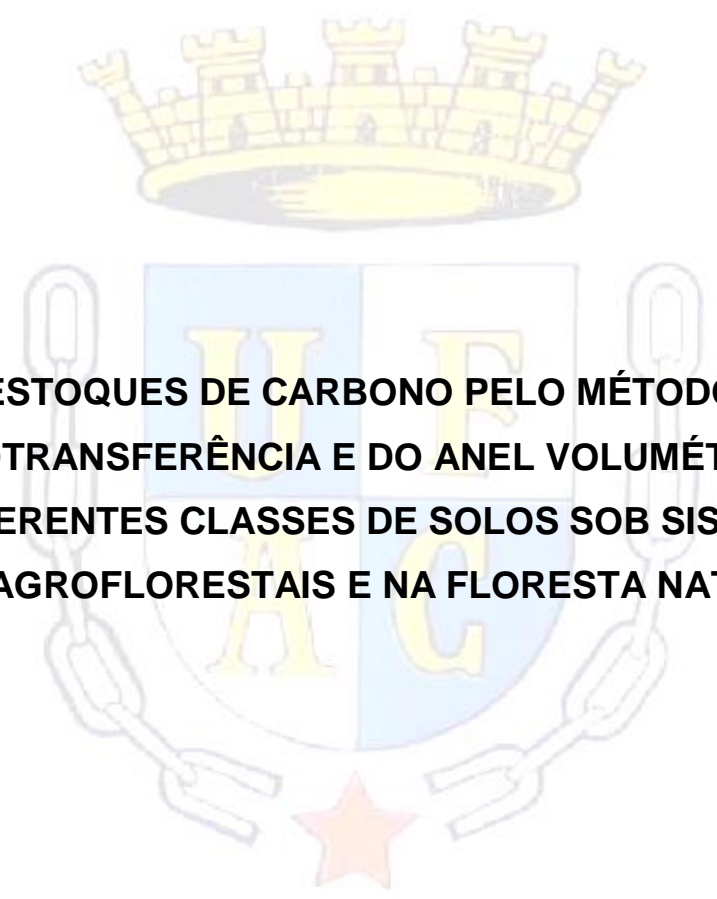


GIORDANO BRUNO DA SILVA OLIVEIRA



**ESTOQUES DE CARBONO PELO MÉTODO DE
PEDOTRANSFERÊNCIA E DO ANEL VOLUMÉTRICO EM
DIFERENTES CLASSES DE SOLOS SOB SISTEMAS
AGROFLORESTAIS E NA FLORESTA NATIVA**

RIO BRANCO - AC

2020

GIORDANO BRUNO DA SILVA OLIVEIRA

**ESTOQUES DE CARBONO PELO MÉTODO DE
PEDOTRANSFERÊNCIA E DO ANEL VOLUMÉTRICO EM
DIFERENTES CLASSES DE SOLOS SOB SISTEMAS
AGROFLORESTAIS E NA FLORESTA NATIVA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Tadário Kamel de Oliveira

RIO BRANCO - AC

2020

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

O481e Oliveira, Giordano Bruno da Silva, 1986 -

Estoques de carbono pelo método de pedotransferência e do anel volumétrico em diferentes classes de solos sob sistemas agroflorestais e na floresta nativa / Giordano Bruno da Silva Oliveira; orientador: Prof. Dr. Tadário Kamel de Oliveira. Rio Branco, 2020.

51 f.: il.: 30 cm.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Acre. Programa de Pós.-graduação em Produção Vegetal. Rio Branco, Acre, 2020.

Inclui referências.

1. Pedotransferência 2. Densidade do solo 3. Serviços ambientais 4. Amazônia I. Oliveira, Tadário Kamel (orientador) II. Título

CDD: 338

GIORDANO BRUNO DA SILVA OLIVEIRA

ESTOQUES DE CARBONO PELO MÉTODO DE PEDOTRANSFERÊNCIA E DO ANEL VOLUMÉTRICO EM DIFERENTES CLASSES DE SOLOS SOB SISTEMAS AGROFLORESTAIS E NA FLORESTA NATIVA

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Acre, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Produção Vegetal.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA



Dr. Tadário Kamel de Oliveira (Orientador)
Embrapa Acre



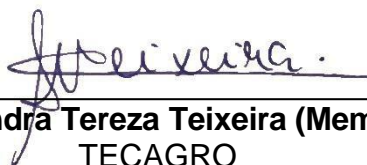
Dr. Idésio Luis Franke (Membro)
Embrapa Acre



Dr. Luis Pedro de Melo Plese (Membro)
Instituto Federal
do Acre



Dr. Márcio de Oliveira Martins (Membro)
Universidade Federal do Acre



Dra. Sandra Tereza Teixeira (Membro)
TECAGRO

*Á Deus e minha família
que tanto amo, dedico.*

AGRADECIMENTOS

Senhor Deus sou muito grato por todas as suas bênçãos diárias e por me proporcionar força para seguir a cada dia na caminhada da vida. Eternamente grato ao Senhor, Jesus Cristo e nossa mãezinha Maria.

Ao meu amor e linda companheira, Maria Cristiana, que sempre está caminhando ao meu lado, acreditando e incentivando nesta jornada trilhada de mãos dadas, sempre com o amor presente. Te amo.

À minha família pelo apoio e incentivo constante nos dias amargos e doces, pela fé e amor incondicional em todos os momentos. Em especial, minha vizinha Obetiza, minha mãezinha Angela, minha tia Sandra, minha mana Glenda, meu irmão Giuseppe, minha amiga Maiane, meu pai Aluildo, meu sogro Raimundo, minhas cunhadas, cunhados e a todas as crianças da família. Amo todos vocês.

Ao pesquisador, Dr. Tadário Kamel de Oliveira, pela orientação, conselhos e grande ajuda nesta jornada do conhecimento.

Aos amigos e colegas de trabalho conquistados na realização desta pesquisa e durante a jornada do doutorado: Geisy, Nilson, Charles, James, Ueliton, David, João, Roger, Nadja, Clarice, Waldiane, Wagner, Thays, Lúcia, Paulo, Josemildo e Júnior.

À Universidade Federal do Acre – UFAC, Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela oportunidade ímpar de realizar este projeto.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia (Produção Vegetal) pela dedicação, ensino e contribuições para o conhecimento.

À banca examinadora da minha defesa de tese pela atenção, disponibilidade e contribuições ao trabalho realizado.

À Embrapa Acre, pela parceria e apoio técnico.

Aos produtores, à direção e técnicos do Projeto Reca por disponibilizar seu espaço como objeto de pesquisa e ação.

Enfim, a todos que contribuíram na realização deste trabalho que foi muito especial e de grande satisfação.

RESUMO

Os sistemas agroflorestais (SAFs) surgem como práticas alternativas de uso dos recursos naturais, pois além de gerar diversos produtos de origem animal e vegetal são promotores em potencial, de serviços ecossistêmicos, como captação de carbono (C) através da biomassa e do solo. Diversos estudos vêm sendo difundidos a fim de consolidar a eficiência destes sistemas como objetos captadores e armazenadores de C no solo. Metodologias que se adequem a medição dos estoques de carbono para os diversos tipos de solos e sistemas de uso da terra são importantes para gerar parâmetros confiáveis. Porém, muitas vezes a obtenção deste parâmetro é dispendioso, desde aspectos operacionais, financeiros e tempo investido. Equações de pedotransferência podem ser usadas para estimar a densidade do solo e consequentemente o estoque de carbono do solo, pois são de fácil aplicabilidade por utilizar atributos físicos e químicos obtidos com maior facilidade. Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar e comparar o estoque de C obtido por meio de diferentes métodos em sistemas agroflorestais aos 28 anos de idade e áreas de floresta adjacentes, em três classes de solo: PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico argiloso (FTd), ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plintossólico (PVA_d) e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (LV_d), no ramal Baixa Verde, Nova Califórnia (Rondônia). Em cada área foram abertas trincheiras de 1 x 1,5 x 1,5 m para descrição dos perfis e classificação dos solos e para coleta das amostras de solo. Na trincheira o solo foi coletado em seis profundidades de 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm. A densidade do solo foi calculada pelo método do anel volumétrico (MAV) e estimada pela equação de pedotransferência (PTF) proposta por Benites et al. (2007). Ambos valores foram utilizados nas estimativas do estoque no solo. Outros dois métodos contaram com a correção do teor de C no solo (Moraes et al., 1996) e a espessura da camada amostrada (adaptada de Fernandes e Fernandes, 2013), que relaciona a densidade do solo do tratamento com a da vegetação nativa. A densidade estimada do solo por PTF não variou em comparação com a obtida pelo MAV, até 20 cm de profundidade. Os métodos de obtenção do estoque de C no solo foram similares estatisticamente. Nas estimativas por PTF sem correção, a área de Floresta LV_d obteve maior valor absoluto de C: 120,36 Mg.ha⁻¹, até 1 m de profundidade. Para valores corrigidos de carbono o SAF 2 LV_d obteve maior estoque: 121,81 Mg.ha⁻¹ em valores absolutos, porém, não houve diferença estatística entre eles ($p > 0,05$). A classe dos LATOSSOLOS foi a que obteve maior média de carbono estocado corrigido até 1 m: 115,64 Mg.ha⁻¹, seguido de PLINTOSSOLO ARGILÚVICO com 82,21 Mg.ha⁻¹ e ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO com 69,28 Mg.ha⁻¹. Entre as áreas de uso os SAFs estocaram carbono de forma similar ao de uma floresta nativa, demonstrando seu potencial como captadores e armazenadores de C.

Palavras-chave: pedotransferência, densidade do solo, serviços ambientais, consórcio, Amazônia.

ABSTRACT

Agroforestry systems (SAFs) emerge as alternative practices for the use of natural resources to generating various products of animal and vegetable origin and because they are potential promoters of ecosystem services, such as carbon (C) capture through biomass and soil. Several studies have been disseminated to consolidate the efficiency of these systems as objects that capture and store C in the soil. Methodologies that are suitable for measuring carbon stocks in different types of soils and land uses are important to generate reliable parameters. However, it is often expensive to obtain these parameters considering from operational aspects, financial and spent time. Pedotransfer equations can be used to estimate the soil density and consequently the soil carbon stock. They are applied using physical and chemical attributes easily obtained. This work was carried out to evaluate and to compare the soil C stock obtained through different methods in Agroforestry systems at 28 years old and in native forest areas, in three classes of soil: Entisols Plinthic (FTd), Ultisols (PVAd) and Oxisols (LVd), in a country road called Baixa Verde, Nova California (Rondônia state, Brazil). In each area, an 1 x 1.5 x 1.5 m trench was opened to profile description, soil classification and to collect soil samples. In the trench the soil was collected at six depths of 0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80 and 80-100 cm. The soil density was calculated using the volumetric cylinder method (MAV) and estimated using pedotransfer (PTF) equation proposed by Benites et al. (2007). Both value were used to estimate soil carbon stocks. Other two methods had the soil C content correction (Moraes et al., 1996) and the thickness of the sampled layer correction (adapted from Fernandes and Fernandes (2013), that relates treatment soil density with native vegetation soil density. The estimated density PTF did not vary compared to density MAV until 20 cm depth. The methods to obtain soil C stocks were statistically similar. On estimates by density PTF without correction, the Forest LVd area had the highest absolute C value: 120.36 Mg.ha⁻¹, until 1 m depth. For values of carbon corrected the SAF 2 LVd obtained the greatest stock 121.81 Mg.ha⁻¹ in absolute values, however, there was no statistical difference between them ($p>0.05$). The Oxisols had the highest soil C corrected stocks average until 1 m depth: 115.64 Mg.ha⁻¹, followed by Entisols Plinthic (82.21 Mg.ha⁻¹) and Ultisols (69.28 Mg.ha⁻¹). Among the land use kinds, SAFs stocked carbon similarly to that of a native forest, showing their C capture and storage potential.

Keywords: pedotransfer, soil density, environmental services, consortium, Amazon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Região de inserção das áreas amostradas em Nova Califórnia (Porto Velho-RO), Amazônia Sul-Occidental, Brasil.....	22
Figura 2 - Áreas amostradas no Ramal Baixa Verde, Nova Califórnia, Porto Velho, RO.	22
Figura 3 - Esquema da coleta das amostras do solo por área amostrada no Ramal Baixa Verde, Nova Califórnia, Porto Velho, RO.....	25
Figura 4 - Distribuição das médias de densidade do solo pelo método do anel volumétrico (MAV) e função de pedotransferência (PTF) em três classes de solo sob floresta e SAFs, nas camadas de 60-80 cm (A) e 80-100 cm de profundidade (B), em Nova Califórnia, município de Porto Velho, RO.	30
Figura 5 - Densidade do solo estimada por meio de pedotransferência (PTF) em diferentes sistemas de uso da terra e profundidades do solo, no distrito de Nova Califórnia, Rondônia. Letras iguais no gráfico para camadas e na legenda para usos não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p>0,05$).....	34
Figura 6 - Estoque de C até 1 m de profundidade pelo método da densidade estimada ($Mg.ha^{-1}$). Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p>0,05$).....	35
Figura 7 - Estoque de C até 1 m de profundidade pelo método da densidade estimada corrigida ($Mg.ha^{-1}$). Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p>0,05$).....	36

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Áreas amostrais, classes de solo, altitude e coordenadas geográficas do local de estudo25
- Tabela 2 - Densidade do solo (g.cm^{-3}) obtida por meio do método do anel volumétrico (MAV) e da função de pedotransferência (PTF), em áreas de Floresta e SAFs, sobre três classes de solo, em camadas até um metro de profundidade, em Nova Califórnia, município de Porto Velho-RO.....29
- Tabela 3 - Comparação entre os métodos de cálculo de estoque de carbono (C) até 1 m de profundidade, obtido por meio da densidade medida com anel volumétrico (MAV) com o carbono calculado por meio da densidade estimada por pedotransferência (PTF); e estoque de carbono por MAV corrigido com estoque de C obtido por PTF corrigida, para o uso da terra e tipo de solo, em Nova Califórnia, município de Porto Velho-RO32
- Tabela 4 - Comparação entre os métodos de cálculo de estoque de carbono (C) até 1 m de profundidade, obtido por meio da densidade medida com anel volumétrico (MAV) com o carbono calculado por MAV corrigido; e estoque de C calculado com densidade estimada por pedotransferência (PTF) com estoque de carbono obtido por densidade PTF corrigida, para sistemas agroflorestais (SAFs) em diferentes tipos de solo, em Nova Califórnia, município de Porto Velho-RO.....33
- Tabela 5 - Estoque de carbono (Estoque C DPTF), estoque de carbono corrigido (Estoque C DPTF corrigida) e matéria orgânica (MO) para diferentes camadas de solos e usos da terra. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p>0,05$), no distrito de Nova Califórnia, Rondônia. Letras minúsculas entre usos da terra e tipo de solo por camada; e maiúsculas entre camadas por uso da terra e tipo de solo.37
- Tabela 6 - Densidade estimada (D PTF), carbono orgânico (CO), teores de argila, K^+ : potássio, Ca^{++} : cálcio e Mg^{++} : magnésio, para diferentes camadas de solos e usos, no distrito de Nova Califórnia, Rondônia. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p>0,05$), no distrito de Nova Califórnia, Rondônia. Letras minúsculas entre o uso da terra por camada e maiúscula entre camada por uso da terra 40

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
	2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS	15
	2.2 A IMPORTÂNCIA DO SOLO NO SEQUESTRO DE CARBONO.....	17
	2.3 SISTEMA AGROFLORESTAIS COMO CAPTADORES DE CARBONO.....	19
	2.4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO.....	20
3	MATERIAL E MÉTODOS	22
	3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO.....	23
	3.2 DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS NAS ÁREAS DOS SAFs E FLORESTA	24
	3.3 VARIÁVEIS ANALISADAS	26
	3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
5	CONCLUSÕES	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

A demanda por bens, insumos e serviços aumentaram significativamente, proporcionando intensificação no uso da terra e queima de combustíveis fósseis. Isto tem provocado a emissão de grandes quantidades de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, proporcionando aumento da temperatura na Terra e modificação da paisagem e do clima.

