubação verde e o plantio direto são as principais formas de agregar MO ao solo.

Sendo assim, não restam dúvidas da importância da utilização de manejos conservacionistas em áreas de produção agropecuária, pois o manejo adotado exerce grande influência nos estoques de MOS. Manejos conservacionistas como o plantio direto, a adubação verde, o sistema de integração lavoura pecuária, os sistemas agroflorestais, entre outros, podem apresentar a capacidade de mitigar os impactos da degradação do solo e conseqüentemente as perdas de MOS, mantendo ou até elevando os estoques de C no solo, quando comparados com áreas de vegetação nativa, tendo como consequência a melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo, como descrito anteriormente (LAL, 2004). Desta forma, os sistemas

de manejo do solo devem ter como objetivo, além da alta produtividade e qualidade, o aumento da MOS.

Como visto anteriormente, uma forma de abordar a dinâmica da MOS é considerar os fluxos de ganhos e perdas de C durante um período de tempo, pois a quantidade de matéria orgânica (MO) presente no solo é o resultado da diferença entre a quantidade adicionada e a quantidade perdida. Em geral, a taxa de perda (CO_2) está relacionada a respiração (raízes e microbiota do solo), as remoções pelas plantas e ao intenso revolvimento do solo utilizado na agricultura convencional. Esse tipo de manejo favorece os processos erosivos, com perdas consideráveis da MO, visto que a erosão atua principalmente nas camadas superficiais do solo, onde encontra-se os maiores estoques desse elemento, além de diminuir a atividade microbiana, que é responsável pela decomposição do material orgânico depositado no solo e formação do húmus (SALTON et al., 2005).

No Brasil, em sistemas de manejo de solo baseado no preparo convencional (com intenso revolvimento de solo), normalmente, há perdas consideráveis do estoque original da MO, alguns autores apontam que essas perdas podem chegar a mais de 30%, ainda nos primeiros anos de cultivo (BAYER et al., 2003).

4.3 USOS E COBERTURA DA TERRA

Os conceitos relacionados ao uso do solo e cobertura da terra são muito próximos, por isso, muitas vezes são usados indistintamente. Cobertura da terra está diretamente relacionada com os tipos de cobertura, seja artificial ou natural. Já os usos estão mais relacionados aos diferentes usos do solo, de acordo com a sua aptidão agropecuária (LEITE, 2012).

Nos diferentes usos e coberturas da terra, o C (na forma de CO_2) é liberado pela vegetação depois da sua derrubada e queima, e também pelo solo, depois das intervenções frequentes no preparo do mesmo, através de sucessivas arações e gradagens (revolvimento do solo), prática frequente na agricultura convencional. Isso ocasiona o rompimento da estabilidade de agregados e dos complexos organo-minerais do solo, além de proporcionar alterações severas no estado estável do C presente na biomassa microbiana, o que pode levar a um aumento na velocidade de mineralização da MO e, conseqüentemente, uma liberação mais rápida do C que se encontra no solo, na forma de CO_2 (AREVALO et al., 2002).

Os processos de mudança do uso e da cobertura da terra, além de proporcionarem perdas de biodiversidade, alteram também os estoques de C do solo, bem como, a composição química da atmosfera, os ciclos biogeoquímicos, e influenciam no clima, por isso fazem parte da agenda das pesquisas globais de meio ambiente (ADAMI et al., 2015). Sendo assim, o desmatamento, associado a exploração agropecuária é apontado como um dos fatores mais impactantes para a emissão de CO₂ para a atmosfera.

Reduções severas nos estoques de C do solo são apontadas por Jesus (2017) em vários usos e coberturas da terra, distribuídos em quatro mesorregiões do Estado de Pernambuco. O estudo apontou reduções médias da ordem de 25% para as áreas de Mata Atlântica que foram convertidas em sistemas agrícolas e/ou pastoris (Tabela 2), e reduções ainda mais severas na mesorregião do Agreste (46%), quando as áreas de Caatinga nativa foram convertidas em áreas agrícolas.

Tabela 2 - Estoques de carbono no solo (Mg ha⁻¹), sob diferentes usos e coberturas da terra em Pernambuco.

Solos	Zona da Mata	Agreste
	Argissolo	Argissolo
Prof. (cm)	Mata Nativa Densa	
00-10	45	49
10-20	44	34
Prof. (cm)	Mata Nativa Aberta	
00-10	33	21
10-20	24	16
Prof. (cm)	Áreas Agrícolas	
00-10	30	14
10-20	30	11
Prof. (cm)	Áreas de pastagem	
00-10	36	30
10-20	32	18

Fonte: Adaptado de Jesus, 2017.

Batjes (2001) aponta que mais de 50% MO previamente acumulada nos solos é perdida por diversos processos e que geralmente leva em torno de 25 a 50 anos para que essa MO perdida seja repostada nos solos. Assim, as florestas, os sistemas agroflorestais e os solos, podem ser tanto reservatórios, como fontes de C para a atmosfera (quando não manejados corretamente).

Já Silveira et al. (2000), baseando-se em uma extensa revisão da literatura de experimentos de campo, estimaram que o estoque de C no solo, decresce em média 30% nos primeiros anos de instalação das culturas agrícolas, após a remoção da floresta nativa. Os resultados obtidos por Vitorello et al. (1989) apontam para um decréscimo da ordem de 28% nos estoques de C do solo nos primeiros 12 anos de cultivo, após a remoção da vegetação nativa, e uma diminuição de 42% após 50 anos de cultivo do solo com cana-de-açúcar.

Silveira (2000) indica que os valores médios referentes aos estoques totais de C no solo até 20 cm de profundidade em florestas subtropicais são de 61,5 Mg ha⁻¹. Quando se comparou com a média de valores observados nas florestas tropicais (66 t ha⁻¹ de C), verificou-se que o valor estimado se encontrava bem próximo da média. Esta diferença pode ser considerada como irrelevante, pois a variabilidade natural do estoque de C no solo situa-se em torno de 30% (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores quantificados de estoque de carbono no solo em florestas tropicais e subtropicais.

Local	Estoque de carbono no solo (Mg ha ⁻¹)
Piracicaba	97,4
Manaus	75,6
Rondônia	43,5
Porto Rico	70,5
Costa Rica	58,2
Média	66,0

Fonte: Adaptado de SILVEIRA et al., 2000.

Em relação a áreas de pastagens para os estoques de C no solo, a maior parte vem do seu sistema radicular denso e fasciculado. Nessas áreas, o teor de MOS é maior nas camadas superficiais do solo e decresce com a profundidade. Cerca de 40 a 50% do C do solo pode ser

armazenado até 30 cm e amostragens de até 60 cm capturam cerca de 90% da biomassa radicular e do CO de ecossistemas com pastagens (LAL, 2002). Perdas ou aportes de C do solo são maiores no horizonte superficial (0-20 cm).

4.4. Métodos de determinação do teor de matéria orgânica do solo

Conhecer os teores de MO é fundamental para determinar os estoques de C do solo, e vários métodos já foram desenvolvidos para a sua quantificação. Diversos métodos têm sido utilizados para quantificar o COS e, de acordo com o método utilizado, podem haver variações nos resultados obtidos na composição da própria MO, visto que alguns métodos são mais precisos do que outros.

