

MONITORAMENTO DO CARBONO NO SOLO EM ÁREA DE REFLORESTAMENTO COM ESPÉCIES NATIVAS DE MATA ATLÂNTICA, EM SEROPÉDICA (RJ)

Data de aceite: 01/08/2024

Andreia Laurindo de Almeida Gomes

Caroline Souza da Fonseca

Castro Alves da Silva Junior

Fernando José Pereira Ferreira

João Felipe da Silva Gonçalves

Lucas Santos Honda

Maria Eduarda Pimentel de Melo

Matheus Henrique dos Reis Fonseca

Matheus Leal Soares das Neves

Thamires Franco da Conceição

Thassiany de Castro Alves

Yuri Marinho Ferreira

Vanessa Maria Basso

Érika Flávia Machado Pinheiro

RESUMO: Com o avanço das fronteiras agrícolas e a substituição da vegetação natural por espécies de interesse comercial, o reflorestamento recebe destaque por seu desempenho em diversos serviços ecossistêmicos, principalmente como reservatório de carbono. Assim, o objetivo do presente estudo foi avaliar o estoque de carbono no solo, assim como da fração lábil da matéria orgânica do solo, em um Planossolo em área de reflorestamento com espécies nativas de Mata Atlântica, em Seropédica (RJ). Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas em 8 profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-10 (cm) e conduzidas ao Laboratório de Matéria Orgânica do Solo (LMOS) para análises de densidade, carbono orgânico total, fração leve livre e estoque de carbono (0-40 e 0-100 cm). A densidade apresentou valores que variam de 1,20 a 1,70 mg/m³, com o aumento ocorrendo em profundidade. Em contraste, a fração leve livre diminuiu drasticamente com a profundidade, principalmente a partir da profundidade 20-30 cm. O estoque de carbono orgânico do solo a profundidade 0-40 cm foi de 143,38 Mg.ha⁻¹, correspondendo a 58% do carbono estocado até 100 cm (246,28 Mg.ha⁻¹).

Em geral, os resultados foram semelhantes ao encontrado na literatura, com exceção do carbono orgânico total que apresentou aumento em profundidade. Acredita-se que esse comportamento tenha ocorrido em função da área no passado ter sido aterrada, adicionando matéria orgânica não humificada em profundidade. Esse comportamento pode ser observado ocorrendo em menor grau na densidade, que apresenta uma rápida redução na profundidade 40-60 cm e novamente volta a aumentar.

INTRODUÇÃO

As florestas desempenham diversos serviços ecossistêmicos, destacando-se seu papel como um importante reservatório de carbono (C). A mudança no uso da terra, de uma forma geral, tem início pela substituição da vegetação natural por outras formas de cultivo (Sanquetta et al. 2020). Tais mudanças resultam em impactos negativos pois podem alterar o balanço de C no solo, aumentar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e modificar a qualidade dos solos (Dalal, 2021). Essas mudanças impactam diretamente os serviços ecossistêmicos, o balanço energético, hídrico, os estoques de carbono e a biomassa do sistema (Davidson et al. 2012). Em locais onde a mata nativa foi fortemente alterada, o plantio de espécies nativas de diferentes grupos ecológicos constitui uma importante estratégia na recuperação de áreas degradadas. A partir do Protocolo de Quioto em 1997, as florestas passaram a ser um fator estratégico na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas e sendo valorizadas não só pelos produtos diretamente oferecidos (madeira, folhas, fibras, óleos, resinas), mas também pelos serviços ambientais desempenhados, como o sequestro de carbono e a conservação de solo e água (Stucchi, 2013).

Os estoques de carbono e nitrogênio são utilizados como indicadores da sustentabilidade das produções agrícolas (Cerri, 2017). O solo possui um reservatório total de C no sistema terrestre (~2300 Pg), equivalente a 3,7 vezes os valores de C retido na vegetação (~610 Pg), e, aproximadamente a 3 vezes dos valores de C contido na atmosfera (~770 Pg) (Scharleman et al., 2014). Com isso, o estoque de carbono no solo atua no controle das funções ecossistêmicas (Raiesi, 2021) e um pequeno aumento nesse estoque poderia contribuir na mitigação das emissões de GEEs (Minasny et al., 2017; Cotrufo, 2022).