O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas – PBMC (2014) estima aumento de temperatura entre 4 a 8 °C e redução do volume de chuvas entre 15% e 20% na região Amazônica até final do século XXI. Isto, pode provocar savanização, caso o desmatamento atinja 40% nesta região (NOBRE, 2014).

O último relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (2018) afirma que o aquecimento global é uma realidade irreversível que durará séculos ou milênios, mesmo que as emissões de GEE sejam nulas no futuro.

O Brasil firmou acordo na 22ª Conferência das Partes sobre Mudança do Clima (COP 22), com proposta de diminuição das emissões de GEE em até 43% para o ano 2030 (SEEG, 2018). Portanto, desenvolver e empregar modelos alternativos de uso da terra que visem limitar a emissão de poluentes na atmosfera é relevante para o atual momento.

Diversas pesquisas científicas têm apresentado os sistemas agroflorestais (SAFs) como meios de produção atenuadores às mudanças climáticas (BALBINO et al., 2012; KOOHAFKAN et al., 2012; MBOW et al., 2014; SCHEMBERGUE et al., 2017). Estes sistemas utilizam técnicas de manejo do uso da terra que minimizam a energia gasta e neutraliza emissões de GEE, atuando como sumidouros destes gases (ARMACOLO et al., 2015; CASTRO NETO et al., 2017).

Os SAFs agregam atividades agrícolas, pecuária e silviculturais numa mesma área, consorciando diversos cultivos de forma sinérgica sequencial ou simultaneamente (PLANO ABC, 2012). Indivíduos arbóreos presentes no arranjo do sistema proporcionam maior aporte e retenção de matéria orgânica no solo (YOUNG, 1991), além de potencializar o uso da terra e configurar de forma eficiente os recursos naturais do meio ambiente (ONG et al., 1991).

Estudos sobre sistemas agroflorestais têm avançado pontualmente, porém no Brasil, em especial na região Norte, há poucas pesquisas que comprovem a eficácia destes sistemas como sumidouros de carbono e a capacidade de diferentes classes

de solo em estocar carbono (DIAS et al., 2015).

Os solos amazônicos possuem alta variabilidade espacial de suas classes de solo em função da geologia, relevo, clima e vegetação (BRITO et al., 2010). Nos SAFs a diversidade destes fatores pode gerar incertezas principalmente na estimativa de carbono no solo, tendo como principal fator de dificuldade a heterogeneidade da vegetação presente (NAIR et al., 2009).

Além destes, a estimativa do estoque de carbono depende de outros fatores: teor de matéria orgânica, espessura e densidade do solo. Entre estes, a densidade é um dos parâmetros de maior incerteza (TAALAB et al., 2012) pois a coleta de amostras indeformadas pelo método do anel volumétrico é trabalhosa e exige rigor técnico (BARROS; FEARNSIDE, 2015). Comumente, estimativas de estoque de carbono do solo são obtidas por meio de valores médios de densidade e concentração de carbono no solo (BERNOUX et al., 1998).

A predição da densidade do solo por meio de equações de pedotransferência vem sendo explorada como método na determinação deste parâmetro do solo. Utilizando atributos físicos e químicos para gerar estimativas de densidade do solo, esta metodologia pode ser eficiente para representar medidas diretas deste parâmetro quando não houver acesso à informação obtida pelo método mais usual, em que se utiliza o anel volumétrico (BENITES et al., 2007).

Pesquisas mais detalhadas sobre o carbono estocado nos sistemas agroflorestais, ainda são incipientes e carecem de informação direcionadas a ambientes específicos. Diante disso, o trabalho teve como objetivo avaliar e comparar o estoque de carbono obtido por meio de diferentes métodos em sistemas agroflorestais aos 28 anos da implantação e na floresta nativa, em três classes de solo, na região Norte, extremo-oeste do Estado de Rondônia, no distrito de Nova Califórnia (Porto Velho-RO).

2 REVISÃO DE LITERATURA

As mudanças climáticas são temas frequentes no meio científico, apresentando em diversos momentos contradições sobre os motivos das alterações globais (TEODORO e AMORIM, 2008). Zangalli Junior e Sant'Anna Neto (2012) ressaltam que as transformações no clima são oriundas de processos naturais e necessitam de modelos multi-escalares para gerar dados confiáveis sobre quais fatores estão interagindo diretamente nas mudanças climáticas.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (2014) relata que o clima é dinâmico e depende de fatores internos (intrínsecos a própria complexidade do clima) e externos (naturais e antropogênicos). Dentre estes, atuações externas no clima tem maior influência, principalmente o sol. Porém, ações humanas têm contribuído significativamente na mudança do sistema climático, tendo como principal atividade emissora de gases de efeito estufa (GEE) o uso da terra.

No Brasil, o uso da terra e agronegócio estão entres as principais atividades emissoras de GEE, com 73% das emissões entre todos os setores (SEEG, 2018). Mitigar a emissão de gases poluentes é importante para equilibrar as ações dos fatores externos que interagem diretamente no clima (BRIANEZI et al., 2014). Para isto, é fundamental a utilização de modelos alternativos de produção que tenham características de capturar dióxido de carbono (CO₂), um dos principais gases causadores do efeito estufa.

Os sistemas agroflorestais (SAFs) se adequam como práticas de uso da terra, com perfil de assimilar carbono atmosférico, armazenando-o acima e abaixo do solo (XAVIER; MENDONÇA, 2011; PRADO et al., 2016, PAUDEL et al., 2017). São sistemas que integram sequencial ou simultaneamente espécies florestais com culturas agrícolas e/ou criações, aplicando técnicas de manejo ajustada as características locais (MACEDO et al., 2010), com produção diversificada e promotores de serviços ambientais (DALY; FARLEY, 2010; OLIVER et al., 2015).

Há inúmeras contribuições dos SAFs para o ambiente, como: proteção do solo contra erosão, conservação e ciclagem de nutrientes, fixação de carbono e nitrogênio, adubação verde, melhoria da fertilidade, entre outras (ALTIERI, 2012; SILVA, 2013). Todos estes serviços possibilitam que estes sistemas sejam grandes captadores de CO₂, auxiliando no balanço positivo do C e funcionando como reservatório.

2.1 MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A atmosfera terrestre está compreendida entre os cinco sistemas (criosfera, biosfera, litosfera e hidrosfera) que determinam o clima na Terra. É caracterizada por uma complexa rede de inter-relações por meio de processos de trocas de energia, capaz de reduzir as amplitudes entre as temperaturas diurnas e noturnas, determinando como a energia solar entra e sai do planeta (SILVA et al., 2009).

Santos (2000) afirma que estas relações energéticas são fenômenos naturais que provocam o aquecimento atmosférico, resultante da interação dos processos de entrada de radiação solar (fonte geradora de radiação) e a emissão de radiação térmica do planeta terra (corpo receptor, dissipador e refletor da energia recebida da fonte geradora).

Com o início da revolução industrial, a emissão de gases para a atmosfera, que interagem a nível molecular com a radiação térmica emitida para a terra, se intensificaram. Este fenômeno foi nomeado de aquecimento global, e por seguinte chamado de efeito estufa, por apresentar similaridade ao processo de aquecimento que ocorre nas estufas de cultivo de vegetais (SANTOS, 2000).

Mendes (2015) afirma que o efeito estufa é responsável por manter a temperatura média do planeta a níveis adequados para a vida, entre 15 °C e 18 °C. Este fenômeno natural ocorre quando a energia emanada de nosso planeta, na forma de radiação, e na faixa espectral do infravermelho, é absorvida pelos gases de efeito estufa (GEE) presentes na atmosfera.

Os gases GEE, compostos por: dióxido de carbono (CO₂), ozônio (O₃), óxido nitroso (N₂O), o metano (CH₄), clorofluorcarbonos (CFCs) e vapor d'água, possuem a capacidade de absorver radiação na faixa espectral do infravermelho emitida pela superfície terrestre, e irradiar parte da energia de volta para a superfície do planeta, proporcionando o aquecimento da terra (SILVA; PAULA, 2018).

O vapor d'água e o CO₂ são os principais gases responsáveis pela geração do efeito estufa (SANTOS, 2000). O primeiro tem maior concentração atmosférica (evapotranspiração, vulcões), porém depende menos de atividades antropogênicas (IPCC, 1990). O CO₂ é um gás de procedência natural (vulcões e respiração dos seres vivos) e de atividades humanas (SANTOS, 2000), com maior contribuição ao efeito estufa, devido a grande quantidade emitida na atmosfera, oriundo da queima de combustíveis fósseis e do desmatamento (IPCC, 2014; MENDES, 2015).

Nos últimos anos as concentrações de CO₂ veem sofrendo constante aumento, passando de 275 ppm para 400 ppm (CHEN et al., 2011; MENDES, 2015). No Brasil, há previsão de ficar 3 °C mais quente até o final de 2100, provocando desequilíbrio entre os biomas, com chuvas frequentes nos Pampas e secas prolongadas na Amazônia (PBMC, 2014).

Embora haja grandes incertezas quanto as previsões climáticas, é importante observar a frequência de extremos climáticos, como furacões e tempestades no planeta (IPCC, 2007). Portanto, é importante criar mecanismos que atenuem impactos gerados pelo aquecimento global, através de pesquisas científicas.

O Brasil ocupa o sétimo lugar de maior poluidor do mundo e nos últimos anos as emissões de gases de efeito estufa (GEE) subiram 8,9%, com o uso da terra e a agropecuária sendo as principais atividades emissoras (SEEG, 2018). Porém, o agronegócio é o principal setor gerador de empregos e contribui fortemente para o PIB nacional (SILVA, 2012), que suscita maior pressão ao ambiente. Em casos de manejo inadequado e invasão de terras públicas a imagem do país é fortemente afetada, pois por vezes são causas diretas do desmatamento ilegal.

Muitas pesquisas apontam também para os pequenos produtores como contribuintes para as taxas de desmatamento. Embora sejam pequenas áreas desmatadas, o somatório destas, torna-se significativo ao compará-las a grandes áreas desmatadas promovido pela pecuária e agricultura (MACHADO, 2002).

Dados atuais demonstram que o desflorestamento aumentou 34% em pequenas áreas, registrando diversos focos menores que um hectare (ha) (KALAMANDEEN et al., 2018). Os fatores atrelados a estas taxas podem ser decorrentes de agricultura itinerante, pequenos agricultores com possibilidades técnicas limitadas e grandes produtores desmatando pequenas fatias de terras para mascarar estimativas de desmatamento na Amazônia (INPE, 2018; KALAMANDEEN et al., 2018).

A carência de informações técnicas para modelos alternativos de produção contribui para utilização da terra de forma extensiva, o que amplia as áreas desmatadas. Este fato, acarreta perdas consideráveis de matéria orgânica deixando os solos desmineralizados e erodidos. Quando degradados atuam como fontes de gases do efeito estufa (GEE), gerando balanço negativo do carbono (C) (SILVA et al., 2014; ROSSO, 2018; SEEG, 2018).

2.2 A IMPORTÂNCIA DO SOLO NO SEQUESTRO DE CARBONO

O carbono (C) é um dos principais elementos presentes nos gases de efeitos estufa (GEE). Seu armazenamento é compartilhado em cinco setores do globo terrestre: oceânico (maior reservatório de C), geológico (rochas), pedológico (solo), biótico (biomassa vegetal e animal) e atmosférico, com todos interconectados (LAL, 2004).

O solo, em sua estrutura total, é o recurso natural indispensável para a produção agropecuária. Se for manejado com práticas sustentáveis, além de cumprir a demanda da produção, servirá como filtro natural, para estoques subterrâneos de água doce, habitat de uma complexa biodiversidade de organismos, e como armazenador de C (OLIVEIRA, 2015).

O potencial do solo, como reservatório de C é inegável. Estudos demonstram que o estoque de C até um metro de profundidade atinge 1.576 Pg (Petagrama) em 12,8 bilhões de hectares nos continentes (ESWARAN et al., 1993), o equivalente a três vezes a quantidade C na vegetação e duas vezes na atmosfera terrestre (CERRI; CERRI, 2007).

Machado (2005) afirma que a humificação, agregação e sedimentação são os processos responsáveis pelo sequestro de C no solo e a perda deste elemento é decorrente dos processos de erosão, decomposição, volatilização e lixiviação. O autor, explica que as concentrações de C diminuem gradativamente nos setores inferiores no solo.