O método de Walkey-Black (WB) tem sido um dos mais empregados no Brasil para analisar C dos solos, devido à sua simplicidade e baixo custo operacional, além de conseguir quantificar a MO facilmente oxidável, porém esse método tem perdido espaço ao longo dos anos. O método de WB utilizar reagentes tóxicos que produzem rejeitos de difícil descarte (ex. soluções ácidas contendo cromo (Cr)). Por isso, tem-se estimulado a substituição desse procedimento por outros que geram menos resíduos potencialmente tóxicos. Outra limitação desse método tem sido relacionada ao impacto ambiental do Cr.

Nos Estados Unidos, desde o ano 2000, órgãos como a *National Soil Survey Center* (NSSC) proibiram análises com oxidação por dicromato, devido às preocupações ambientais sobre a geração de resíduos tóxicos (SATO, 2013).

Outro método amplamente utilizado para determinação de CO é o método do Analisador Elementar, método considerado como o mais preciso e tecnológico, por realizar a combustão de todas as formas de C no solo, e determinar simultaneamente os elementos C, nitrogênio (N) e enxofre (S), além do mais não utiliza reagentes tóxicos, tanto para o meio ambiente, como para a saúde humana. A principal desvantagem desse método é o elevado custo de aquisição do equipamento (GATTO et al., 2009).

Sendo assim, fica clara a necessidade da utilização de métodos que não gerem resíduos para o meio ambiente, que sejam de baixo custo e que possam ser executados na grande maioria dos laboratórios de solos, tendo como exemplo o método da perda de massa por ignição (mufla) (MIYAZAWA, 2000), que nos últimos anos não vinha sendo muito utilizado em laboratórios de rotina, principalmente devido ao longo tempo para a pesagem das amostras. Porém, nos

últimos anos, a preocupação com o meio ambiente, reestimulou o uso desse método de análise da MOS (ESCOSTEGUY et al., 2007).

O método da mufla baseia-se no princípio da perda de C por incineração. O aspecto favorável relacionado ao método é a não geração de resíduos potencialmente tóxicos, diminuindo a possibilidade de contaminação do ambiente e isentando os laboratórios da necessidade de destinação onerosa com tratamento de resíduos.

Esse método é utilizado para avaliar o teor de MOS e, a partir disso, estimar o teor de COS. Isso é possível devido ao elevado grau de associação entre MOS e CO. Uma vez que a MOS contém cerca de 58% do seu peso em C.

Entretanto, os resultados obtidos por esse método são extremamente dependentes da temperatura final utilizada, pois quanto maior a temperatura, maior é a queima de material orgânico, implicando em variações nos fatores de conversão (CONCEIÇÃO et al., 1999). É bastante utilizado por ser um método simples e rápido de quantificar o COS.

5 METODOLOGIA

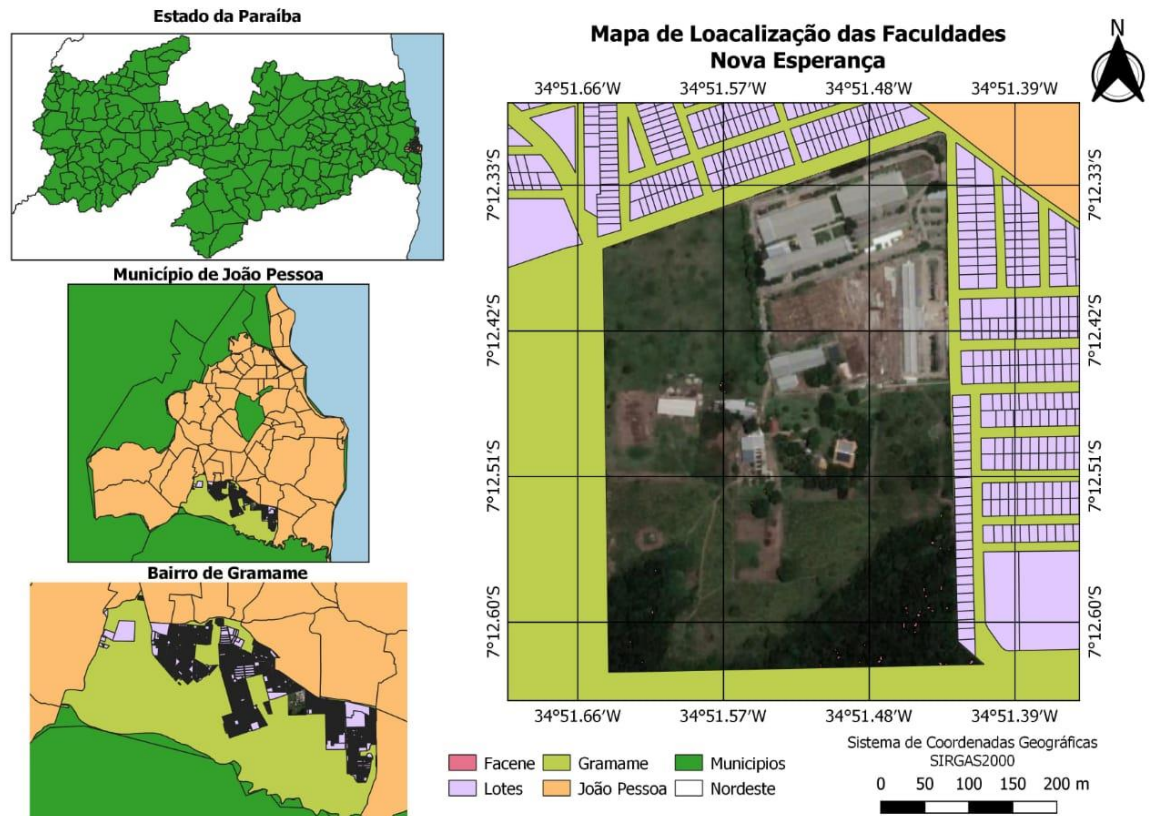
5.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi realizado na Fazenda Escola Nova Esperança, localizada no *campus* da Faculdade Nova Esperança – FACENE, no município de João Pessoa – PB, tendo como coordenadas geográficas -7.20774 de latitude, e -34.85890 de longitude. A área total da FACENE corresponde a 21,5 hectares.

O clima da região é o tropical (chuvas mais concentradas no verão que no inverno). E de acordo com a classificação de Köppen e Geiger o clima é do tipo Aw, ocorrendo desde os Tabuleiros Costeiros de João Pessoa até a costa de Pernambuco, onde avança um pouco mais para o interior (60 km). As médias anuais de temperatura do ar e da precipitação pluvial são respectivamente de 24,3°C e 1.400 mm.

Inicialmente, foi realizada a delimitação da área de estudo utilizando informações em campo e com auxílio do Google Earth. No mesmo programa realizou-se a seleção e download das imagens de satélite correspondentes ao limite da área estudada.