A compreensão da dinâmica da matéria orgânica em ecossistemas florestais é fundamental para entender os processos de estoque e os mecanismos de estabilização de carbono no solo. Em áreas de florestas plantadas, a dinâmica do C no solo é particularmente complexa. O manejo florestal, a composição das espécies plantadas e as interações com o solo influenciam, significativamente, o estoque de carbono no solo. No plantio de espécies nativas de alta biodiversidade, a composição de espécies escolhidas para o reflorestamento influencia a dinâmica do sequestro do C no solo, podendo o acúmulo de C variar, anualmente, de 0,8 a 15 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ (Silver et al. 2000). O reflorestamento tem potencial de sequestrar de 52 a 104 Mg C ha⁻¹ dentro de um período de 50 anos e 70% das áreas com esse potencial ocorrem em latitudes tropicais (Silver et al. 2004). Em florestas secundárias tropicais, o valor de carbono acumulado no solo pode ser maior que 100 Mg C ha⁻¹ (Stucchi, 2013).

Durante estudos sobre a composição florística e estoque de carbono em áreas de recuperação da Mata Atlântica na bacia do rio Guapiaçu, em Cachoeiras de Macacu – RJ, Azevedo (2012) avaliou o estoque de carbono no solo (ECOS) até a profundidade de um metro, em três áreas de reflorestamento (3, 5 e 7 anos) com fins de restauração ecológica e uma pastagem adotada como controle (Tempo 0). Os valores encontrados foram: 213,46 Mg.ha⁻¹ (Pastagem - tempo 0); 236,46 Mg.ha⁻¹ (Reflorestamento – 7 anos); 97,15 Mg.ha⁻¹ (5 anos) e 83,62 Mg.ha⁻¹ (3 anos).

Similarmente, em um estudo conduzido em Pindorama (SP), Siqueira (2017) avaliou a implantação de um sistema agroflorestal (SAF) de 6 anos, composto por 33 espécies arbóreas, sendo 30 nativas intercaladas com três espécies de interesse produtivo (seringueira, acerola e urucum). Foram calculados os ECOS até um metro de profundidade para três tratamentos formados a partir das diferentes práticas de manejo na implantação do SAF e, um fragmento de floresta estacional semidecidual utilizado como referência. Os tratamentos experimentais foram: SAF1 (Roçadeira, covas, 3 m x 2 m, 300 g/cova de calcário, 200 g/cova de superfosfato simples); SAF2 (Herbicida, covas, 3,5 m x 2,0 m, milho entrelinhas, 2 Mg ha⁻¹ de calcário e, 2 Mg ha⁻¹ de torta de filtro, 300 kg ha⁻¹ de NPK 8/28/16); SAF3 (Arado, grade, sulcos, 3,5 m x 2 m, milho entrelinhas e adubação similar ao SAF2). Os valores de ECOS foram: 84,82 Mg ha⁻¹ (referência); 66,41 Mg ha⁻¹ (SAF1); 69,28 Mg ha⁻¹ (SAF2) e 67,96 Mg ha⁻¹ (SAF3).

Com o objetivo de realizar estimativas do estoque de biomassa e carbono do solo e da serrapilheira em área sob vegetação nativa remanescentes, Silva (2018) calculou os ECOS à 100 cm de profundidade a partir de 18 unidades amostrais nas Fazendas Lageado e Edgardia (Botucatu, SP). Sendo elas divididas em diferentes fitofisionomias: Mata Ciliar Primária (MC1), Mata Ciliar Secundária (MC2), Floresta Estacional Semidecidual Primária (FES1), Floresta Estacional Semidecidual Secundária (FES2) e Cerradão. Os ECOS até um metro de profundidade foram: 300,20 C t.ha⁻¹; 297,38 C t.ha⁻¹; 177,83 C t.ha⁻¹; 127,09 C t.ha⁻¹ e 99,15 C t.ha⁻¹ respectivamente.