Um dos indicadores de qualidade do solo é a matéria orgânica (MO) (AMADO et al., 2001), formada por um conjunto de variáveis químicas, físicas e biológicas do solo (REEVES, 1997). Geralmente a MO é expressa em termos de C, por ter maiores quantidades de C presente (GREENLAND et al., 1992). Sua adição ao solo ocorre por meio de resíduos orgânicos, em geral vegetal, acumulado nas plantas via fotossíntese, em que se capta o CO₂ atmosférico, fixando-o no tecido vegetal. Parte do carbono fixado é depositado no solo e o restante é incorporado pela deposição de folhas ou de toda parte aérea das plantas (PILLON et al., 2002).

O teor de MO no solo dependerá das taxas de adição e decomposição da quantidade e qualidade do material depositado, variando de acordo com o manejo do solo (ARAÚJO et al., 2007). O tipo de solo (estrutura, textura e composição), o clima, adição de biomassa, e as formas de uso da terra influenciam no sequestro de CO₂ e

estoque de C no solo. Schmidt et al. (2011) afirmam que a forma mais eficiente de acúmulo de C no solo é por meio das raízes. Estas, se associam a fungos, bactérias, minerais e exsudatos radiculares formando agregados gradualmente, tornando o C estável no solo (CHIMENTO; AMADUCCI, 2015).

Avaliar o estoque de C em diferentes profundidades no solo é importante para compreender a dinâmica e fluxo do C entre o solo e atmosfera (BERNOUX et al., 1998). Zinn et al. (2005) afirmam que o armazenamento de C varia em função da frequência e profundidade do cultivo, tipo de solo, clima e outros fatores. Estes autores, verificaram que sistemas de uso intensivo (plantio anual) apresentaram perdas de 10,3% de C na profundidade de 0-20 cm.

Na região amazônica os estoques de C no solo de florestas primárias variam de acordo com a densidade aparente do solo, classes de solo e posição no relevo de uma mesma classe (BRITO et al., 2010). As principais classes de solos da Amazônia são ARGISSOLOS e LATOSSOLOS, com aproximadamente 50% da área total, com média de estoque de C, na profundidade 0-30 cm, de 44 e 50,5 Mg.ha⁻¹, respectivamente (BATJES; DIJKSHOORN, 1999).

A maior parte do C estocado no solo encontra-se nas florestas (DIXON et al., 1994), com 506 Pg em solos tropicais, destes 66 Pg estão presentes na Amazônia brasileira (ESWARAN et al., 1993; BATJES, 1999). Diversos autores destacam que o C acumulado até 1 m de profundidade pode chegar de 1.300 a 2.000 Pg (SOMBROEK et al., 1993; BATJES, 1996). Gatto et al. (2010), constataram variação do carbono de 80,79 a 141,22 Mg.ha⁻¹ até 100 cm de profundidade.

Sistemas de produção que se associam as características de florestas, incorporando espécies arbóreas e consorciando-as numa única área, tendem a promover maior estoque de C no solo. Pois acrescentam maior quantidade de resíduos vegetais, retendo C e melhorando a capacidade de dreno C-CO₂ atmosférico e consequente mitigação do aquecimento global (CERRI et al., 2010). Esta variabilidade da dinâmica de armazenamento de C, demonstra a importância de estudos sobre a temática, em diferentes regiões e localidades. Principalmente em relação a classes de solo e seu componente vegetal presente, produzindo informações específicas para determinados ambientes e ecossistemas.

2.3 SISTEMA AGROFLORESTAIS COMO CAPTADORES DE CARBONO

Sistemas agroflorestais (SAFs) são definidos como uma forma de múltiplos cultivos sustentáveis que sejam compostos de, pelo menos, uma espécie arbórea e uma ou mais espécies destinadas à produção agrícola (anual ou perene) e/ou criação de animais, interagindo biologicamente entre si (NAIR et al., 2008; SCHOENEBERGER, 2009).

Com base no conceito de produção sustentável, os SAFs objetivam diversificar a produção, diminuir dos efeitos da sazonalidade, aumentar níveis da matéria orgânica no solo, fixar o nitrogênio atmosférico, proporcionar a ciclagem de nutrientes, modificar o microclima e otimizar dos sistemas de produção (SOMARRIBA, 1992).

A integração entre árvores, culturas agrícolas, e/ou animais em um sistema agroflorestal tem o potencial de melhorar a fertilidade do solo, reduzir a erosão, melhorar a qualidade da água, aumentar a biodiversidade e potencializar o sequestro de carbono no solo e na biomassa (JOSE, 2009; NAIR et al., 2009). Outra característica dos SAFs é a prestação de serviços ambientais, que se entende como a valorização econômica do uso dos benefícios ambientais que o sistema pode proporcionar (ANDRADE e ROMEIRO, 2009).

Por conceder grande quantidade de matéria orgânica, os SAFs possuem potencial em estocar C acima e abaixo do nível do solo, adicionando C na superfície e em camadas mais profundas (MONTAGNINI e NAIR, 2004; OELBERMANN e VORONEY, 2007). Dixon (1995), afirma que os SAFs têm potencial de armazenar 95 Mg (Megagrama) C.ha⁻¹ e estocar de 1,1 a 2,2 Pg (Pentagrama) de C durante 50 anos, na parte aérea e no solo em regiões tropicais.

O potencial dos SAFs, para sequestrar carbono, varia de acordo com o tipo de sistema, arranjo, composição de espécies, idade das espécies, práticas de manejo, tipos de solo e fatores ambientais (JOSE, 2009). Com o estabelecimento destes sistemas, a prática de revolvimento se torna momentâneo e isto potencializa o sequestro e acúmulo de carbono atmosférico no solo (COTTA et al., 2008; GAMA-RODRIGUES et al., 2010).

Sistemas agroflorestais com idade superior a 25 anos podem propiciar maior aporte de CO₂, pois atividades fotossintéticas e respiratórias dos indivíduos presentes estão em equilíbrio, gerando balanço positivo de carbono e servindo como sistemas sumidouros de GEE. Nestes, espécies arbóreas são fundamentais para gerir a

captação do CO₂ na atmosfera, propiciando uma fixação dinâmica de C no solo, podendo variar de acordo com cada arranjo espacial adotado (SILVA, 2013), tipo de solo, clima e espécies presentes no sistema (MONTAGNINI; NAIR, 2004; JOSE, 2009).

Muitos trabalhos detalham a importância destes sistemas como drenos de carbono atmosférico (XAVIER; MENDONÇA, 2011; PRADO et al., 2016; PAUDEL et al., 2017); com potencial de estoque de carbono no solo que podem equipara-se ao de uma floresta nativa (SILVA et al., 2012; MONROE et al., 2014; OLIVEIRA, 2016).

Portanto, conhecer a dinâmica de mitigação de CO₂ nestes sistemas alternativos de uso da terra, bem como sua capacidade armazenar C no solo e disponibilizar nutrientes é fundamental para o planejamento de uso e ocupação da terra de maneira mais eficiente. Podendo maximizar políticas de conservação por meio de serviços ambientais prestados.

2.4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO

O cálculo do estoque de carbono depende diretamente das variáveis carbono orgânico, espessura da camada e densidade do solo. A obtenção deste último parâmetro geralmente é onerosa, demanda de tempo árduo em campo e de rigor técnico na amostragem, muitas vezes gerando incertezas na estimativa do estoque carbono do solo (TAALAB et al., 2012). Por conta disso, dados de densidade do solo em camadas profundas são escassos (Benites et al., 2007).

Muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de reduzir os custos da avaliação e garantir maior confiabilidade das estimativas de carbono estocado (BERNOUX et al., 1998; TOMASELLA e HODNETT, 1998; BENITES et al., 2007; CHAUDHARI et al., 2013). Para isso, são utilizadas funções preditoras que se adequam as características físicas, químicas e biológicas específicas do ambiente.

Bouma (1989) foi um dos primeiros a desenvolver funções de pedrotransferência (PTF = Pedotransfer Function) capazes de gerar modelos matemáticos com objetivo de estimar atributos do solo de difícil determinação. Bernoux et al. (1998) propôs um dos primeiros modelos de PTF para estimar a densidade de solos tropicais, utilizando atributos físicos (textura, teor de carbono orgânico e tipo de solo).

Benites et al. (2007) comparando diferentes modelos na literatura e aplicando técnicas de regressão, desenvolveu uma PTF da densidade do solo ajustada para a maior parte dos biomas brasileiros. Como parâmetros usou o teor de argila, carbono orgânico e soma de bases (SB).

Os principais métodos para gerar PTF são técnicas de regressão linear, redes neurais, modelos lineares entre outros. A geração destas funções depende de dados sólidos e confiáveis sobre levantamentos do solo da região específica para ter maior eficácia na função obtida (NEMES et al., 2010; PACHEPSKY, RAJKAI e TOTH, 2015). Entre os modelos propostos, aquele apresentado por Benites et al. (2007) é satisfatório para estimar a densidade de solos amazônicos, nas diversas classes de solo, por meio de atributo físicos e químicos (FIDALGO et al., 2007; GOMES et al., 2015, PEQUENO et al., 2018).

Portanto, é importante a aplicação de PTF relacionadas as áreas para a qual foram desenvolvidas. Pois sua aplicação em locais distintos pode gerar erros na estimativa de densidade do solo ou de outro parâmetro a ser estimado.

Al-Shammary et al. (2018) resumem que para estimativa da densidade do solo: "...métodos diretos incluem escavação e amostragem com cilindros ou torrão, enquanto os métodos indiretos incluem as abordagens de radiação e regressão. O método do anel volumétrico é mais amplamente usado, mas é demorado e difícil para amostragem em várias profundidades. O tamanho do cilindro usado, a experiência do operador, profundidade de amostragem e teor de umidade do solo *in-situ* afetam significativamente sua precisão. Os métodos de regressão são econômicos, pois podem fazer medições indiretas, mas estes dependem de dados de boa qualidade sobre a textura do solo e conteúdo de matéria orgânica... Além disso, como a maioria das outras abordagens, sua precisão diminui com a profundidade de amostragem.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Amazônia Sul-Ocidental, nos limites entre os Estados do Acre e de Rondônia, em oito áreas situadas em propriedades rurais no Distrito de Nova Califórnia-RO (município de Porto Velho). As áreas têm como rede viária principal a Rodovia Federal BR 364 (Figura 1).

Nesta região o clima predominante, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, quente e úmido, caracterizado por altas temperaturas. A temperatura média entre os anos de 2016 e 2018, foi de 27,1 °C e a precipitação média 2018,9 mm, em Porto Velho (INMET, 2020). A área de floresta nativa utilizada foi classificada como Floresta Tropical Subperenifólia (COUTO, 2010), do tipo densa e alta.

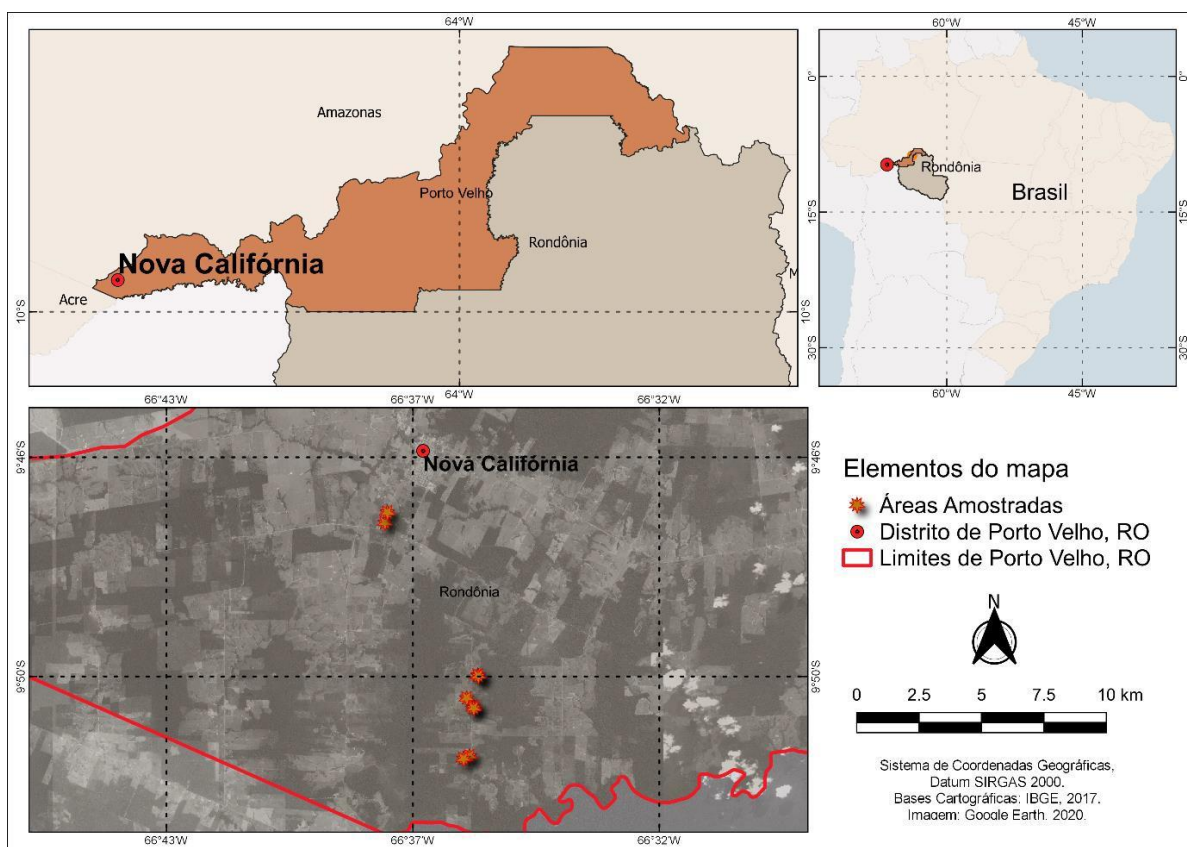


Figura 1. Região de inserção das áreas amostradas em Nova Califórnia (Porto Velho-RO), Amazônia Sul-Ocidental, Brasil.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDO

Os sistemas agroflorestais foram implantados e conduzidos em áreas de produtores, localizadas no ramal Baixa Verde, distrito de Nova Califórnia, município de Porto Velho, RO, a 09° 51' 06,00" S e 66° 35' 52,41" W. Antes da implantação dos SAFs (1990), as áreas eram cobertas com Floresta Nativa e foram submetidas ao sistema de derruba e queima.