Figura 1 - Mapa de localização da Faculdade Nova Esperança



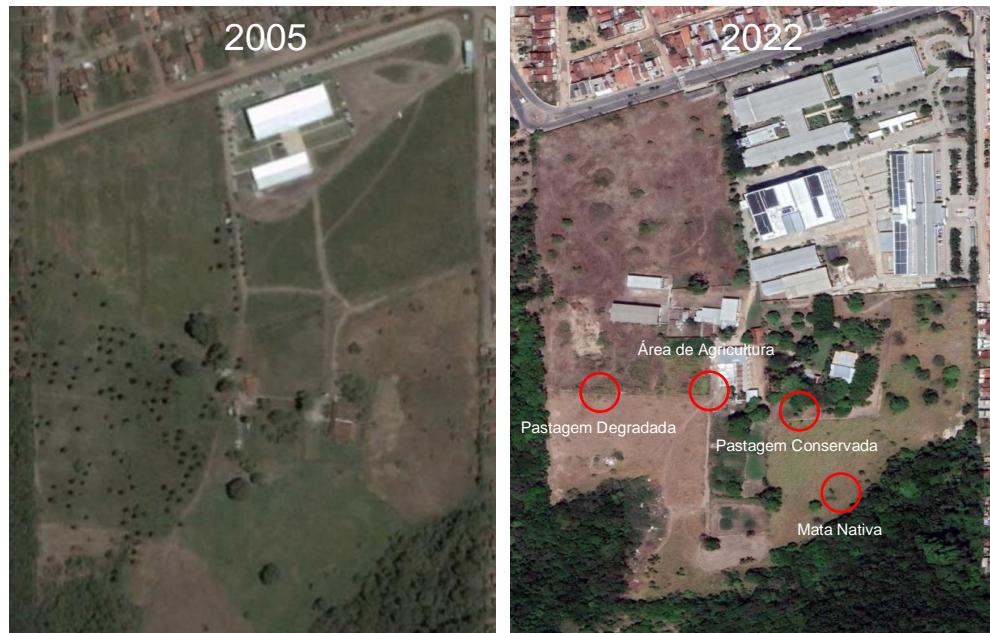
Fonte: Handerson B. M. Lima.

Após a obtenção das imagens, as mesmas foram georreferenciadas utilizando-se como referência geográfica o arquivo de lotes e as quadras do bairro Gramame, disponíveis no site do setor de Cadastro e Geoprocessamento da prefeitura de João Pessoa. Finalizado o georreferenciamento, as imagens passaram por recortes, de acordo com a área de estudo, no caso, os limites da FACENE.

5.2 HISTÓRICO DE USOS E COBERTURAS DA TERRA

O histórico de uso da terra na FACENE representa uma situação comum na região. Em 2017, ocorreu a implantação da fazenda escola, com o plantio de várias culturas agrícolas, dando início ao curso de Agronomia na Instituição. Já havia na propriedade áreas de pastagem (conservadas e degradadas) desde o ano de 2005 (Figura 2).

Figura 2 – Comparativo do histórico de uso da terra na FACENE nos anos de 2005 e 2022.



Fonte: Google Earth

A área de pastagem conservada localiza-se à esquerda da área de agricultura, com predomínio da gramínea (*Brachiaria decumbens*). A pastagem se manteve conservada por se encontrar em uma área mais plana e protegida (cercada dos animais) (Figura 3). A área de pastagem degradada encontra-se a direita da área de agricultura, e apresenta um declive mais acentuado (suave ondulado), proporcionando os processos erosivos, além de uma alta lotação animal (ovinos e caprinos) da fazenda escola.

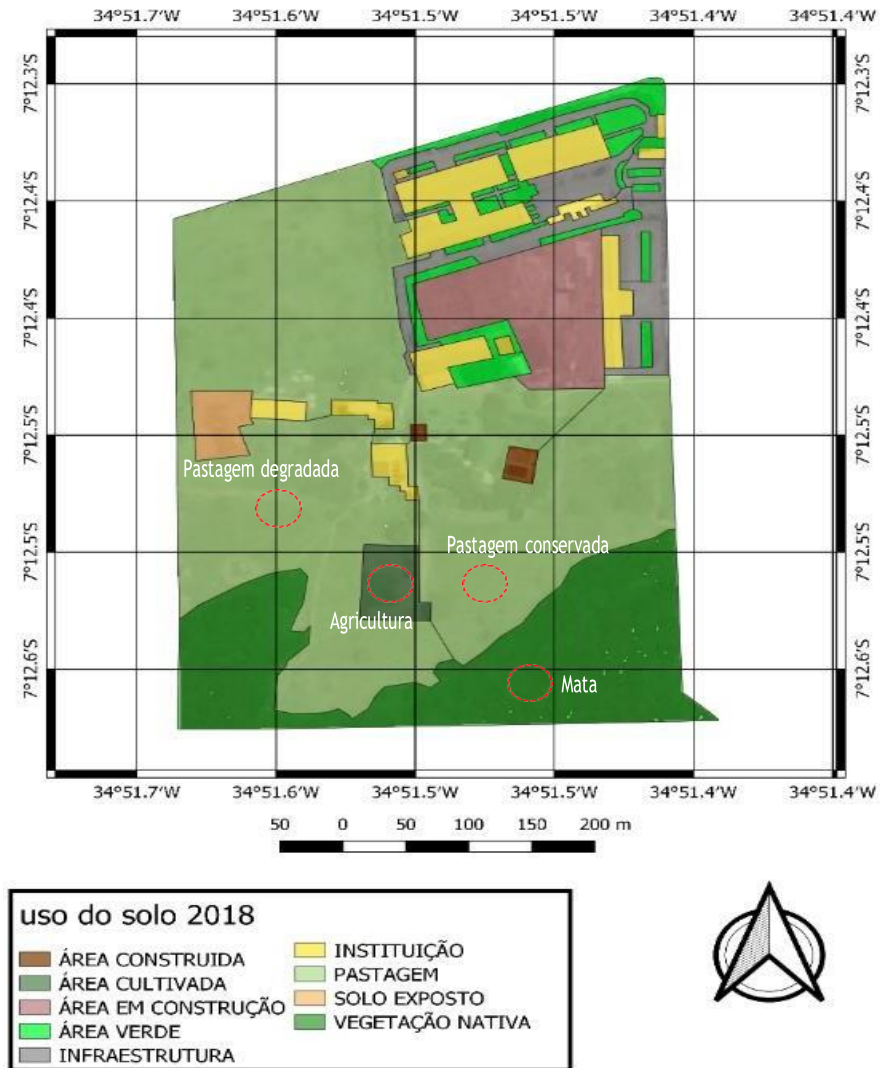
Figura 3 – Área de pastagem conservada.



Fonte: Kennedy N. de Jesus e Handerson B. M. Lima.

O mapa de uso e ocupação do solo (figura 4) foi elaborado através de imagens de satélite obtidas no programa Google Earth Pro e o software livre QGIS versão 3.4.

Figura 4 - Mapa de uso e ocupação do solo da Fazenda Escola em 2018.



Fonte: Handerson B. M. Lima.

Os resultados (Figura 4) indicaram que a FACENE possui 18,2% de vegetação nativa (remanescente de Mata Atlântica). Também foi possível observar que pouco mais da metade da área destinada à Fazenda Escola da FACENE é coberta por pastagem (dividida em degradada e conservada) com 52%. A área cultivada (Agricultura), ocupa aproximadamente 1,6%, principalmente, por folhosas de ciclo curto, como alface, couve, coentro e outras culturas de ciclo mais longos, como cana-de-açúcar, milho, abacaxi e mandioca.

5.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola Nova Esperança (Figura 5), utilizando-se quatro diferentes usos e cobertura da terra (cultivo agrícola, pastagem conservada, pastagem degradada e mata nativa), sob um ARGISSOLO AMARELO Distrófico típico (SiBCS, 2018), em duas profundidades de amostragem do solo (0-10 e 10-20 cm).

Figura 5 – Imagem aérea de parte do *campus* da Faculdade Nova Esperança - FACENE, unidade João Pessoa, PB, em 2022.



Fonte: Júlio C. R. Martins.

Na fazenda escola foram realizadas coletas nos quatro tipos de uso e cobertura da terra, com quatro repetições cada, em duas profundidades (amostras coletadas em duplicata), perfazendo um total de 64 amostras indeformadas de solo.