O presente estudo faz parte do Projeto Carbono Zero, do Instituto de Floresta da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), que está em vigor desde 2019. O projeto teve por objetivo inventaria e neutralizar as emissões de gases que causam efeito estufa (GEE), geradas no decorrer da organização e realização dos Eventos Sudeste PET e Semana Acadêmica de Engenharia Florestal realizados no ano de 2019 no campus de Seropédica da UFRRJ. Um inventário de GEE é a contabilização da emissão de todas as fontes definidas em grupos de atividades associadas a uma atividade, processo, organização, setor econômico, cidade, estado ou até mesmo de um país, seguida da quantificação, monitoramento e registro dessas emissões (BRIANEZI et al., 2014). Todas as emissões geradas pelas atividades durante os eventos com transporte, resíduos sólidos, energia elétrica e outras fontes foram quantificados. Ao final os valores das emissões são convertidos em toneladas de CO₂ e então é quantificado o número de árvores que devem

ser plantadas para que as emissões dos eventos sejam neutralizadas. A neutralização foi realizada com reflorestamento de nove espécies nativas de Mata Atlântica no campo experimental do Instituto de Floresta, em Seropédica (RJ) em dezembro de 2019. Após o plantio, foram realizados apenas tratos culturais manuais (roçada) para controle de gramíneas e redução de mato competição.

O objetivo do presente estudo foi avaliar o estoque de carbono no solo, assim como da fração lábil da matéria orgânica do solo, em área de reflorestamento com espécies nativas de Mata Atlântica, visando a neutralização de carbono, em Seropédica (RJ).

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização da área de estudo

O experimento foi conduzido em uma área de reflorestamento, pertencente ao Instituto de Floresta na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (Figura 1). O clima da região é do tipo Aw da classificação de Köppen e caracteriza-se pela ocorrência de chuvas frequentes e temperaturas elevadas no verão, enquanto o inverno é pouco rigoroso e geralmente seco (KOPPEN, 1948). As médias anuais são 24°C e de 1.213 mm de temperatura média e precipitação pluvial, respectivamente (CARVALHO et al., 2006).

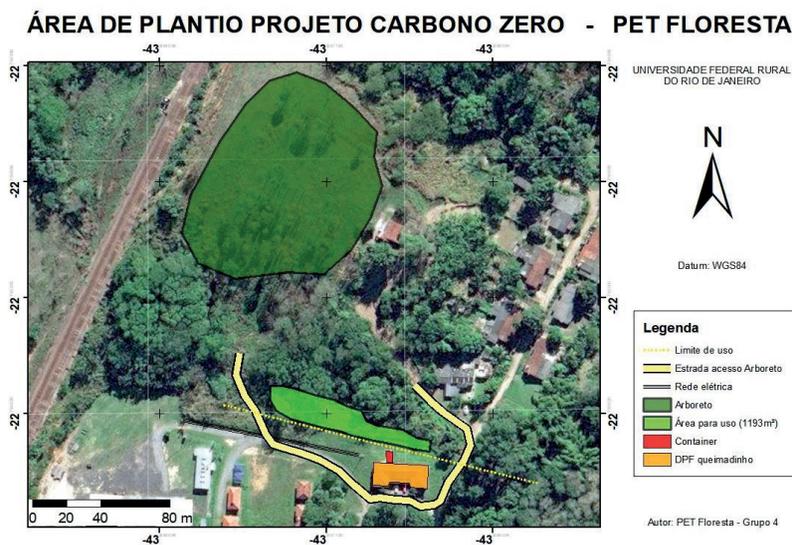


Figura 1: Localização da área de estudo.

Fonte: Pet-Floresta (2019).

O local de estudo compreende uma área de povoamento florestal, resultado de um projeto de neutralização de gases de efeito estufa, implantado a 4 anos. O reflorestamento considerou um horizonte de dez anos para a neutralização das emissões, no qual foram introduzidas mudas de 120 indivíduos de 9 espécies florestais nativas da Mata Atlântica: caixa-mirim (*Spondias mombin*); mamão-jacaratiá (*Jacaratia spinoda*); garapa (*Apuleia leiocarpa*); vinhático-de-espinho (*Chloroleucon tortum*); algodão -da-praia (*Taliparati pernambucense*); quaresmeira (*Tibouchina granulosa*) trema (*Trema micranta*); angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e ipê-felpudo (*Zeyheria tuberculosa*); capim colônia (*Panicum maximum*).

Segundo o Sistema Brasileiro de Classificação do Solo (SANTOS et al, 2018), o solo da área experimental foi classificado como Planossolo com formação geológica do complexo Paraíba do Sul, sendo o material originário sedimentar. Quanto a pedregosidade e rochoso, o solo foi classificado como não pedregoso e não rochoso. O relevo local foi classificado como plano, com erosão não aparente e imperfeitamente drenado. A vegetação primária foi classificada como floresta subtropical subcaducifólia.