A implantação dos SAFs seguiu um modelo sequencial. As espécies perenes do sistema foram cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.), pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) e castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.). Nos anos iniciais foram implantados cultivos temporários de milho, arroz, mandioca e feijão. Em geral os consórcios foram implantados no espaçamento 4 x 7 m, sendo duas linhas de cupuaçuzeiro (4 m x 7 m) x 14m: 240 plantas/ha; alternadas com linhas de castanheiras e pupunheiras para produção de sementes. As castanheiras plantadas a cada 12 m nas linhas (40 plantas/ha), com duas plantas de pupunha entre cada castanheira (a cada 4 m) (80 plantas/ha).



Figura 2. Áreas amostradas no Ramal Baixa Verde, Nova Califórnia, Porto Velho, RO. A = SAF solo FTd; B = Entrada para floresta solo FTd; C = SAF solo LVd; D = Entrada para floresta solo LVd.

Os SAFs na ocasião dos estudos possuíam 28 anos de idade, com composições similares na estrutura física. Os tratamentos culturais empregados são pequenas intervenções, geralmente restritos à roçadas eventuais, uma poda anual e coleta de frutos (SILVA, 2018).

3.2 DESCRIÇÃO DA COLETA DE DADOS NAS ÁREAS DOS SAFs E FLORESTA

As coletas de solo foram realizadas nos meses de março a abril de 2019, com temperatura média de 25,5° C e precipitação de 250 mm no período (INPE, 2020). As áreas foram selecionadas em toposequência, que iniciou no local de menor altitude, próximo ao rio Abunã, até o topo da paisagem, em sentido a BR 364.

Oito áreas amostrais foram escolhidas, cinco sistemas agroflorestais e três florestas nativas adjacentes como referência. Em cada local foi selecionado, inteiramente ao acaso, três pontos para coleta do solo. Um ponto selecionado para abertura da trincheira e coletas de amostras deformadas e indeformada e outros dois pontos equidistantes a partir de 50 m, para coleta de amostras deformadas com trado holandês.

Para classificação e categorização das camadas do solo foi aberta uma trincheira nas dimensões 1 x 1,5 x 1,5 m. Após descrição do perfil fez-se amostragem indeformada utilizando anel volumétrico de aproximadamente 100 cm³ para determinação da densidade do solo (EMBRAPA, 1997). A coleta do solo ocorreu também para fins de análise química, ambas em seis profundidades (Figura 3). O solo colhido foi armazenado em sacos plásticos com capacidade para 2 kg. Cada ponto de coleta foi considerado uma repetição e georreferenciado com GPS Garmin MAP 76CSx. As coletas foram encaminhadas ao Laboratório de Solos da Embrapa Acre, Rio Branco - Acre e Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais para procedimento das análises físicas e químicas.

As áreas amostrais foram classificadas em três classes de solo. Para o PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico argissólico foi amostrado um SAF e uma área de Floresta Nativa. No ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plintossólico e LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico foram amostradas duas áreas de SAFs e uma de Floresta Nativa em cada tipo de solo (Tabela 1).



Figura 3. Esquema da coleta das amostras do solo por área amostrada no Ramal Baixa Verde, Nova Califórnia, Porto Velho, RO. A = Pontos de coleta escolhidos ao acaso; B = Trincheira aberta; C = Descrição do perfil do solo e camadas amostrais.

Tabela 1 - Áreas amostrais, classes de solo, altitude e coordenadas geográficas

Área	Classe*	Altitude (m)	Latitude Sul	Longitude Leste
FN	FTd	137	09° 52' 12"	66° 36' 05"
FN	PVAd	130	09° 51' 01"	66° 35' 52"
FN	LVd	186	09° 47' 01"	66° 37' 48"
SAF	FTd	125	09° 52' 08"	66° 35' 57"
SAF 1	PVAd	127	09° 51' 04"	66° 35' 51"
SAF 2	PVAd	132	09° 50' 53"	66° 36' 01"
SAF 1	LVd	181	09° 46' 47"	66° 37' 47"
SAF 2	LVd	163	09° 50' 21"	66° 35' 47"

Legenda: FTd – PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico argissólico,
 PVAd – ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plintossólico,
 LVd – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico.
 FN – Floresta Nativa,
 SAF – Sistema Agroflorestal.

*De acordo com o sistema brasileiro de classificação de solos (Santos et al., 2013).

3.3 VARIÁVEIS ANALISADAS

As amostras de solo de cada camada foram analisadas quanto aos atributos químicos seguintes, de acordo com metodologia descrita por Defilippo e Ribeiro (1997): pH (água e KCl 1 mol L⁻¹ - 1:2,5), o cálcio, magnésio e alumínio trocáveis, extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica. O potássio e sódio trocáveis foram extraídos com solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ e quantificados por fotometria de chama. A acidez potencial (H+Al) foi extraída com solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ ajustada a pH 7,0, sendo determinada por titulação com solução de NaOH 0,025 mol L⁻¹. O fósforo disponível foi extraído com solução de HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹ (Mehlich 1) e determinado por colorimetria. O carbono orgânico total foi determinado por oxidação da matéria orgânica, por via úmida, com dicromato de potássio 0,1667 mol L⁻¹ sem aquecimento. A titulação foi realizada com sulfato ferroso amoniacal 0,1 mol.L⁻¹.

Os atributos físicos do solo foram determinados utilizando metodologia da Embrapa (1997). Foram obtidos resultados de cada amostra por meio da análise granulométrica (teores de argila, silte, areia fina e grossa) e da densidade do solo pelo método do anel volumétrico (MAV).

A densidade do solo foi determinada pela equação de pedotransferência (PTF) proposta por Benites et al. (2007). Esta fórmula utiliza atributos do solo para prever a densidade do solo por meio do teor de argila, carbono orgânico e soma de bases, conforme equação 1.

$$DS = 1,56 - (0,0005 \times \text{Argila}) - (0,01 \times C) + (0,0075 \times S)$$

Onde: DS é a densidade do solo em g.cm⁻³,

Argila é o conteúdo de argila em g.kg⁻¹,

C é o conteúdo de carbono orgânico em g.kg⁻¹, e

S é a soma de cátions (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺ + K⁺ + Na⁺) cmol_c.cm⁻³

A densidade do solo por meio do anel volumétrico (MAV) e de pedotransferência (PTF), foram determinados para seis camadas: 0-10; 10-20; 20- 40; 40-60; 60-80 e 80-100 cm de profundidade.

Outra variável analisada foi o estoque de carbono (C) até 1 metro de profundidade, obtido pelo somatório do estoque de C em cada camada de solo amostrada, estimado de quatro formas (equações):

- i. Estoque de C MAV (Mg ha^{-1}) = teor de C x espessura da camada x densidade do solo MAV
- ii. Estoque do C PTF (Mg ha^{-1}) = teor de C x espessura da camada x densidade do solo PTF
- iii. Estoque do C corrigido MAV (Mg ha^{-1}) = teor de C corrigido x espessura da camada corrigida x densidade do solo MAV
- iv. Estoque do C corrigido PTF (Mg ha^{-1}) = teor de C corrigido x espessura da camada corrigida x densidade do solo PTF

Nas equações iii e iv, os resultados do teor de C foram ajustados pela razão entre o teor de argila de referência (vegetação nativa) e teor de argila da área de uso da terra, pois as variações nos níveis de C são altamente associadas ao teor de argila (MORAES et al., 1996).

$$C_{\text{corrigido}} (\text{g kg}^{-1}) = C_{\text{tratamento}} (\text{g kg}^{-1}) \times \left[\frac{\text{argila}_{\text{referência}} \%}{\text{argila}_{\text{tratamento}}} \right]$$

Da mesma forma, a espessura da camada de solo considerada foi corrigida. Segundo Ellert e Bettany (1995), o estoque de C deve ser corrigido para a mesma massa de solo, o que inclui a relação entre a densidade de referência (vegetação nativa) e a densidade do solo de cada sistema de uso na sua respectiva profundidade, conforme a equação abaixo, adaptada de Fernandes e Fernandes (2013):

$$\text{Espessura}_{\text{corrigida}} (\text{cm}) = \left[\frac{\text{densidade}_{\text{referência}} (\text{g cm}^{-3})}{\text{densidade}_{\text{tratamento}}} \right] \times \text{espessura}_{\text{tratamento}} (\text{cm})$$

Após as correções, o estoque de carbono (convertido para Mg ha^{-1}) foi determinado através da multiplicação do carbono orgânico corrigido, espessura da camada corrigida e densidade do solo MAV (equação iii) e densidade do solo PTF (equação iv).

$$\text{Estoque do CO} (\text{Mg ha}^{-1}) = C_{\text{corrigido}} \times \text{Espessura}_{\text{corrigida}} \times \text{Densidade}_{\text{tratamento}}$$

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Primeiramente foram verificados os pressupostos da análise de variância: a normalidade dos resíduos verificadas pelo teste de Shapiro e Wilk (1965) ou Anderson-Darling (1952) e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene (1960). Quando os pressupostos não foram atendidos foi aplicado teste de Mann-Whitney (1947) ou teste t de Student.

Inicialmente, realizou-se análise de variâncias para a densidade do solo obtida pelos métodos MAV e PTF, nos usos SAFs e floresta, em cada camada de solo até 1 metro de profundidade. Para comparação de médias aplicou-se o teste Tukey (1953) a 5% de probabilidade (nas camadas de 0 a 60 cm) e quando não se observou distribuição normal dos resíduos (camadas 60-80 cm e 80-100 cm), aplicou-se o teste de Mann-Whitney (1947).

O estoque de carbono obtido pelo método do anel volumétrico (Estoque de C D_{MAV}), pela equação de pedotransferência (Estoque de C D_{PTF}) e estoque de carbono corrigido (Estoque de C $D_{MAV\text{corrigida}}$ e Estoque de C $D_{PTF\text{corrigida}}$) a partir dos perfis de cada área de estudo e tipo de solo, foram submetidos a teste t de Student, para fins de comparação entre os métodos de estimativa do estoque de C até 1 metro de profundidade.

Para análise dos valores de estoques de C até 1 metro obtidos via equação de PTF e $PTF_{\text{corrigida}}$, adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições, considerando os tratamentos como as formas de uso da terra SAFs e floresta em diferentes tipos de solo. Os dados foram submetidos a ANOVA e ao teste de agrupamento de médias Scott Knott ($P < 0,05$) para os diferentes usos tipos de solo.

Para avaliar o estoque de carbono por camada de solo e outros atributos como densidade (D_{PTF} e $D_{PTF\text{corrigida}}$), teor de matéria orgânica, carbono orgânico, argila, K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} , adotou-se o delineamento inteiramente casualizado em parcelas subdivididas, com três repetições. Os diferentes usos em cada tipo de solo constituíram as parcelas e as camadas de solo (0-10, 10-20, 20-40, 40-60, 60-80, 80-100 cm) as subparcelas. Os dados foram submetidos a ANOVA e para as variáveis que apresentaram efeito significativo, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott e Knott (1974) a 5% de probabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo apresentou-se estatisticamente igual até os 20 cm de profundidade. A partir dessa profundidade houve diferença significativa entre os métodos de estimativa de densidade e também diferença entre os tipos de solo (Tabela 2). Nas camadas de 20-40cm e 40-60 cm, o método do anel volumétrico (MAV) apresentou sempre maiores valores de densidade que pela função de pedotransferência (PTF). E ainda solo mais denso no FTd e PVAd.

A densidade MAV obtida de 60 cm até um metro de profundidade e a PTF não apresentaram normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$) e as médias foram analisadas pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney. Ao comparar os dois métodos de determinação da densidade verificou-se que a densidade do solo pelo MAV foi superior a PTF nas camadas mais profundas (60 até 100 cm de profundidade), conforme pode ser observado na figura 4.

Tabela 2 - Densidade do solo (g.cm^{-3}) obtida por meio do método do (MAV) e da função de pedotransferência (PTF), em áreas de Floresta e SAFs, sobre três classes de solo, em camadas até um metro de profundidade, em Nova Califórnia, município de Porto Velho-RO

	Camadas de solo (cm)					
	0-10	10-20	20-40	40-60	60-80 **	80-100 **
Métodos						
MAV	1,18	1,26	1,33 A	1,39 A	1,43	1,43
PTF	1,19	1,23	1,23 B	1,23 B	1,22	1,22
Usos da terra						
Floresta	1,14	1,24	1,29	1,32	1,32	1,32
SAFs	1,21	1,25	1,26	1,30	1,32	1,33
Classes de solo						
FTd	1,18	1,31	1,34 A	1,38 A	1,38	1,38
LVd	1,14	1,18	1,20 B	1,20 B	1,22	1,23
PVAd	1,23	1,24	1,30 AB	1,35 A	1,37	1,37
CV(%)	11,12	9,64	7,64	7,05	8,06	8,77

FTd: PLINTOSSOLO ARGILÚVICO Distrófico;

LVd: LATOSSOLO VERMELHO Distrófico;

PVAd: ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico plintossólico.

Médias seguidas pela mesma letra em cada método, uso da terra e classes de solo são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

**De acordo com o teste de Shapiro-Wilk a 5% de significância, a distribuição dos resíduos não pode ser considerada normal. Portanto, os dados foram submetidos a outros testes ao invés da análise de variâncias.