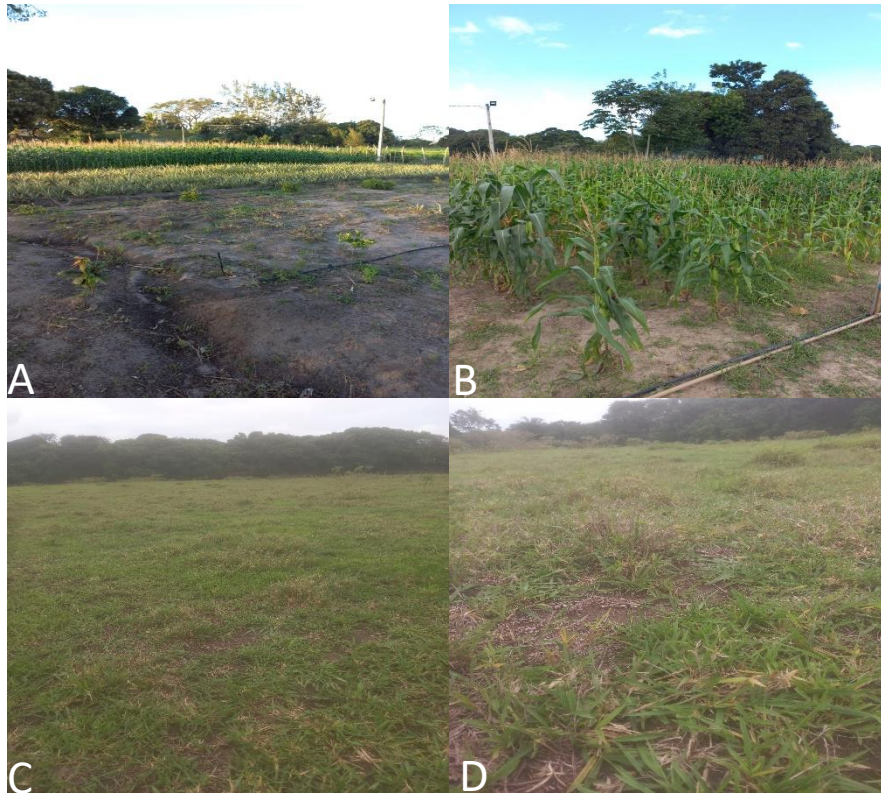
Figura 6 – Área de mata nativa.



Fonte: Handerson B. M. Lima.

No presente trabalho, a definição de mata nativa corresponde ao remanescente de mata atlântica (Figura 6). A pastagem é a cobertura usada para fins de pastejo animal, incluindo pastagens plantadas conservadas e degradadas. A área de cultivo agrícola (Figura 7) inclui terras cultivadas para produção de alimentos de interesse da instituição.

Figura 7 – Área sob cultivo agrícola (A e B) e área de pastagem degradada (C e D).



Fonte: Handerson B. M. Lima.

5.4 DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE

A densidade do solo é essencial para os cálculos dos estoques de C. Valores de densidade são necessários para converter o conteúdo de C obtido por porcentagem do peso seco para peso de C por unidade de área (HOWARD et al., 1995).

A densidade do solo nas profundidades 0-10 e 10-20 cm foram determinadas pelo método do anel volumétrico (CALDERANO, 2011), com quatro repetições para cada profundidade, realizadas em duplicata (Figura 8).

Figura 8 – Coleta de amostras indeformadas de solo.



Fonte: Handerson B. M. Lima.

As amostras indeformadas de solo foram coletadas ao acaso, buscando representar toda área, em anéis volumétricos com volume conhecido e bordas cortantes (Embrapa, 2018), com quatro repetições para cada profundidade e sistema de manejo (realizadas em duplicata). Posteriormente, as amostras foram transferidas para sacos plásticos transparentes e devidamente identificados de acordo com o uso da terra e profundidade.

Em seguida, as amostras foram encaminhadas para o laboratório de Bioquímica da FACENE, onde foram transferidas para cápsulas de alumínio numeradas e previamente taradas, pesadas e levadas para estufa para serem secadas à 105°C por 24h, visando eliminar toda umidade presente.

Depois de eliminada toda umidade, as amostras foram retiradas da estufa e resfriadas em dessecador por aproximadamente 30-40 minutos, e pesadas novamente, para definir a

densidade do solo de acordo com a equação (1), sendo as pesagens efetuadas em balança analítica de precisão (CALDERANO, 2011).

(1)

$$D_s = \frac{M_{ss}}{V}$$

Onde:

D_s = densidade do solo ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$);

M_{ss} = massa da amostra seca a 105°C (g);

V = volume do anel ou cilindro (cm^3).

5.5. Determinação do teor de carbono

Posteriormente, a determinação da densidade do solo pesou-se quatro gramas de amostras de solo secas em estufa e passadas em peneira de 2 mm (Figura 9), para obtenção da Terra Fina Seca em Estufa (TFSE). As amostras foram levadas ao forno do tipo mufla (Figura 10) para combustão em cadinhos de cerâmica (previamente tarados) e incineradas a uma temperatura de 550°C por 3 horas (BENACI, 2010).

Figura 9 – Peneiramento das amostras de solo seca em estufa para a obtenção da TFSE.



Fonte: Handerson B. M. Lima.

Após esse período, os cadinhos foram acondicionados em dessecador e, em seguida, pesados. O cálculo do teor de C total na amostra foi de acordo com a equação (2):

(2)

$$\%C.Total = \frac{(P1 - P2). 100}{M} / 1,724$$

Onde:

P1= Peso (g) amostra seca em estufa à 105°C;

P2 = Peso (g) amostra após ignição à 550°C;

M = Massa inicial;

1,724 = Fator de conversão da matéria orgânica em C (58/100).

Figura 10 – Incineração de amostras de solo em forno tipo mufla para determinação dos teores de MOS.



Fonte: Handerson B. M. Lima.

5.6 CÁLCULO DOS ESTOQUES DE C

Os estoques de CO do solo ($\text{Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$) foram calculados levando-se em consideração a densidade do solo, os teores de CO e a espessura de cada camada amostrada (E), de acordo com a equação 3.

$$\text{Estoque} = \text{conc} \times D \times E \times 10000 \text{m}^2 \times 0,001 \text{MgKg}^{-1} \quad (3)$$

Onde:

Estoque = Massa de C orgânico total por unidade de área (Mg ha^{-1});

Conc = Concentração de C orgânico total (Kg Mg^{-1});

D = Densidade do solo correspondente a camada amostrada ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$);

E = Espessura da camada amostrada (m).

Para estimar os estoques de CO pela equação 3, fez-se necessário anteriormente a correção das massas de solo, pelo método da massa equivalente. Para tal, levou-se em consideração a massa relativa do solo nos diferentes usos e cobertura da terra em relação a massa de uma área de referência, como descrito na equação 4:

$$M_{\text{solo}} = D \times E \times 10000 \text{m}^2 \text{ha}^{-1} \quad (4)$$

Onde:

M_{solo} = Massa do solo por unidade de área (Mg ha^{-1}).

A equação para correção dos estoques de C para uma mesma massa de solo é muito importante para comparar os efeitos de diferentes tipos de manejo de solo em relação a uma área de referência. Esse cálculo depende da disponibilidade de dados sobre concentrações de carbono (g C kg^{-1} de solo) e da densidade do solo das camadas ou horizontes para as quais se deseja calcular os estoques.