Coleta das amostras de terra

O monitoramento do C segue a metodologia proposta pela FAO (*Food and Agriculture Organization*), através do Protocolo de Medição, Relato e Verificação (MRV) (FAO, 2020). Além de medir a quantidade de carbono armazenada, busca-se compreender os mecanismos responsáveis pelo armazenamento de carbono no solo, o que é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo florestal e de mitigação dos GEE.

Para a coleta das amostras de terra, após a delimitação dos pontos de amostragem, foram abertas três trincheiras na área de estudo, com a demarcação de suas respectivas coordenadas geográficas. As trincheiras foram abertas nas seguintes medidas: 1,2 de profundidade x 1,2 de largura x 1,5 m de comprimento. Foram coletadas amostras de terra nas seguintes profundidades: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, 60-80 e 80-100 cm (Figura 2).



Figura 2: Trincheira aberta para a retirada das amostras de terra.

Fonte: Autoria própria (2023).

A fim de coletar as amostras de terra indeformadas, em cada profundidade foram inseridos anéis de *Kopecky*, sendo estes retirados com o auxílio de uma faca pedológica da maior para a menor profundidade. O excesso de terra ao redor do anel foi retirado e o conteúdo do seu interior, transferido para sacos plásticos identificados para determinação da densidade do solo.

Também foram coletadas amostras de terra deformadas nas quatro paredes do perfil, formando uma amostra composta, em cada profundidade avaliada. Essas amostras foram homogeneizadas e armazenadas em sacos plásticos, devidamente identificados.

As amostras deformadas foram dispostas em bancadas no onde foram secas ao ar (Figura 3A). Posteriormente, as amostras foram destorroadas (Figura 3B), tamisadas em peneiras com malha de 2,0 mm de abertura e armazenadas em sacos plásticos para a realização das análises do conteúdo de carbono orgânico e do fracionamento físico da matéria orgânica do solo.

Determinação da densidade do solo

O conteúdo dos sacos plásticos contendo as amostras indeformadas de terra, que foram coletadas com o auxílio do anel de Kopecky, foi transferido para cadinhos de alumínio previamente pesados. Os cadinhos foram dispostos em estufa com temperatura de 105°C, por 48 horas e, após esse período foram pesados para a obtenção da massa seca de solo.

O cálculo de densidade do solo foi realizado da seguinte forma:

$$DS = \frac{Ms}{Vt} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

DS - densidade do solo, em g/cm³

Ms – massa do solo seco, em g

Vt – volume total, em cm³

Determinação dos teores de carbono orgânico no solo

A análise do conteúdo de carbono orgânico no solo foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Yeomans & Bremner (1988).

Fracionamento físico da matéria orgânica do solo

Visando o fracionamento físico da matéria orgânica do solo foi feito o método densimétrico utilizando a metodologia proposta por Sohi et al. (2001) com modificações. Primeiro, em um tubo falcon, foi adicionado 5 g de terra das amostras coletadas nas seguintes profundidades 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 cm. Depois, foram acrescentados 35 ml de água destilada em cada tubo. O tubo foi levemente agitado até o solo se destacar do seu fundo, sendo o material deixado em descanso por uma noite. Após o tempo decorrido, com auxílio de um sistema de filtração da Millipore, foi iniciada a sucção do material sobrenadante, fração leve livre (FLL), com auxílio de uma bomba de vácuo, sendo o mesmo depositado sobre um papel de filtro Whatman. Através da diferença da massa seca do filtro e da FLL e da massa seca do filtro foi determinada a massa seca de FLL (g kg⁻¹) (Figura 7).



Figura 3: Detalhe da fração leve livre, nas camadas avaliadas, na área florestal em Seropédica, RJ.

Fonte: Autoria própria (2023).