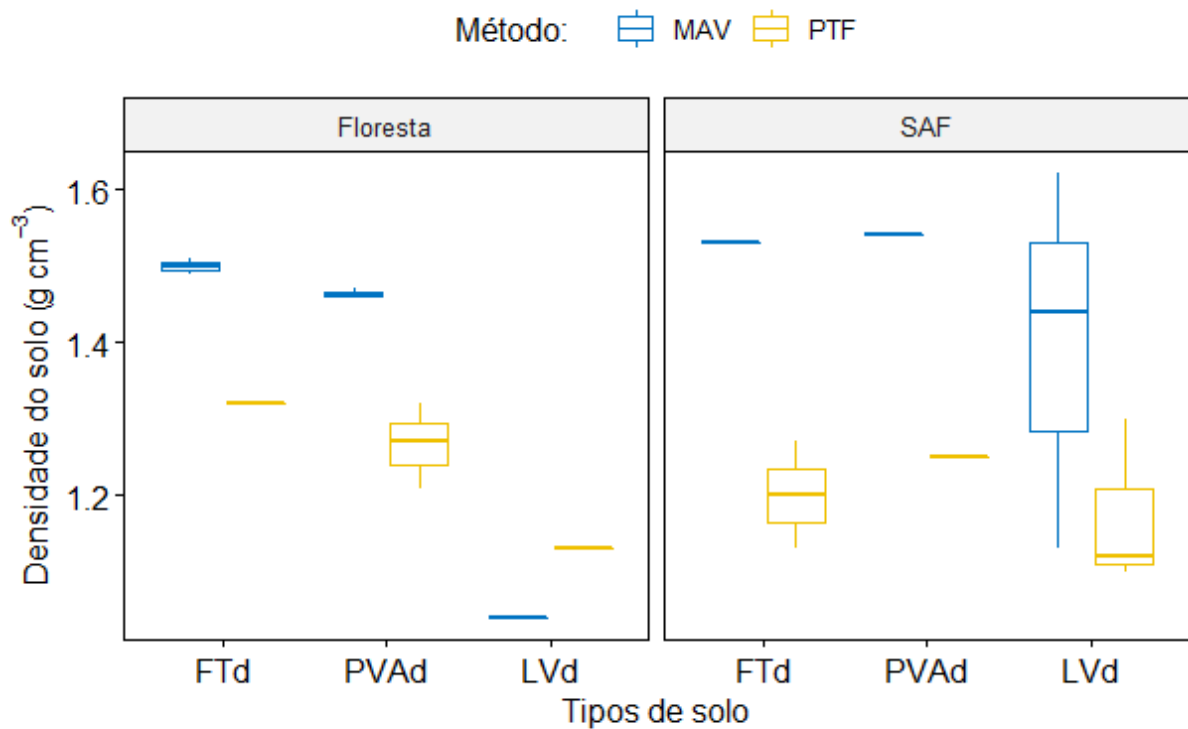
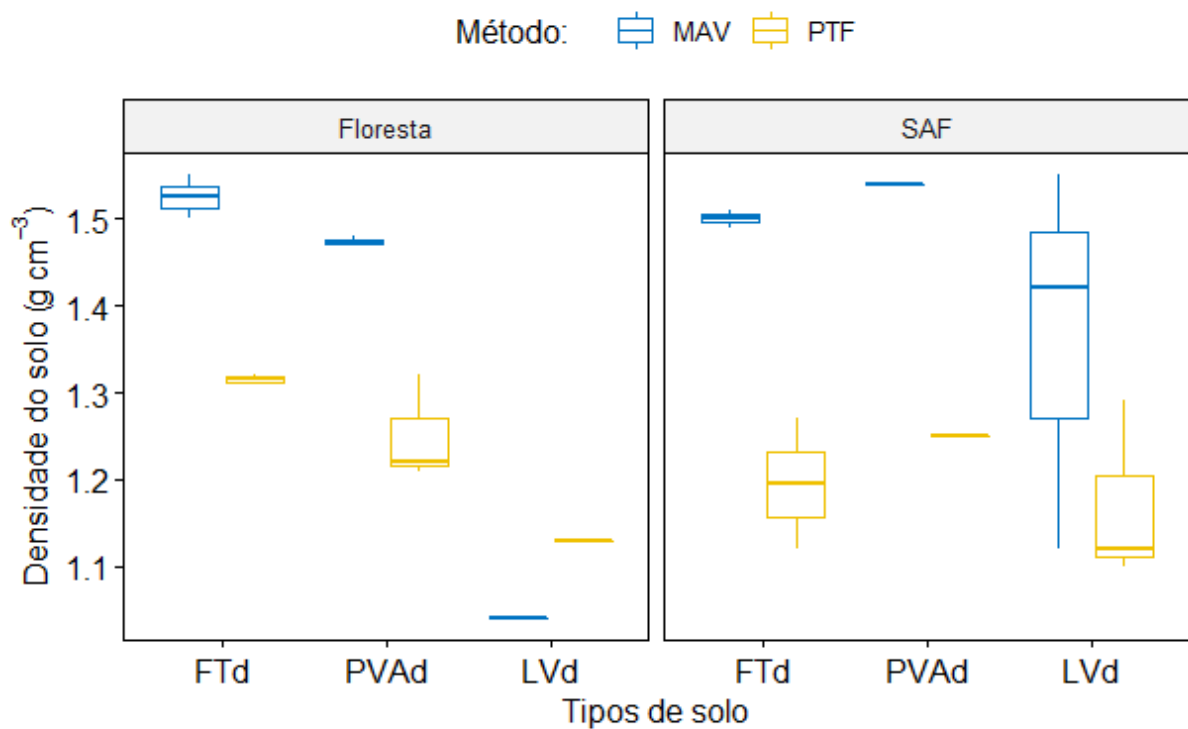


Figura 4. Distribuição das médias de densidade do solo pelo método do anel volumétrico (MAV) e função de pedotransferência (PTF) em três classes de solo sob floresta e SAF, nas camadas de 60-80 cm (A) e 80-100 cm de profundidade (B), em Nova Califórnia, município de Porto Velho-RO.

Ribon et al. (2014) e Ramos (2017) afirmam que funções de pedotransferências são métodos que apresentam boa acurácia na geração de atributos físicos do solo para classes de LATOSSOLO e ARGISSOLO. Gomes et al. (2015), comparando diversos modelos de pedotransferência, verificaram que o método proposto por Benites et al. (2007), tende a subestimar valores da densidade do solo em comparação com a densidade medida em campo. E ressaltam a importância de modelos simplificados com o mínimo de variáveis, a fim de minimizar os erros, e com equações que se adequem as características locais.

Embora a densidade por PTF apresente estimativa de valores menores que pelo MAV, é possível aplicar o método PTF para comparar os efeitos de classes de solos e usos da terra neste atributo do solo. Deve-se considerar este fato para camadas de 20 cm até 1 m de profundidade. Nas camadas superficiais (até 20 cm) os métodos de determinação da densidade do solo MAV e PTF são equivalentes.

Destaca-se pelos resultados apresentados na tabela 2, que independente do método de determinação e das classes de solo, os valores de densidade do solo foram estatisticamente iguais para áreas de floresta e de sistemas agroflorestais.

O carbono do solo obtido por meio da densidade medida (MAV) e estimada (PTF) atenderam aos pressupostos da normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$) e homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene ($p > 0,05$). Ao comparar as médias verificou-se que não houve significância ($p > 0,05$) entre os estoques de carbono acumulado até 1 m de profundidade (Tabela 3). As variações nos valores matemáticos podem ser explicadas devido aos componentes da equação: densidade do solo, teor de C, espessura dos horizontes e massa de solo, como discutido por Ellert e Bettany (1995), Moraes et al. (1996) e Fernandes e Fernandes (2013).

O estoque de carbono acumulado obtido pelo método MAV corrigido em comparação ao estoque de carbono acumulado estimado PTF corrigido também não apresentou significância ($p > 0,05$) entre as áreas de SAFs amostradas (Tabela 3).

Tabela 3 – Comparação entre os métodos de cálculo de estoque de carbono (C) até 1 m de profundidade, obtido por meio da densidade medida com anel volumétrico (MAV) com o carbono calculado por meio da densidade estimada por pedotransferência (PTF); e estoque de carbono por MAV corrigido com estoque de C obtido por PTF corrigida, para o uso da terra e tipo de solo, em Nova Califórnia, município de Porto Velho-RO

Uso da terra / Solo	Estoque C D _{MAV}	Estoque C D _{PTF}		Estoque C D _{MAV} corrigida	Estoque C D _{PTF} corrigida	
----- C acumulado (1 m): Mg ha ⁻¹ -----						
SAF FTd	117,8	106,2	ns	100,3	89,8	ns
Floresta FTd	74,1	77,6	ns			
SAF PVAd	65,7	60,0	ns	50,15	46,0	ns
Floresta PVAd	62,2	67,2	ns			
SAF 1 LVd	103,0	99,8	ns	89,7	87,03	ns
SAF 2 LVd	131,7	106,7	ns	103,6	84,2	ns
Floresta LVd	108,2	109,0	ns			

Outras comparações entre métodos de cálculo de estoque de C nos SAFs amostrados indicam estatisticamente que os estoques de C obtidos pelo MAV são iguais aos obtidos pela equação MAV corrigida ($p > 0,05$); e que o mesmo resultado ocorre quando se analisa estoque de C por PTF e aquele por PTF corrigida (Tabela 4). Em valores absolutos, as correções aplicadas tendem a estimar menores valores de carbono no solo, pois utilizam como parâmetros de correção o teor de argila da área de floresta adjacente ao SAF, para determinar o carbono orgânico corrigido (MORAES et al., 1996); e a densidade do solo da área de floresta (FERNANDES e FERNANDES, 2013), para corrigir a espessura de cada camada do solo sob SAF.

Trabalhos sobre estimativa do estoque de carbono consideram aplicar fórmulas de correção. Veldkamp (1994) afirma que estimativas sem correção dos estoques de carbono podem gerar interpretações equivocadas, pois práticas de manejo em determinado sistema alteram a densidade do solo em comparação a uma vegetação nativa. Costa et al. (2009), aplicando método de correção do estoque de carbono, não encontram diferenças para distintas áreas de uso.

Tabela 4 - Comparação entre os métodos de cálculo de estoque de carbono (C) até 1 m de profundidade, obtido por meio da densidade medida com anel volumétrico (MAV) com o carbono calculado por MAV corrigido; e estoque de C calculado com densidade estimada por pedotransferência (PTF) com estoque de carbono obtido por densidade PTF corrigida, para sistemas agroflorestais (SAF) em diferentes tipos de solo, em Nova Califórnia, município de Porto Velho-RO

Uso da terra / Solo	Estoque C DMAV	Estoque C DMAVcorrigida		Estoque C DPTF	Estoque C DPTFcorrigida	
----- C acumulado (1 m): Mg ha ⁻¹ -----						
SAF FTd	117,8	100,3	ns	106,2	89,8	ns
SAF 1 PVAd	65,7	50,2	ns	60,0	46,0	ns
SAF 1 LVd	103,0	89,7	ns	99,8	87,0	ns
SAF 2 LVd	131,7	103,6	ns	106,7	84,2	ns

A densidade do solo constitui importante parâmetro para a estimativa do carbono estocado. Sua variação ao longo das camadas do solo reflete diretamente no acúmulo de matéria orgânica e teor de carbono.

De forma geral, não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as densidades estimadas por meio de pedotransferência (PTF), entre os usos SAFs e Floresta. Maior destaque dá-se ao tipo de solo, onde os SAF1 LVd e Floresta LVd não diferiram entre si e apresentaram menor densidade estimada do solo em relação as demais áreas (Figura 5). A amplitude de valores foi de 1,04 a 1,33 g.cm⁻³ para os SAFs e 1,03 a 1,33 g.cm⁻³ para as áreas de floresta. A similaridade entre as densidades no SAF e na Floresta possivelmente está associada a baixa atividade de manejo e tratos culturais e ao tempo de 28 anos de estabelecimento dos sistemas agroflorestais. Os LATOSSOLOS sob floresta e SAFs eram mais desenvolvidos e estruturados que os solos nas demais áreas de estudo.

Nos sistemas SAF 1 e 2 sobre LATOSSOLO (LVd), SAF 1 PVAd e Floresta PVAd não houve significância ($p > 0,05$) entre as camadas. Em geral os LATOSSOLOS são bastante uniformes em todo o perfil, principalmente quanto a atributos como cor e textura e os ARGISSOLOS, embora com diferenças entre as camadas superficiais e sub-superficiais (ANJOS et al., 2013), neste caso foram uniformes.

O destaque ocorreu para o SAF sobre PLINTOSSOLO (FTd), que obteve variação acentuada na camada de 10-20 cm e o SAF 2 PVAd que também apresentou maior densidade até 40 cm e menor nas camadas inferiores (Figura 5). Locatelli et al. (2016), constataram diferenças entre SAFs e florestas nativas somente na camada

inicial de 0 a 5 cm, 1,1 a 0,7 g.cm⁻³, respectivamente. E Silva et al. (2011), avaliando a densidade do solo entre sistemas agroflorestais e floresta nativa, constataram diferenças significativas entre usos e camadas iniciais, atribuindo às práticas de manejo empregadas nos SAFs como indicadores de compactação do solo nas primeiras camadas.

Por meio da densidade estimada por pedotransferência (PTF) para realizar o cálculo do carbono estocado até 1 m de profundidade, verificou que as áreas de floresta e SAFs sobre LATOSSOLOS e o SAF FTd apresentaram valores superiores as demais áreas (Figura 6) com estoques de 105,41 Mg.ha⁻¹ no PLINTOSSOLO até 120,36 Mg.ha⁻¹ no LVd. Rocha et al. (2014), também não constaram diferença significativa entre SAF e floresta nativa para a classe LVd. Em áreas de florestas plantadas com eucalipto nos LATOSSOLOS Vermelhos da região centro-leste do Estado de Minas Gerais, Gatto et al. (2010) obtiveram 183,07 Mg.ha⁻¹ de C estocado até 1,0 metro. O valor elevado pode ser explicado pelo acúmulo de biomassa nestas áreas, as quais foram submetidas a rotatividade de tratos culturais como podas e deposição de biomassa frequentes.