A área sob mata nativa foi utilizada como referência, sendo a que apresentou menor massa de solo na camada de 0-20 cm dentre os usos e cobertura da terra em estudo. A massa de solo de cada camada da área de referência foi tomada como base de cálculo para as correspondentes camadas do solo nos dois sistemas de pastagem e na área de agricultura, sendo as espessuras ajustadas. A espessura da camada de solo a ser adicionada ou subtraída para atingir o valor da massa equivalente (solo referência) foi determinada pela equação (5):

(5)

$$E_{ad/sub} = \frac{(M_{ref} - M_{trat}) \times 0,0001 \text{ ha m}^{-2}}{D_{trat}}$$

Onde:

$E_{ad/sub}$ = espessura de solo a ser adicionada ou subtraída de determinada camada do uso do solo para atingir o correspondente valor de massa equivalente (m);

M_{ref} = massa equivalente de solo da respectiva camada na área de referência (Mg ha^{-1});

M_{trat} = massa de solo da respectiva camada do tratamento (Mg ha^{-1});

D = densidade do solo na camada do tratamento (g.cm^{-3}).

As massas de COT por unidade de área em massa equivalente de solo (Estoque $_{equiv}$), expressas em Mg ha^{-1} , foram obtidas pela equação (6):

(6)

$$Estoque_{equiv} = conc \times D \times (E \pm E_{ad/sub}) \times 10000 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1} \times 0,001 \text{ Mgkg}^{-1}$$

5.7 ANÁLISE DOS DADOS

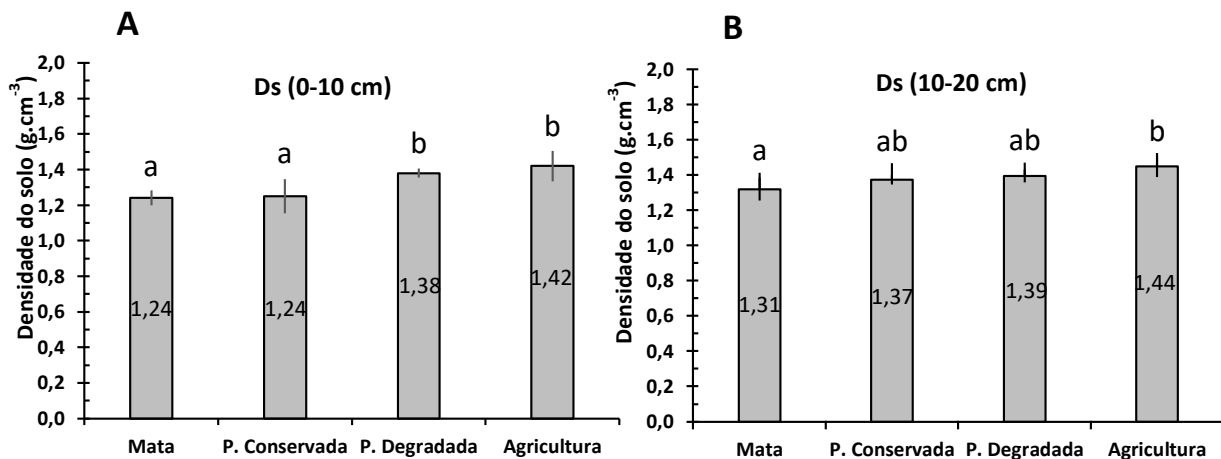
Os dados obtidos foram submetidos ao teste de hipóteses, utilizando-se o software estatístico Sisvar ® (FERREIRA, 2019), verificou-se que os dados apresentam distribuição normal e atendem aos critérios necessários para aplicação de um teste paramétrico. Os dados foram então submetidos à análise de variância (ANOVA), com aplicação do teste F e os valores

médios foram então comparados pelo teste de Tukey (CANTERI, 2001) ao nível de 5% ($P < 0,05$) de significância.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de densidade do solo, avaliados nos diferentes usos e cobertura da terra, apresentaram diferenças significativas ($P < 0,05$) para as camadas estudadas (0-10 cm e 10-20 cm) (Figura 10). Na camada superficial (0-10 cm), os menores valores de densidade do solo foram encontrados nas áreas de mata nativa e pastagem conservada, ambos com valores de $1,24 \text{ g.cm}^{-3}$, diferindo das áreas com antropização (agricultura e pastagem degradada), e sem diferenças significativas entre si (Figura 11A). As áreas sob influência antrópica (agricultura e pastagem degradada) apresentaram valores médios de densidade do solo bem superiores as áreas conservadas (mata nativa e pastagem conservada), com valores de $1,42$ e $1,38 \text{ g.cm}^{-3}$, respectivamente, evidenciando a influência negativa do manejo (uso da terra) sobre a camada superficial do solo (0-10 cm), (Figura 11A).

Figura 11 – Densidade do solo (g.cm^{-3}) em diferentes camadas e usos e cobertura da terra.



(A) Camada superficial (0-10 cm); (B) Camada subsuperficial (10-20 cm); médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Já na camada subsuperficial (10-20 cm), apenas a área sob agricultura diferiu da área de referência (mata nativa), apresentando os maiores valores de densidade do solo entre os usos estudados ($1,44 \text{ g.cm}^{-3}$) (Figura 11B). A mata nativa apresentou a menor densidade do solo

(1,31 g.cm⁻³) para a camada estudada, assim como para a camada superficial, característica já esperada, e decorrente das altas taxas de aporte de MO no solo, oriundos da deposição de material vegetal e/ou animal formadores da serapilheira. Situação oposta a encontrada na área de agricultura, que sofre constantes alterações (degradação) em decorrência do revolvimento do solo (aração e gradagem) e consequente processos erosivos, removendo a camada superficial e degradando assim a MOS, tornando assim o solo mais compactado, devido a antropização das práticas agropecuárias.

Os valores médios encontrados nesse estudo demonstraram uma variação espacial nas profundidades e nos diferentes usos e cobertura da terra, evidenciados pelo aumento da densidade em profundidade e nas áreas sob influência antrópica (agricultura e pastagem degradada). Os resultados aqui encontrados corroboram os obtidos por Andrade et al. (2005), que também encontraram variabilidade em profundidade, quando avaliaram a densidade do solo em diferentes camadas do solo.

A disponibilidade de dados de densidade em massa, são essenciais para estimativas mais precisas dos impactos da mudança de uso da terra sobre os estoques de COS. Essas informações tornam-se necessárias, quando se pretende ajustar os dados (estoques) de áreas sob influência antrópica (que já perderam parte da massa de solo ao longo do tempo), de acordo com a massa de solo equivalente de uma área de referência (áreas de florestas nativas, sem antropização), como demonstrado por Ellert & Bettany (1995), e adotado nesse estudo. As correções para a mesma massa de solo calculadas nesse trabalho são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Efeito da correção de massa nas estimativas de mudança de estoque de COS.

Mudança de uso da terra	Mudanças nos estoques de COS (Mg ha ⁻¹)		Mudanças nos estoques de COS (Mg ha ⁻¹)	
	Sem correção de massa	Com correção de massa	Sem correção de massa	Com correção de massa
	Camada 0 – 10 cm		Camada 10 – 20 cm	
Mata N. para pastagem conservada	-4,6	-4,6	-5	-6,5
Mata N. para pastagem degradada	-10,5	-13,6	-6,2	-8,2
Mata N. para Agricultura	-7	-10,8	-4,2	-7,2

*Mata N.= Mata nativa.

As correções para mesma massa de solo nos diferentes usos da terra (áreas de pastagens e agricultura) proporcionaram uma redução ainda mais acentuada nos estoques de COS, quando comparados com a área de referência (mata nativa). A conversão da mata nativa para área de pastagem degradada apresentou a maior redução (-13,6 Mg.ha⁻¹) nos estoques de COS dentre todos os usos da terra avaliados (Tabela 4). Resultados semelhantes aos obtidos neste trabalho, também foram observados por Don et al. (2011), que encontraram menores estoques de CO com a correção de massa do solo. Essas reduções ocorreram em razão do alto nível de degradação encontrado nessa área, por ser uma área com declive acentuado (> 6%) e com baixa cobertura vegetal, de ocorrência de processos erosivos, o que ocasiona uma diminuição de C na camada mais superficial do solo. A erosão é um fator importante, pois afeta os estoques de C do solo, e está diretamente relacionada ao uso da terra e ao desmatamento. Solos sem cobertura vegetal ou em áreas de vegetação reduzida (devido a antropização) e em declives acentuados (> 3%) são mais propensos à erosão.

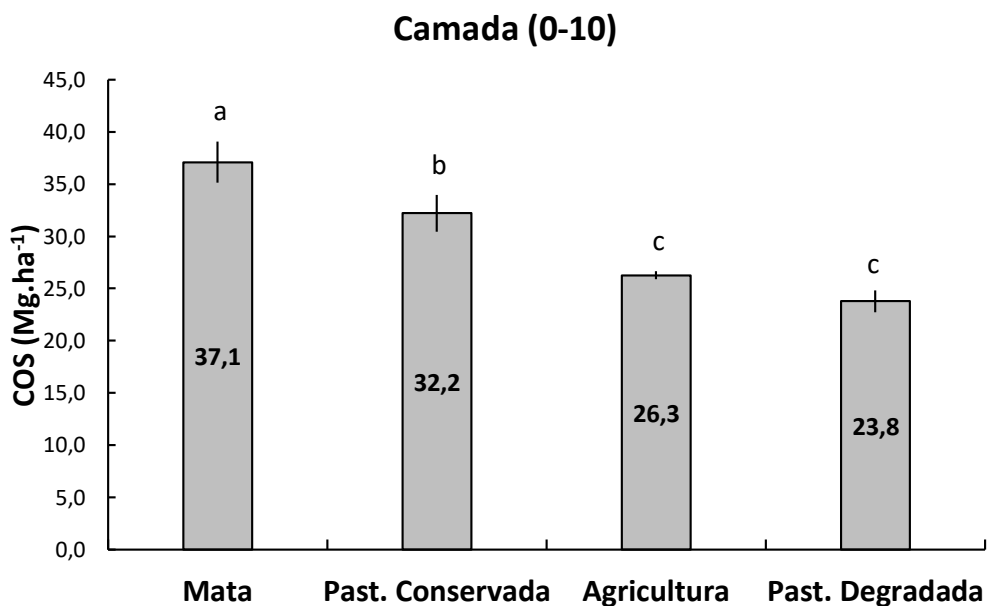
Tabela 5 – Estoques de COS calculados para as camadas e massas equivalentes de solo.

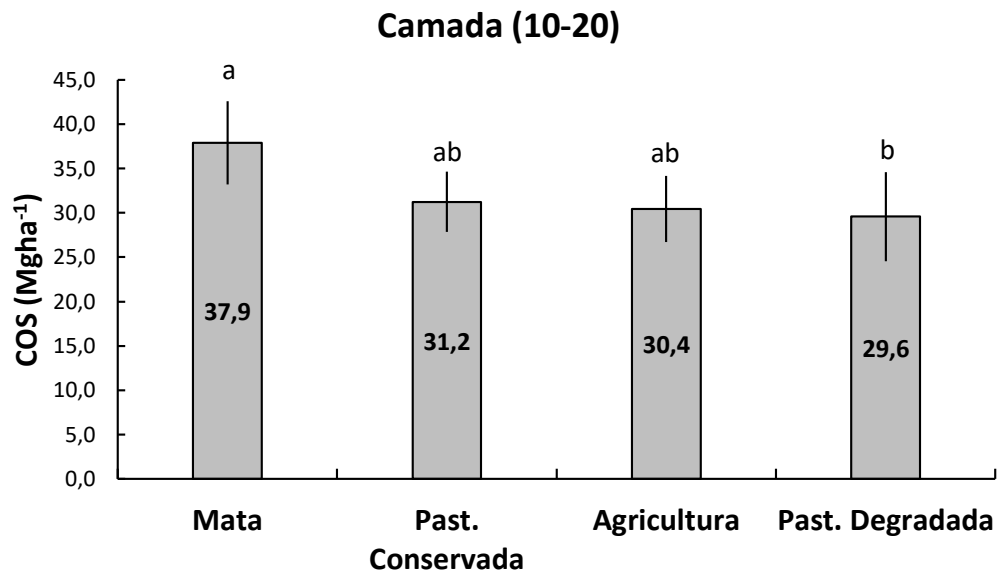
	Camada equivalente de solo				Massa equivalente de solo		
	Camada (cm)	M. Solo (Mg ha ⁻¹)	C org.		Camada (cm)	M. Solo (Mg ha ⁻¹)	C org. (Mg ha ⁻¹)
			(Kg Mg ⁻¹)	(Mg ha ⁻¹)			
Mata	0-10	1240	29,9	37,1	0-10	1240	37,1
Nativa	10-20	1310	28,7	37,9	10-20	1310	37,9
Pastagem	0-10	1240	26	32,2	0-10	1240	32,2
Conservada	10-20	1370	23,9	32,7	10-20	1310	31,2
Pastagem	0-10	1380	19,2	26,5	0-10	1240	23,8
Degradada	10-20	1390	22,6	31,5	10-20	1310	29,6
Agricultura	0-10	1420	21,2	30,1	0-10	1240	26,3
	10-20	1440	23,3	33,6	10-20	1310	30,4

As estimativas dos estoques de C pelo método da massa equivalente de solo apontaram para uma diminuição nos estoques totais em comparação ao método de camada equivalente, o que se deve a diminuição da espessura a ser considerada nas camadas 0-10 cm à 10-20 cm.

Assim como no trabalho de Don et al. (2011), os resultados nos permitem inferir que ocorreria uma superestimativa do COS caso os resultados fossem obtidos apenas pelo método da camada equivalente.

Figura 12 – Estoques de COS (Mg ha⁻¹) nas camadas de 0-10 cm à 10-20 cm, sob diferentes usos e coberturas da terra.