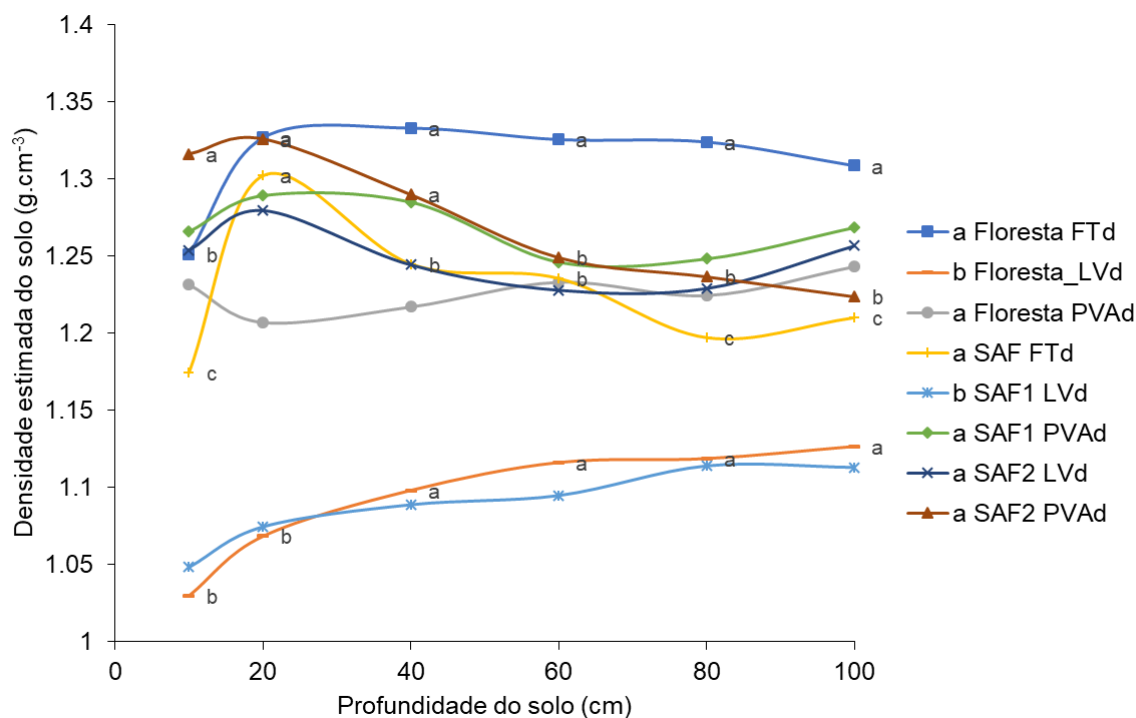


Figura 5. Densidade do solo estimada por meio de pedotransferência (PTF) em diferentes sistemas de uso da terra e profundidades do solo, no distrito de Nova Califórnia, Rondônia. Letras iguais no gráfico para camadas e na legenda para usos não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p > 0,05$).

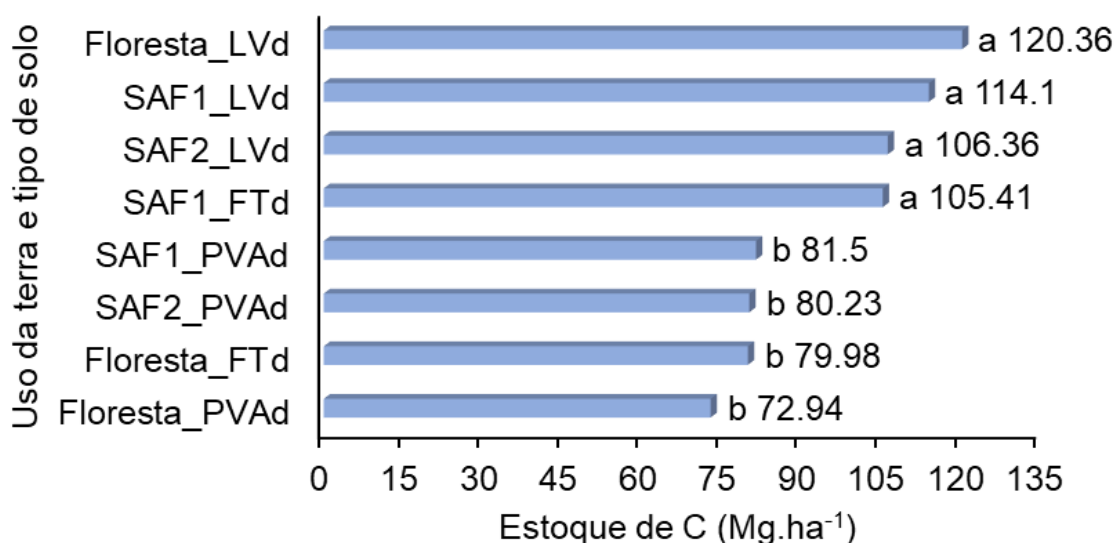


Figura 6. Estoque de C até 1 m de profundidade pelo método da densidade estimada por pedotransferência (Mg.ha⁻¹), no distrito de Nova Califórnia, Rondônia. Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p > 0,05$).

Com relação ao estoque de carbono até 1 m de profundidade pelo método da densidade estimada (PTF) corrigida, as áreas de LATOSSOLOS, tanto nos SAFs quanto sob floresta apresentaram valores superiores as demais (Figura 7), com estoque entre 104,76 e 121,81 Mg.ha⁻¹.

Os LATOSSOLOS sobre SAFs e floresta estudados possuem características que lhes permitem estocar mais C em profundidade. A ausência de camadas de impedimento facilita a ocorrência de raízes até as camadas mais profundas e portanto, a deposição em subsuperfície com a morte e renovação destas. Embora nos ARGISSOLOS as camadas superficiais sejam mais arenosas, por vezes a mudança abrupta de textura e o acréscimo no teor de argila em subsuperfície, pode dificultar o acúmulo de C.

O estoque de carbono (densidade estimada) variou em todas as camadas de cada sistema de uso da terra e tipo de solo. Na camada inicial (0-10 cm) os maiores estoques foram observados no SAF1 LVd 28,18 Mg.ha⁻¹, Floresta LVd 26,63 Mg.ha⁻¹, SAF FTd 25,52 Mg.ha⁻¹, Floresta FTd 24,38 Mg.ha⁻¹ e SAF1 PVAd 23,51 Mg.ha⁻¹ (Tabela 5).

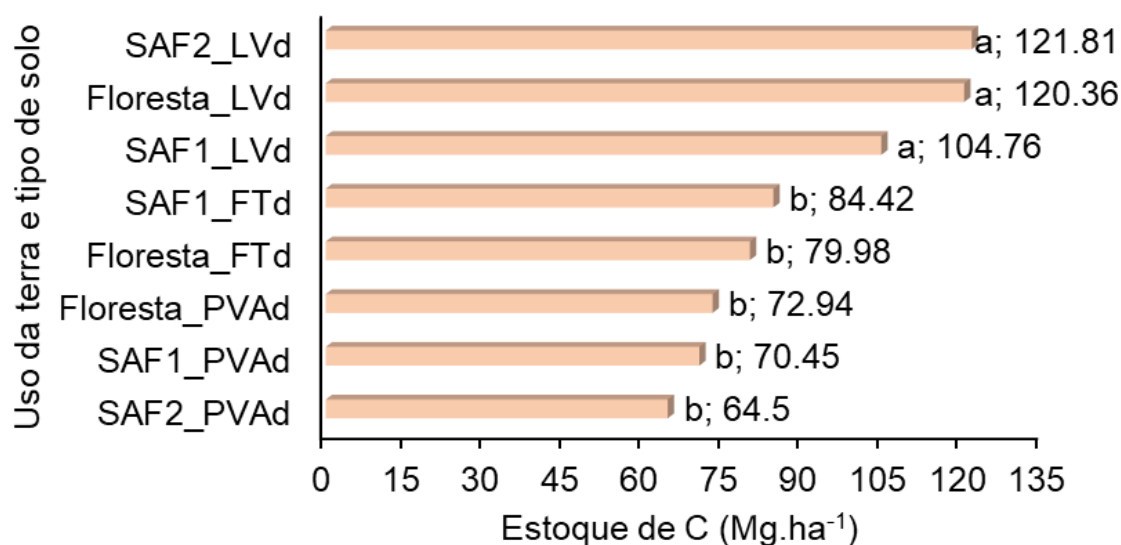


Figura 7. Estoque de C até 1 m de profundidade pelo método da densidade estimada por pedotransferência corrigida (Mg.ha⁻¹), no distrito de Nova Califórnia, Rondônia. Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p > 0,05$).

Em geral, áreas de SAFs e floresta em LATOSSOLO e ou PLINTOSSOLO obtiveram maior acúmulo de carbono nas seis profundidades. O destaque principal foi a Floresta LVd que obteve superioridade nas camadas de 10 a 40 cm e apresentou-se sempre entre o grupo de usos e tipos de solo com os maiores estoques. Em outras localidades, áreas de floresta primária sobre LATOSSOLOS podem ser consideradas como parâmetros de referência para avaliação e monitoramento dos maiores potenciais de estoque de C em determinado território.

Os ARGISSOLOS sob áreas de floresta e SAFs tiveram os menores estoques de C acumulado deste 10 cm até 1 m de profundidade. Os solos argilosos apresentaram baixo estoque de C devido as suas características naturais e por serem sensíveis a mudanças no uso da terra, podendo ao longo do tempo perder o carbono estocado (Oliveira et al., 2015). Tal fato possivelmente ocorre pela dificuldade de ingresso de C em profundidade e pelo risco de erosão da camada superficial.

Os ARGISSOLOS, tanto em área de SAFs quanto floresta tendem a ter decréscimo do acúmulo de carbono a profundidades até 1 m independente do sistema de uso da terra, pois SAF e floresta nativa PVAd apresentaram diminuição gradual de carbono estocado ao longo da profundidade, especialmente a partir de 60cm (Tabela 5).

O estoque de carbono corrigido (Estoque C DPTF corrigida) apresentou pouca variação nas camadas abaixo de 20 cm em relação ao uso da área, em que os LVd foram superiores aos PVAd e FTd, tanto em floresta que sob SAFs. O carbono estocado no SAF FTd não variou em nenhuma camada, até 1 m. E nos demais tipos de solo os teores diminuem geralmente abaixo de 40 cm, com destaque para a camada superficial de 0-10 cm.

De forma geral, a classe dos LATOSSOLOS obteve maior acúmulo de carbono, pois seus atributos físicos favorecem a ocorrência de maiores teores de matéria orgânica ao longo do perfil do que as demais classes de solo estudadas. Gatto et al. (2010) encontraram resultados similares para profundidade até 1 m, com LATOSSOLO apresentando maiores estoques em relação a outras classes.

Para todos os usos e tipos de solo, o teor de matéria orgânica foi maior na camada de 0-10 cm. E o destaque foi para a floresta LVd com o maior teor entre os usos, juntamente com os SAFs LVd e SAFs FTd dos 40 cm até 1,0 m de profundidade.

A densidade estimada pelo método de Benites et al. (2007), depende das variáveis carbono orgânico, argila e da soma de bases (K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+). Apesar de apresentar fácil aplicabilidade, é necessário atenção na obtenção das variáveis respostas, para não ocasionar erros de estimativa.

Tabela 5. Estoque de carbono (Estoque C DPTF), estoque de carbono corrigido (Estoque C DPTF corrigida) e matéria orgânica (MO) para diferentes camadas de solos e usos da terra, no distrito de Nova Califórnia, Rondônia. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p>0,05$). Letras minúsculas entre usos da terra e tipo de solo por camada; e maiúsculas entre camadas por uso da terra e tipo de solo

Uso / Camada	Estoque C	Estoque C	MO
	DPTF	DPTF _{corrigida}	(dag.kg ⁻¹)
(Mg.ha ⁻¹)			
	0-10 cm		
Floresta FTd	24,38 a A	24,38 a A	3,36 c A
Floresta LVd	26,03 a A	26,03 a A	4,37 a A
Floresta PVdf	20,81 b A	20,81 b A	2,91 c A
SAF1 LVd	28,18 a A	25,85 a A	4,64 a A
SAF1 PVAd	23,51 a A	16,91 b A	3,23 c A
SAF2 LVd	20,43 b A	30,20 a A	2,82 c A
SAF2 PVAd	18,28 b A	13,23 b A	2,42 c A
SAF FTd	25,52 a A	18,07 b A	3,83 b A

(Continua)

Uso / Camada	(Conclusão)		
	Estoque C	Estoque C	MO
	D _{PTF}	D _{PTF} corrigida	(dag.kg ⁻¹)
(Mg.ha ⁻¹)			
		10-20 cm	
Floresta FTd	12,39 b C	12,39 b C	1,61 c B
Floresta LVd	20,29 a B	20,29 a B	3,29 a B
Floresta PVAf	14,65 b B	14,66 a A	2,16 c B
SAF1 LVd	15,89 b C	14,51 a B	2,55 b B
SAF1 PVAf	14,57 b C	9,73 b B	1,95 c B
SAF2 LVd	12,45 b B	18,63 a B	1,68 c B
SAF2 PVAf	9,81 b B	6,47 b B	1,28 c B
SAF FTd	13,07 b B	12,21 b A	1,75 c B
		20-40 cm	
Floresta FTd	16,61 c B	16,60 c B	1,08 b B
Floresta LVd	28,21 a A	28,20 b A	2,22 a C
Floresta PVAf	20,67 b A	20,67 c A	1,50 b C
SAF1 LVd	23,79 b B	25,45 b A	1,89 a C
SAF1 PVAf	17,01 c B	15,36 c A	1,14 b C
SAF2 LVd	22,26 b A	33,63 a A	1,55 b B
SAF2 PVAf	16 c A	14,23 c A	1,08 b B
SAF FTd	21,13 b A	16,56 c A	1,48 b B
		40-60 cm	
Floresta FTd	11,37 b C	11,37 b B	0,74 b C
Floresta LVd	19,17 a B	19,16 a B	1,48 a D
Floresta PVAf	10,05 b C	10,04 b B	0,70 b D
SAF1 LVd	21,33 a B	18,79 a B	1,68 a C
SAF1 PVAf	11,71 b C	10,04 b B	0,81 b C
SAF2 LVd	21,2 a A	24,78 a B	1,48 a B
SAF2 PVAf	13,62 b A	12,28 b A	0,94 b B
SAF FTd	17,12 a B	14,11 b A	1,21 a B
		60-80 cm	
Floresta FTd	9,29 b C	9,29 b B	0,61 b C
Floresta LVd	17,39 a B	17,39 a B	1,34 a D
Floresta PVAf	5,82 b D	5,82 b B	0,41 b D
SAF1 LVd	16,42 a C	14,99 a B	1,28 a C
SAF1 PVAf	9,7 b D	8,56 b B	0,67 b C
SAF2 LVd	14,28 a B	15,36 a B	1,01 a B
SAF2 PVAf	10,6 b B	9,27 b B	0,74 b B
SAF FTd	15,66 a B	11,09 b A	1,14 a B
		80-100 cm	
Floresta FTd	7,12 b C	7,12 b B	0,47 b C
Floresta LVd	14,89 a B	14,89 a B	1,14 a D
Floresta PVAf	3,82 b D	3,82 b B	0,26 b D
SAF1 LVd	15,63 a C	14,02 a B	1,21 a C
SAF1 PVAf	6,92 b D	6,26 b B	0,47 b C
SAF2 LVd	15,6 a B	18,01 a B	1,07 a B
SAF2 PVAf	9,51 b B	7,93 b B	0,67 b B
SAF FTd	12,23 a B	9,71 b A	0,88 a B

A densidade do solo tende a aumentar em profundidades maiores, porém nas áreas de Floresta e SAF1 PVAd, SAF1 e SAF2 LVd não houve diferença significativa entre suas camadas (Tabela 6), com variações de 1,05 a 1,28 g.cm⁻³. Nas áreas de floresta FTd e LVd se observou menor densidade na camada de 0-10 cm. E no SAF PVAd maior densidade até 40 cm e menores valores até 1 metro, o que indica sinais de compactação devido ao manejo na área ou adensamento natural. O mesmo ocorreu para o SAF FTd na camada de 10-20 cm.

Os LATOSSOLOS sob floresta e SAF 1 foram as áreas com menor densidade até 60 cm, sem haver diferença significativa entre usos; tipos de solo até 1 metro de profundidade. Portanto, nas camadas subsuperficiais, variáveis como teor de matéria orgânica ao longo do perfil são preponderantes para estimativa do estoque de C.

O teor de carbono orgânico e argila variaram entre os usos em todo perfil e apresentaram os maiores teores nos LVd, associados aos menores valores de densidade estimada. Pádua et al. (2015), entre várias ordens de solos amostradas, constataram que somente os LATOSSOLOS apresentaram estrutura granular, que proporciona simultaneamente maior macro e microporosidade e que resultam em menor densidade do solo. O sistema SAF1 LVd obteve maior proporção de argila em todas as camadas entre as demais áreas.

Em geral, os teores de argila foram sempre maiores em profundidade, seja a partir de 20 cm ou de 40 cm, dependendo do tipo de solo. Os teores das bases trocáveis potássio (K⁺), cálcio (Ca⁺⁺) e magnésio (Mg⁺⁺), mantêm-se uniformes entre as camadas, com superioridade de 0-10 cm (Tabela 6). Portanto, em cada tipo de solo, as variações nos teores de carbono orgânico e de argila implicam diretamente nos valores de densidade estimada por pedotransferência. Ramos (2017) estudando funções de pedotransferência verificou maior correlação da argila na determinação da densidade estimada.

Os sistemas agroflorestais presentes no ramal Baixa Verde, no distrito de Nova Califórnia, apresentam potencial similar ao de uma floresta nativa para estocar carbono no solo até 1 metro de profundidade. Independente do tipo de solo, a média de carbono acumulado nos SAFs foi de 89,39 Mg.ha⁻¹ e de 91,09 Mg.ha⁻¹ nas áreas de floresta nativa.

Tabela 6 - Densidade estimada (D_{PTF}), carbono orgânico (CO), teores de argila, K^+ : potássio, Ca^{++} : cálcio e Mg^{++} : magnésio, para diferentes camadas de solos e usos, no distrito de Nova Califórnia, Rondônia. Letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p>0,05$). Letras minúsculas entre o uso da terra por camada e maiúscula entre camadas por uso da terra

Uso / Camada	D_{PTF}	CO	Argila	K^+	Ca^{++}	Mg^{++}
	$g.cm^{-3}$		$g.kg^{-1}$	$mg.dm^{-3}$		$cmol_c.dm^{-3}$
(Continua)						
0-10						
Floresta FTd	1,25 a B	19,49 c A	260,50 c B	53,00 b ns	1,44 c A	0,62 c ns
Floresta LVd	1,03 b B	25,32 a A	609,00 a B	144,00 a A	2,34 b A	0,96 c A
Floresta PVAd	1,23 a ns	16,91 c A	384,97 b D	115,35 a A	3,14 b A	0,95 c A
SAF1 LVd	1,05 b ns	26,89 a A	617,50 a B	50,50 b ns	5,52 a A	3,14 a A
SAF1 PVAd	1,27 a ns	18,71 c A	286,00 c C	54,00 b ns	2,88 b A	1,76 b A
SAF2 LVd	1,25 a ns	16,36 c A	327,50 c B	31,00 b ns	1,73 c A	1,00 c A
SAF2 PVAd	1,32 a A	14,04 c A	271,50 c C	26,50 b ns	2,56 b A	1,68 b A
SAF FTd	1,17 a C	22,19 b A	394,50 b C	35,50 b ns	3,51 b A	0,88 c ns
10-20						
Floresta FTd	1,33 a A	9,34 c B	290,00 d B	29,50 b ns	0,36 ns B	0,24 ns ns
Floresta LVd	1,07 b B	19,08 a B	630,50 b B	117,00 a A	1,10 ns B	0,52 ns B
Floresta PVAd	1,21 a ns	12,57 c B	478,25 c C	142,72 a A	0,82 ns B	0,36 ns B
SAF1 LVd	1,07 b ns	14,79 b B	710,00 a A	18,50 b ns	1,39 ns B	0,88 ns B
SAF1 PVAd	1,29 a ns	11,31 c B	344,00 d C	31,00 b ns	1,04 ns B	0,78 ns B
SAF2 LVd	1,28 a ns	9,74 c B	382,00 d B	19,50 b ns	0,62 ns B	0,39 ns B
SAF2 PVAd	1,33 a A	7,40 c B	336,50 d C	22,50 b ns	0,68 ns B	0,34 ns B
SAF FTd	1,30 a A	10,15 c B	343,00 d C	16,00 b ns	1,63 ns B	0,34 ns ns
20-40						
Floresta FTd	1,33 a A	6,24 b B	333,50 d B	16,50 b ns	0,08 ns B	0,14 ns ns
Floresta LVd	1,10 b A	12,85 a C	683,50 a A	83,00 a B	0,58 ns B	0,32 ns B
Floresta PVAd	1,22 a ns	8,70 b C	523,65 b B	107,53 a A	0,34 ns B	0,15 ns B
SAF1 LVd	1,09 b ns	10,93 a C	740,50 a A	13,00 b ns	0,70 ns B	0,38 ns C
SAF1 PVAd	1,28 a ns	6,61 b C	429,50 c B	23,50 b ns	0,29 ns B	0,43 ns B
SAF2 LVd	1,24 a ns	8,96 b B	457,50 c A	11,50 b ns	0,19 ns B	0,13 ns B
SAF2 PVAd	1,29 a A	6,24 b B	421,50 c B	16,00 b ns	0,20 ns B	0,14 ns B
SAF FTd	1,24 a B	8,56 b B	492,50 b B	14,50 b ns	1,63 ns B	0,54 ns ns
40-60						
Floresta FTd	1,33 a A	4,29 b C	386,00 c A	10,00 ns ns	0,03 ns B	0,13 ns ns
Floresta LVd	1,12 b A	8,58 a D	724,00 a A	65,00 ns B	0,19 ns B	0,19 ns B
Floresta PVAd	1,23 a ns	4,10 b D	576,30 b A	41,06 ns B	0,10 ns B	0,07 ns B
SAF1 LVd	1,09 b ns	9,74 a C	750,50 a A	12,50 ns ns	0,67 ns B	0,29 ns C
SAF1 PVAd	1,25 a ns	4,70 b C	543,00 b A	18,00 ns ns	0,07 ns B	0,49 ns B
SAF2 LVd	1,23 a ns	8,58 a B	495,50 b A	9,00 ns ns	0,08 ns B	0,08 ns B
SAF2 PVAd	1,25 a B	5,45 b B	517,00 b A	17,50 ns ns	0,07 ns B	0,14 ns B
SAF FTd	1,24 a B	6,99 a B	525,00 b B	12,00 ns ns	0,62 ns C	0,40 ns ns

(Conclusão)

Uso / Camada	D _{PTF} g.cm ⁻³	CO	Argila	K ⁺ mg.dm ⁻³	Ca ⁺⁺ cmol _c .dm ⁻³	Mg ⁺⁺ cmol _c .dm ⁻³
60-80						
Floresta FTd	1,32 ns A	3,51 b C	405,50 c A	10,50 b ns	0,01 ns B	0,19 ns ns
Floresta LVd	1,12 ns A	7,77 a D	734,00 a A	42,50 a B	0,17 ns B	0,18 ns B
Floresta PVAd	1,22 ns ns	2,38 b D	626,80 b A	37,15 b B	0,05 ns B	0,05 ns B
SAF1 LVd	1,11 ns ns	7,40 a C	756,00 a A	7,50 b ns	0,52 ns B	0,26 ns C
SAF1 PVAd	1,25 ns ns	3,89 b C	554,50 b A	17,50 b ns	0,03 ns B	0,49 ns B
SAF2 LVd	1,23 ns ns	5,83 a B	547,50 b A	8,50 b ns	0,03 ns B	0,08 ns B
SAF2 PVAd	1,24 ns B	4,29 b B	564,50 b A	13,50 b ns	0,06 ns B	0,13 ns B
SAF FTd	1,20 ns C	6,61 a B	604,00 b A	13,50 b ns	0,35 ns C	0,31 ns ns
80-100						
Floresta FTd	1,31 ns A	2,73 b C	452,00 c A	10,00 ns ns	0,01 ns B	0,20 ns ns
Floresta LVd	1,13 ns A	6,61 a D	741,00 a A	28,50 ns B	0,18 ns B	0,18 ns B
Floresta PVAd	1,24 ns ns	1,57 b D	605,69 b A	43,01 ns B	0,05 ns B	0,05 ns B
SAF1 LVd	1,11 ns ns	7,02 a C	765,00 a A	9,00 ns ns	0,42 ns B	0,31 ns C
SAF1 PVAd	1,27 ns ns	2,73 b C	536,50 c A	18,50 ns ns	0,02 ns B	0,46 ns B
SAF2 LVd	1,26 ns ns	6,21 a B	484,50 c A	9,00 ns ns	0,02 ns B	0,07 ns B
SAF2 PVAd	1,22 ns B	3,89 b B	598,50 b A	12,50 ns ns	0,05 ns B	0,14 ns B
SAF FTd	1,21 ns C	5,08 a B	603,50 b A	10,00 ns ns	0,14 ns C	0,18 ns ns

5 CONCLUSÕES

Sistemas Agroflorestais com idade de 28 anos no ramal Baixa Verde (Nova Califórnia, Rondônia), estocam carbono no solo até um metro de profundidade de maneira similar a áreas de florestas nativas adjacentes.

LATOSSOLO VERMELHO Distrófico apresenta maior acúmulo de carbono até um metro de profundidade do que ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO plintossóilico e PLINTOSSOLO ARGILÚVICO, tanto em áreas de sistemas agroflorestais com 28 anos quanto em áreas de floresta primária.

Com a finalidade de comparar os efeitos de usos da terra, o estoque de carbono no solo pode ser calculado a partir de valores de densidade do solo estimados por equação de pedotransferência, de forma semelhante ao estoque de carbono calculado com densidade estimada pelo método do anel volumétrico.

REFERÊNCIAS

- AGRICULTURA DE BAIXA EMISSÃO DE CARBONO (PLANO ABC). **Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**. Brasília, DF, 2012.
- AL-SHAMMARY, A.A.G.; KOUZANI, A.Z.; KAYNAK, A.; KHOO, S.Y.; NORTON, M.; GATES, W. Soil bulk density estimation methods: a review. **Pedosphere**, v. 28, n. 4, p. 581–596, 2018.
- ALTIERE, M. **Agroecologia**: bases científicas para uma agricultura sustentável. 3 ed. rev. ampl. – São Paulo, Rio de Janeiro: Expressão Popular, AS-PTA, 2012.
- AMADO, T. J. C. et al. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 189-197, 2001.
- ANDERSON, T. W.; DARLING, D. A. Asymptotic theory of certain goodness-of-fit criteria based on stochastic processes. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 23, p. 193-212, 1952.
- ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: rumo a uma economia dos ecossistemas. **Texto para Discussão**, IE/ UNICAMP, n. 159, 2009.
- ANJOS, L.H.C. dos; SILVA, L.M. da; WADT, P.G.S.; LUMBRERAS, J.F.; PEREIRA, M.G. (eds.) **Guia de campo da IX Reunião Brasileira de Classificação e correlação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 204 p.
- 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/MG, v. 31, n. 5, p. 1099-1108, out./nov. 2007.
- ARMACOLO, N. N. et al. Emissões de gases de efeito estufa em sistema agroflorestal na região da Amazônia Matogrossense. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 35. 2015. **Anais...** Natal, 2015.
- BALBINO, L. et al. Agricultura sustentável por meio da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (iLPF). **Informações Agronômicas**, v. 138, p. 1-18, 2012.
- BARROS, H. S.; FEARNside, P.M. Pedo-transfer functions for estimating soil bulk density in central Amazonia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 397-407, 2015.
- BATJES, N. H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. **European Journal of Soil Science**, v. 47, n. 2, p. 151-163, Jun. 1996.

BATJES, N. H. **Management options for reducing CO₂-concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil.** Report 410-200—031, Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change & Technical Paper 30, International Soil Reference and Information Centre, Wageningen, 1999.

BATJES, N. H.; DIJKSHOORN, J. A. Carbon and nitrogen stocks in the soils of the Amazon Region. **Geoderma**, v. 89, p. 273-286, 1999.

BENITES, V. de M.; MACHADO, P. L. O. A.; FIDALGO, E. C. C.; COELHO, M. R.; MADARI, B. E. Pedotransfer functions for estimating bulk density of Brazilian soils. **Geoderma**, v. 139, n.1/2, p. 90-97, Apr. 2007.

BERNOUX, M. et al. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. **Geoderma**, v. 82, n. 1-3, p 43-58, 1998.

BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. **Advances in Soil Science**, v. 9, p. 177-213, 1989

BRIANEZI, D. et al. Balanço de emissões e remoções de gases de efeito estufa no campus da Universidade Federal de Viçosa. **Floresta e Ambiente**. V. 21, n. 2, p. 181-191, 2014.

BRITO, E. de S. et al. Estoques de carbono em solos sob florestas primárias no Sudoeste da Amazônia. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. 33, 2010. **Anais...** Uberlândia, 2010.

CASTRO NETO, F. de et al. Balanço de carbono – viabilidade econômica de dois sistemas agroflorestais em Viçosa, MG. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 1-9, 2017.

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

CERRI, C. C. et al. Greenhouse gas mitigations in Brasil for land-use change, livestock and agriculture. **Scientia Agricola**, v. 67, n, 1, p. 102-116, 2010.

CHEN, I. C. et al. Rapid Range Shifts os Species Associated with High Levels of Climate Warming. **Science**, Washington, v. 333, n. 6045, p. 1024-1026, 2011.