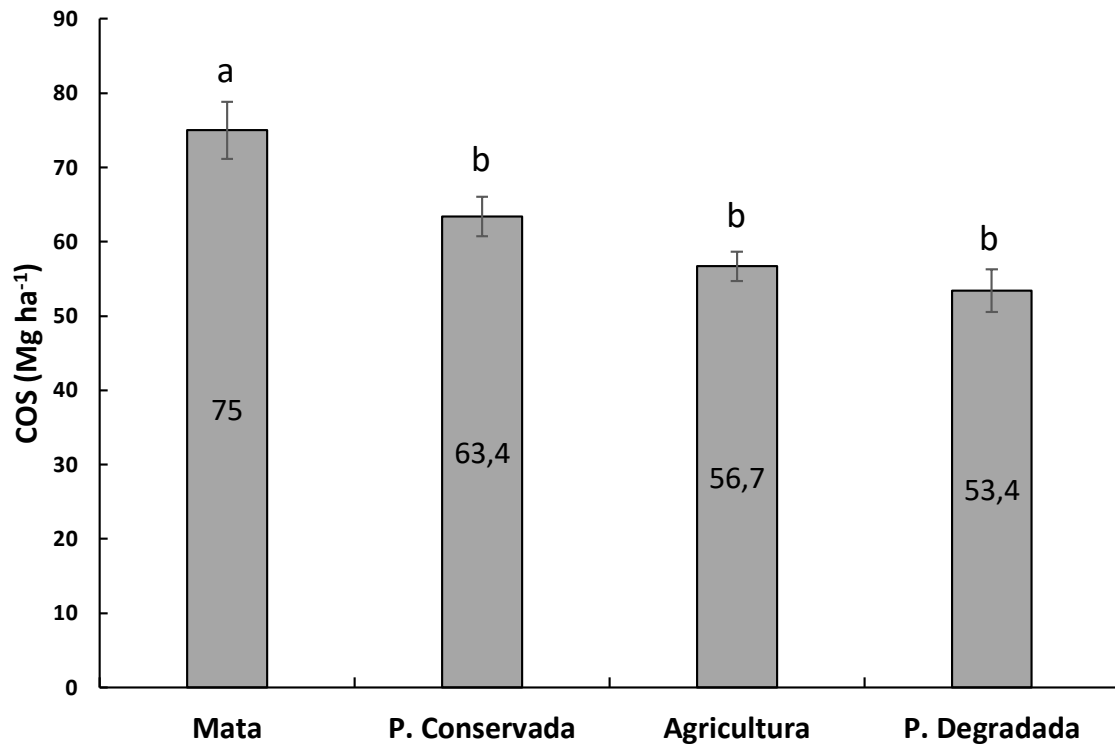


Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Em geral, o solo sob mata nativa apresentou os maiores estoques de COS nas duas camadas estudadas (Figura 12), com 37,9 e 37,1 Mg ha⁻¹, respectivamente, enquanto que a área de agricultura e pastagem degradada, apresentam os menores estoques de COS, dentre todos os usos na camada de 0-10 cm, com valores de 26,3 e 23,8 Mg ha⁻¹, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Miyasawa (2000).

Os valores de estoque de COS para a mata nativa, encontrados nesse estudo, diferiram dos valores obtidos por Silveira et al. (2000), que encontraram em áreas de florestas tropicais (até 20 cm de profundidade), cerca de 61,5 Mg ha⁻¹. Comparando-se com o valor de 75 Mg ha⁻¹ obtido nesse trabalho para mata nativa (Figura 13), observou-se uma diferença de 18%.

Figura 13 – Estoques totais de COS por uso e cobertura da terra na camada de 0-20 cm.



Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A disposição dos resíduos vegetais sobre a superfície do solo (serapilheira) é responsável pelo maior acúmulo de CO nas camadas superficiais da mata nativa (JESUS, 2017) enquanto que o revolvimento do solo na agricultura e a erosão na pastagem degradada, diminuem os estoques de CO das camadas superficiais.

Esse comportamento é típico de vegetações sob mata nativa, como já mencionado anteriormente, pois o aporte de resíduos vegetais na superfície do solo promove a decomposição lenta e gradual, que garante a constante incorporação de material orgânico no solo, sobretudo nas regiões úmidas e subúmidas (mata atlântica) onde há maior produção de biomassa em função da maior disponibilidade de água (JESUS, 2017).

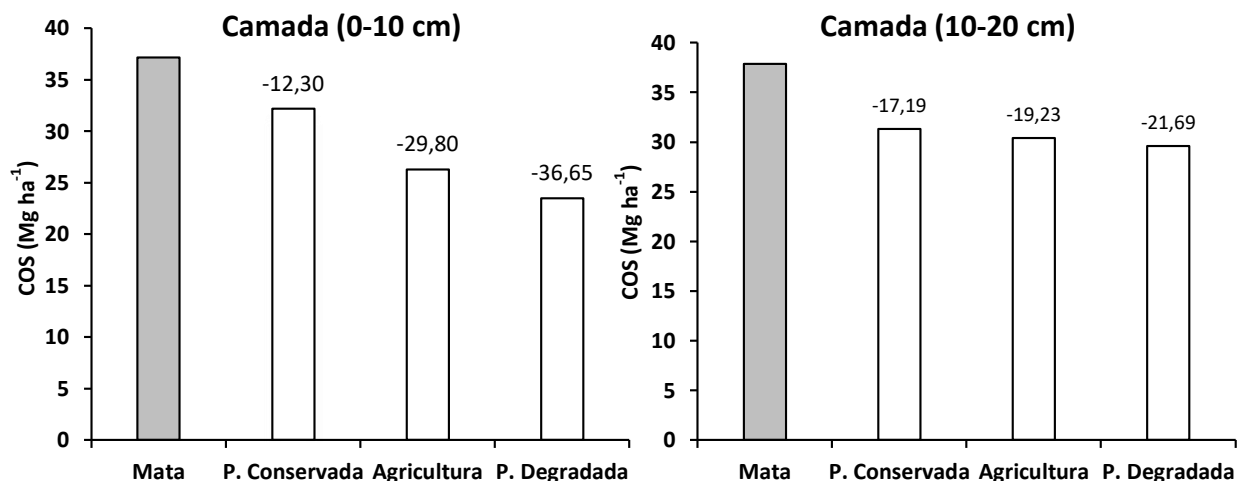
A área de pastagem conservada foi a que apresentou a menor diminuição no estoque de COS em comparação à mata nativa. Essa maior contribuição das pastagens para o acúmulo de C no solo, deve-se ao seu denso sistema radicular, que geralmente está alocado na camada superficial do solo (LAL, 2002). Resultados obtidos por Fujisaka et al. (1998), ressaltam ainda que as reduções em áreas de pastagem ocorrem em curto prazo, pois a longo prazo, em

pastagens bem manejadas, os estoques de CO podem ser similares ou até superior ao de solos sob floresta nativa.

O valor médio de 37 Mg ha⁻¹ de C foi superior ao encontrado por Sampaio e Costa (2011), que estimaram o estoque médio de C por área para todo o semiárido nordestino em 28 Mg ha⁻¹. A explicação desse maior valor médio de C para o solo estudado deve-se principalmente à diferença no bioma, que mudou de semiárido para Mata Atlântica.

Avaliando a conversão de mata nativa para agricultura e pastagem degradada, onde houveram as maiores reduções de C nas duas camadas, as perdas são menores na camada de 10-20 cm, com valores de 19 e 21% respectivamente. Já na camada mais superficial as perdas foram de 30% para a agricultura e 36% para pastagem degradada (Figura 14).

Figura 14 – Redução em porcentagem nos estoques de COS em função das mudanças do uso da terra.



Sob vegetação nativa, a preservação da MOS tende a ser máxima, pois o revolvimento do solo é mínimo e o aporte de biomassa é mais elevado do que em áreas cultivadas.

Nas áreas agrícolas, o revolvimento expõe as frações orgânicas aos microrganismos decompositores e há maior quebra de macroagregados (SILVA et al., 2004), o que acarreta em declínio nas concentrações de COS. Quando há a intervenção do homem para o uso do solo na agricultura, esta redução é maior na camada mais superficial (30%).

Na área de pastagem degradada, a redução no estoque de COS ocorreu em função da degradação do solo, que neste caso ocorre pela erosão, causada pela declividade do terreno, e pela alta taxa de lotação animal.

Comparando a área de mata nativa com as áreas de pastagem (conservada e degradada), observa-se redução de COS em 14% e 29%, respectivamente (Figura 14). Por isso podemos afirmar que os estoques de COS variaram bastante, mesmo sem haver mudanças no uso da terra.

7 CONCLUSÕES

Os estoques totais de C (Mg ha^{-1}) nos solos foram influenciados significativamente pelos usos e coberturas da terra, bem como pelas concentrações e distribuição do C no perfil.