CHAUDHARI, P. R. et al. Soil bulk density as related to soil texture, organic matter content and available total nutrients of Coimbatore Soil. **Int. J. Sci. Res. Pub.**, n. 3, p. 1-8, 2013.

CHIMENTO, C.; AMADUCCI, S. Characterization of fine root system and potential contribution to soil organic carbon of six perennial bioenergy crops. **Biomass and Bioenergy**, v. 83, p. 116-122, 2015.

COTTA, M. K.; GONÇALVES, L. A.; NOGUEIRA, H. Biomass quantification and emission reduction certificates for rubber – cocoa Intercropping. **Revista Árvore**, v. 32, n. 8, p. 969-978, 2008.

COSTA, O. V. et al. Estoque de carbono do solo sob pastagem em área de Tabuleiro Costeiro no Sul da Bahia. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p. 1137-1145, 2009.

COUTO, W. H. de. **Indicadores edáficos e potencial agrícola em áreas do Reflorestamento Econômico Consorciado e Adensado (RECA) na Amazônia Ocidental**. 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de Pós-Graduação em Agronomia. Seropédica, 2010.

DALY, H. E.; FARLEY, J. **Ecological economics: principles and applications**. 2 ed. Washington, D.C.: Island Press, 2010.

DEFILIPPO, B. V.; RIBEIRO, A. C. **Análise química do solo** (Metodologia - 2ª edição). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997.

DIAS, I. P. et al. Avaliação da estimativa de fixação de carbono em sistemas agroflorestais na região amazônica. **Revista Verde**, Pombal, v. 10, n. 5, p. 7-10, 2015.

DIXON, R. K. et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystem. **Science**, v. 263, p. 185-180, 1994.

DIXON, R. K. Agroforestry Systems – sources or sinks of greenhouse gases. **Agroforestry systems**, v. 31, n. 2, p. 99-116, 1995.

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, n. 4, p. 529-538, 1995.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997

ESWARAN, H.; VAN DEN BERG, E.; REICH, P. Organic carbon in soils of the world. **Soil Science of America Journal**, v. 57, p. 192-194, 1993.

FERNANDES, F.A.; FERANANDES, A.H.B.M. **Atualização dos métodos de cálculo dos estoques de carbono do solo sob diferentes condições de manejo**. Corumbá-MS: Embrapa Pantanal, 2013. 5 p. (Comunicado Técnico, 95. Embrapa Pantanal)

FIDALGO, R. G. C.; BENITES, V. de M.; MACHADO, P. I. O. de A.; MADARI, B. E.; COELHO, M. R.; MOURA, I. B.; LIMA, C. X. Estoque de carbono nos solos do Brasil. (**Boletim de pesquisa e desenvolvimento/Embrapa Solos**), 2007.

GAMA-RODRIGUES, E. F. et al. Carbon storage in soil size fractions under two cacao agroforestry systems in Bahia, Brazil. **Environmental Management**, v. 45, p. 274-283, 2010.

GATTO, A.; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R. da; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; VILLANI, E. M. de 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, A. da S.; FERREIRA, A. C. S.; ANTUNES, M. A. H.; CEDDIA, M .B; ANJOS, L. H. C. dos. Função de pedotransferência para estimativa da densidade do solo na Região Norte Fluminense (RJ). In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 35, **Anais..** Natal, 2015.

GREENLAND, D. J.; WILD, A.; ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics – from myth to complex reality. In: LAL, R.; SANCHEZ, P. A. **Myths and science of soils of the tropics.** Wisconsin: SSSA, p. 17-33, 1992.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA–INMET. **Dados históricos anuais.** Disponível em: <[https:// portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos](https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos)>. Acesso em: 20 nov. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite.** São José dos Campos: INPE, 2018. Disponível em:<<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>. Acesso em: 13 de abr. de 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento Brasil.** São José dos Campos: INPE, 2019. Disponível em: <<https://clima1.cptec.inpe.br/monitoramentobrasil/pt> >. Acesso em: 15 de mar. 2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Greenhouse gases and aerosols**, in climate change: The IPCC scientific assessment – report of IPCC working. Cambridge: Cambridge University Press. 1990.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2007: the physical science basis.** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate change 2014: impacts, adaption, and vulnerability.** Part A: global and sectoral aspects. In: Field, C. B. et al. (Ed.). Contribution of working group 2 to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Summary for Policymakers.** In: Global Warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. [MASSON-DELMONTTE, et al., (eds.)] World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2018, 32 pp.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, p 1-10, 2009

KALAMANDEEN, M. et al. Pervasive rise of small-scale deforestation in Amazonia. **Nature's Scientific Reports**, v. 8, n. 1600, p. 1-10, 2018.

KOOHAFKAN, P.; ALTIERI, A. M.; GIMENEZ, H. E. Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 10, p. 61-75, 2012.

LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. **Encyclopedia of Energy**, v. 123, n. 1-2, p. 1-22, 2004.

LEVENE, H. Robust Tests for the equality of variance. In: Olkin, I(Ed.) **Contributions to probability and statistics**. Palo Alto, California: Stanford University Press, 1960. p. 278-292.

LOCATELLI, M. et al. Densidade do solo em sistema agroflorestal com castanheira-da-Amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), Machadinho do Oeste, Rondônia. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais, 10, **Anais...** Cuiabá, 2016.

MACEDO, R. L. G.; VALE, A. B. do; VENTURIN, N. **Eucalipto em sistemas agroflorestais**. Lavras, MG: UFLA, 2010.

MACHADO, L. O. R. **Reforma agrária e desflorestamento na Amazônia: uma reação de causa e efeito**. 2002. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2002.

MACHADO, P. L. O. A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. **Química Nova**, v. 28, n. 2, p. 329-334, 2005.

MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 18, n. 1, p. 50-60, 1947.

MBOW, C. et al. Agroforestry solutions to address food security and climate change challenges in Africa. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 6, p. 61-67, 2014.

MENDES, T. J. **Estimativa da variação do estoque de carbono do solo em diferentes cenários de uso e manejo agropecuário no Estado do Maranhão**. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2015.

MONROE, P. H. M. et al. Estoque de carbono no solo sob diferentes sistemas agroflorestais de cacau no Sul da Bahia. In: FertBio, 2014. **Anais...** Araxá, 2014.

MONTAGNINI, F.; NAIR, P. K. R. Carbon sequestration: Na underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 281-295, 2004.

MORAES, J. F. L. et al. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. **Geoderma**, v.70, p.63-81, 1996.

NAIR, P. K. R.; GORDON, A. M.; MOSQUERA-LOSADA, M. R. Agroforestry. In: JORGENSEN, S. E.; FAITH, B. D. **Encyclopedia of ecology**, Elsevier, Oxford, UK, v. 1, p. 101-110, 2008.

NAIR, P. K. R.; KUMAR, B. M.; NAIR, V. D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 172, p. 10-23, 2009.

NEMES, A.; QUEBEDEAUX, B.; TIMLIN, D. J. Ensemble approach to provide uncertainty estimates of soil bulk density. **Soil Science Society of America Journal**, v. 74, n. 6, p. 1938-1945, 2010.

NOBRE, A. D. O futuro climático da Amazônia. *Articulación Regional Amazónica*, p 42, 2014.

OELBERMANN, M.; VORONEY, R. P. Carbon and nitrogen in a temperate agroforestry system: using stable isotopes as a tool to understand soil dynamics. **Ecological Engineering**, v. 29, n. 4, p. 342-349, 2007.

OLIVEIRA, J. M. **Carbono no solo em sistemas integrados de produção agropecuária no Cerrado e na transição Cerrado – Amazônia**. 2015. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia, 2015.

OLIVEIRA, E. S.; REATTO, A.; ROIG, H. L. Estoques de carbono do solo segundo os componentes da paisagem. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 32, n. 1, p. 71-93, 2015.

OLIVEIRA, C. V. de **Estoque de carbono em solos sob floresta nativa, sistemas agroflorestais de cacau, plantio de seringueira e pasto no Sul da Bahia, Brasil**. 2016, 56 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Vitória da Conquista, 2016.

OLIVER, T. H. et al. Biodiversity and resilience of ecosystem functions. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 30, n. 11, p. 673-684, 2015.

ONG, C. K. et al. Above and below ground interactions in agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 45, n. 4, p. 45-57, 1991.

PACHEPSKY, Y.; RAJKAI, K.; TÓTH, B. Pedotransfer in soil physics: trends and outlook – A review. **Agrokemia es Talajtan**, v. 64, n. 2, p. 339-360, Dec. 2015.

PÁDUA, E. J. de; GUERRA, A. R.; ZINN, Y. L. Modelagem da densidade do solo em profundidade sob vegetação nativa em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 725-736, 2015.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Contribuição do Grupo de Trabalho 3 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas** [Bustamante, M. M. C., Rovere, E. L. L., (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2014, 463 pp.

PAUDEL, D. et al. Agroforestry system: na opportunity for carbono sequestration and climate change adaptations in the mid-hills of Nepal. **Octa Journal of Environmental Research**, v. 5, n. 1, p. 022-031, 2017.

PEQUENO, P. L de L. et al. Uso de funções de pedotransferências para estimativa da retenção de água em um LATOSSOLO no estado de Rondônia. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 14, n. 2, p. 229-239, 2018.

PILLON, C. N. MIELNICKZUC, J.; NETO MARTINS, L. **Dinâmica da matéria orgânica no ambiente**. Embrapa Clima Tempo, Pelotas, 2002.

PRADO, M. R. V. et al. Organic carbono and total nitrogen in the densimetric fractions of organic matter under diferente soil management. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 2, p. 263-273, 2016.

RAMOS, H. M. M. **Funções de pedotransferência para estimativa da densidade e atributos físico-hídricos de solos do estado do Piauí**. 2017, 50 f. Tese (Doutorado em Agronomia-Agricultura Tropical) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.

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.

RIBON, A. A.; TAVARES FILHO, J.; FERNANDES, K. L.; HEMÓGENES, V. T. L. Seleção de método estatístico para modelos de estimava da qualidade física de solos argilosos. **Revista de Agricultura**, v. 89, n. 1, p. 29-40, 2014.

ROCHA, G. P. et al. Caracterização e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. **Ciência Rural**, v. 44, n. 7, 2014.

ROSSO, G. **Bioma que sequestra carbono**. Disponível em: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18799072/bioma-que-sequestra-carbono>>. Acesso em: 22/04/2018.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, J. T. F.; OLIVEIRA, J. B. de. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SANTOS, M. A. **Inventário de emissões de gases de efeito estufa derivadas de hidrelétricas**. 2000. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

SCHEMBERGUE, A et al. Sistemas agroflorestais como estratégia de adaptação aos desafios das mudanças climáticas no Brasil. **RESR**, Piracicaba, v. 55, n. 1, p. 9-30, jan./mar., 2017.

SCHOENEBERGER, M. M. Agroforestry: working trees for sequestering carbon on agricultural lands. **Agroforestry systems**, v. 75, n. 1, p. 27-37, Jan. 2009.

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

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**. Raleigh, v. 30, n. 3, p. 507-512, Sept. 1974.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, Boston, v. 52, n. 3-4, p. 591-611, Dec. 1965.

SEEG (Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa). **Emissões do setor de mudança de uso da terra**. Documento de análise, Observatório do Clima, 2018.

SILVA, F. M. da; CHAVES, M. dos S.; LIMA, Z. M. C. **Geografia Física II**. Natal, RN: EDUFRN, 2009.

SILVA, D. C. da; et al. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de estudos ambientais**, v. 13, n. 1, p. 77- 86, 2011.

SILVA, D. B. da Sustentabilidade no Agronegócio: dimensões econômica, social e ambiental. **Comunicação & Mercado/UNIGRAM**, Dourados, v. 1, n. 3, p. 23-34, 2012.

SILVA, M. S. C. da et al. Estoque de serapilheira e atividade microbiana em solo sob sistemas agroflorestais. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 431-441, 2012.

SILVA, I. C. **Sistemas Agroflorestais: conceitos e métodos**. 1 ed. Itabuna: SBSAF, 2013.

SILVA, E. de F. et al.; Emissão de CO₂ do solo associada à calagem em área de consersão de laranja para cana-de-açúcar. **Eng. Agríc**. Jaboticabal, v. 34, n. 5, p. 885-898, 2014.

SILVA, D. V. da. **Caracterização de consórcios, variabilidade de atributos do solo e desempenho produtivo do cupuaçuzeiro em sistemas agroflorestais no Projeto RECA**. 2018. 140 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, 2018.

SILVA, R. W. da C.; PAULA, B. L. de. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terra e Didática**, v. 5, n. 1, p. 42-49, 2009. Disponível em: <https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v5/pdf-v5/TD_V-a4.pdf>. Acesso em: 02 de maio de 2018.

SOMARRIBA, E. Revisiting the past: an essay on agroforestry definition. **Agroforestry Systems**, v. 19, n. 3, p. 233-240, Sept. 1992.

SOMBROEK, W. G.; NACHTERGAELE, F. O.; HEBEL, A. Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. **Ambio**, v. 22, n. 7, p. 417-426, 1993.

TAALAB, K. P.; CORSTANJE, R.; CREAMER, R.; WHELAN, M. J. Modeling soil bulk density at the landscape scale and its contributions to C stock uncertainty. **Biogeosci. Disc.**, v. 9, p. 18831-18864, 2012.

TEODORO, P. H. M.; AMORIM, M. C. de C. T. Mudanças climáticas: algumas reflexões. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, 2008.

TOMASELLA, J.; HODNETT, M. G. Estimating soil water retention characteristic from limited data in Brazilian Amazonia. **Soil Sci.**, n 163, p. 190-202, 1998.

TUKEY, J. W. **The problem of multiple comparisons**. Unpublished memorandum in private circulation. 1953.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, p- 175-180, 1994.

XAVIER, F. A. da S.; MENDONÇA, E. de S. Agroforestry for recovering soil organic matter: a brazilian perspective. **Dynamic Soil, Dynamic Plant**, v. 5, n. 1, p. 45-51, 2011.

YOUNG, A. **Agroforestry for soil conservation**. Wallingford: CAB International, 1991. (ICRAF Science and Praticc of Agroforestry, n. 4).

ZANGALLI JUNIOR, P. C.; SANT'ANNA NETO, J. L. Mudanças climáticas globais: uma questão de escala. **Revista Geonorte**, Edição Especial 2, v. 1, n. 5, p. 619-627, 2012.

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