O solo utilizado para agricultura convencional, independentemente da cultura implantada, apresenta balanço negativo de C.

Degradação e altas taxas de lotação são características responsáveis pela elevada diminuição dos estoques de C nas camadas mais superficiais dos solos.

A degradação do solo e a intervenção humana através de práticas agropecuárias convencionais, reduzem os estoques COS a patamares inferiores aos encontrados na área de mata nativa, contribuindo para a emissão de gases do efeito estufa para a atmosfera.

Pastagens mantidas conservadas podem acumular quantidades de CO nos solos a níveis próximos da mata nativa.

8 REFERÊNCIAS

- ADAMI, Marcos et al. Dinâmica do uso e cobertura da terra no estado do Pará entre os anos de 2008 a 2012. In: **Embrapa Informática Agropecuária-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015., 2015.
- ANDRADE, A. R. S. et al. Variabilidade espacial da densidade do solo sob manejo da irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 322-329, 2005.
- AREVALO, Luis Alberto; ALEGRE, Julio Cesar; VILCAHUAMAN, Luciano Javier Montoya. **Metodologia para estimar o estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra**. 2002.
- ASSAD, Eduardo Delgado et al. Sequestro de carbono e mitigação de emissões de gases de efeito estufa pela adoção de sistemas integrados. **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. Brasília: Embrapa, p. 153-167, 2019.
- BALL, D. F. (1964). Loss-on-ignition as an estimate of organic matter and organic carbon in non calcareous soils. **Journal of Soil Science**, London, v.15, p.84-92.
- BATJES, N. H. Options for increasing carbon sequestration in West African soils: an exploratory study with special focus on Senegal. **Land Degradation & Development**, v. 12, n. 2, p. 131-142, 2001.
- BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L. P.; ERNANI, P. R.; ALBURQUEQUE, J. A. Incremento de carbono e nitrogênio num latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, p. 469-475, 2003.
- BENACI, VANESSA. Avaliação de métodos de análise para carbono orgânico em amostras de interesse agrônomo. **Instituto Agronômico. Campinas**, p. 38, 2010.
- BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman Editora, 2013.
- BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Bookman Editora, 2009.
- CALDERANO, Sebastião Barreiros et al. **Manual de métodos de análise de solo**. 2011.
- CANTERI, et al. SASM-AGRI - **Sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan**. 2001.
- CARMO, Davi Lopes do; SILVA, Carlos Alberto. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, p. 1211-1220, 2012.

CERRI, C. C.; BERNOUX, M.; CERRI, C. E. P.; FELLER, C. Carbon cycling and sequestration opportunities in South America: the case of Brazil. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 20, p. 248-254, 2004.

CONCEIÇÃO, et al. Estudo comparativo de métodos de determinação do teor de matéria orgânica em organossolos. **Embrapa Solos-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 1999.

COSTA, F. S.; GOMES, J.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. **Métodos para avaliação das emissões de gases de efeito estufa no sistema solo-atmosfera**. *Ciência Rural*. v. 36, pp. 693-700, 2006.

DE BONA, F. D. Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas irrigados por aspersão sob plantio direto e preparo convencional. 2005.

DON, A.; SCHUMACHER, J.; FREIBAUER, A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks—a meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 17, n. 4, p. 1658-1670, 2011.

ELLERT, B. H.; BETTANY, J. R. Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. **Canadian Journal of Soil Science**, v.75, p.529-538, 1995.

EMBRAPA - Solos, 2018. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 5ª ed., Brasília: EMBRAPA Solos, 356p.

ESCOSTEGUY, Pedro Alexandre Varella; GALLIASSI, Kátiusca; CERETTA, Carlos Alberto. Determinação de matéria orgânica do solo pela perda de massa por ignição, em amostras do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 247-255, 2007.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. **Cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2009. 4 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 69). Disponível em:< <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/792567/1/COT69.pdf> >. Acesso em: 22 mai. 2022.

FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs: Sisvar. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019.

FRANCISCO, P. R. M. et al. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 1006-1016, 2015.

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

GALLARDO, Juan F.; MERINO, Agustín. El ciclo del carbono y la dinámica de los sistemas forestales. 2007.

GATTO, et al. Comparação de métodos de determinação do carbono orgânico em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 735-740, 2009.

GUO, Lanbin B.; GIFFORD, Roger M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. **Global change biology**, v. 8, n. 4, p. 345-360, 2002.

HOWARD, P. J. A. et al. The carbon content of soil and its geographical distribution in Great Britain. **Soil Use and Management**, v. 11, n. 1, p. 9-15, 1995.

HONORIO CORONADO, Eurídice; BAKER, Timothy R. **Manual para el monitoreo del ciclo del carbono en bosques amazónicos**. 2010.

JESUS, K. N. **Estoques e dinâmica do carbono e nitrogênio em solos sob diferentes coberturas e usos de terra em Pernambuco**. 2017.

JESUS, K. N. et al. Estoques de carbono em solos de Pernambuco, Brasil (Carbon stocks in soil of Pernambuco state, Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 3, p. 714-721, 2019.

LAL, R. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, Washington, v. 304, p. 1623-1626, 2004a.

MACHADO, Pedro LO de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, p. 329-334, 2005.

MIYAZAWA, M. et al. Gravimetric determination of soil organic matter. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 43, n. 5, p. 475-478, 2000.

MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agronômico de Campinas. **Instituto Agronômico, Campinas**, 2009.

PEREIRA, M. G., Loss A., Beutler S. J., Torres J. L. R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 508-514, 2011.

PEREIRA, Marcos Gervasio et al. Organic carbon determination in histosols and soil horizons with high organic matter content from Brazil. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 2, p. 187-193, 2006.

PEREIRA, Maria Francisca Soares et al. Ciclagem do carbono do solo nos sistemas de plantio direto e convencional. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 9, n. 2, p. 21-32, 2013.

PORTUGAL, Arley Figueiredo et al. Determinação de estoques totais de carbono e nitrogênio e suas frações em sistemas agrícolas implantados em Argissolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2091-2100, 2008.

SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, T. L. Estoques e Fluxos de Carbono no Semiárido Nordeste: Estimativas Preliminares. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, p. 1275-1291, 2011.

SATO, Juliana Hiromi. **Métodos para determinação do carbono orgânico em solos do Cerrado**. 2013.

SILVA; MENDONÇA. Matéria orgânica do solo. **Biologia dos solos dos cerrados. Planaltina: Embrapa-CPAC**, 1997.

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

SILVEIRA, et al. Simulação dos efeitos das mudanças do uso da terra na dinâmica de carbono no solo na bacia do rio Piracicaba. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 35, p. 389-399, 2000.

TRUMBORE, Susan; CAMARGO, PB de. Dinâmica do carbono do solo. **Amazonia and Global Change**, p. 451-462, 2009.

VITORELLO, V.A.; CERRI, C.C.; ANDREUX, F.F.C.; VICTORIA, R.L. Organic matter and natural carbon-13 distribution in forested and cultivated oxisols. **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v.53, p.773-778, 1989.

WEST, P. C. et al. Trading carbon for food: Global comparison of carbon stocks vs. crop yields on agricultural land. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 46, p. 19645-19648, 2010.

WILDING, L. P.; SMECK, Neil E.; HALL, G. F. **Pedogenesis and soil taxonomy: the soil orders**. Elsevier, 1983.

WRB FAO – World reference base for soil resources. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. 2015. 192p.

ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 84, p. 28-40, 2005.