Determinação do estoque de carbono no solo

O estoque de carbono no solo é determinado pelo produto da densidade do solo (Mg m^{-3}), teor de carbono orgânico (g kg^{-1}) e da espessura da camada avaliada (m) (Bernoux et al., 2002). O ECOS pode ser representada pela seguinte equação:

$$\text{ECOS} = (\text{C} \times \text{D} \times \text{E}) \times 10 \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde:

ECOS – estoque de carbono (Mg ha^{-1})

C – teor de C orgânico (Mg kg^{-1})

D – densidade do solo (Mg m^{-3})

E – espessura da camada considerada (m)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade do solo apresentou valores que variaram entre 1,20 e 1,70 Mg/m^3 , com um aumento dos valores em profundidade e um rápido decréscimo na profundidade 40-60 cm (Figura 8). Esse decréscimo dos valores da densidade do solo em profundidade difere do usual observado na literatura. Acredita-se que uma possível explicação para esse comportamento seja de caráter antrópico, já que durante a amostragem do solo foram encontrados diversos artefatos humanos (cerâmicas), o que nos leva a acreditar que possa ter havido aterramento no passado. Dessa forma, o aterramento do horizonte A pode estar contribuindo com o alto teor de C nas camadas de 30-40 cm. Como resultado, a adição de

matéria orgânica em profundidade está contribuindo para a redução da densidade do solo. É importante ressaltar que a MOS contribui para melhoria das propriedades físicas do solo. A redução dos valores de densidade do solo é devido a formação de agregados do solo, mediada pela ação da matéria orgânica.

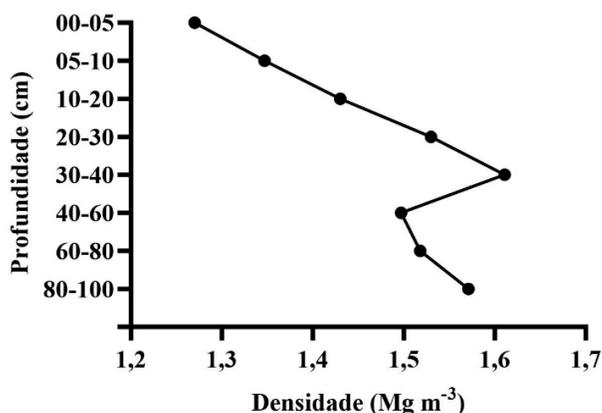


Gráfico 1: Densidade do solo numa área sob reflorestamento com espécies florestais em Seropédica (RJ).

Fonte: Autoria própria (2020).

Ao relacionar os resultados de densidade do solo obtidos nesse estudo em relação aos demais trabalhos na literatura, destaca-se o estudo de Carvalho et al. (2004) que ao avaliar o efeito do manejo de um SAF de 6 anos, localizado no Parque Rural em Brasília (DF), num Latossolo Vermelho, observou os seguintes valores de densidade do solo: 0,84; 0,87; 0,96 e 0,97 g cm⁻³, para as profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, respectivamente. Lima et al. (2008) avaliaram a densidade do solo num Planossolo Háplico, sob campo nativo em Capão do Leão (RS), e observaram valores de 1,29, 1,48, 1,57, 1,54 e 1,48 Mg.cm⁻³ para as profundidades 0-2.5; 2.5-7.5; 7.5-12.5; 12.5-17.5 e 17.5-27.5 cm, respectivamente.

A matéria orgânica do solo, viva e morta, está diretamente relacionada com a qualidade do solo, sendo verificada por sua influência nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo. Assim, a MOS é o principal agente de formação e estabilização dos agregados em solos tropicais, sendo, portanto, um fator chave e indicador da qualidade do solo. Em solos muito intemperizados, com o predomínio de cargas positivas, a MOS contribui com cargas negativas que atuarão como agentes ligantes (Cunha et al., 2015). A MOS, também colabora quimicamente através da adsorção de cátions, fertilidade e complexação de metais (Pinheiro, 2002; Schnitzler, 1991). As raízes também possuem influência na agregação do solo, agindo em ambas as etapas, atuando na aproximação das

partículas em função da força mecânica exercida pelas raízes (Castro Filho et al., 1998). Somado a isso, a matéria orgânica atua como agente cimentante, devido a exsudação de compostos orgânicos que promovem a maior estabilidade e longevidade da estrutura do solo (TORMENA et al., 2023), refletindo na estruturação e, conseqüentemente, na redução da densidade do solo (VASCONCELOS et al., 2012; BARBOSA et al., 2020).

É possível observar que nas profundidades superficiais (0-20 cm), a densidade do solo apresentou valores menores em comparação a profundidade inferior (80-100 cm). Isso pode ser explicado pelo maior aporte de matéria orgânica na superfície do solo, consolidando o efeito da matéria orgânica na redução da densidade do solo.

É importante salientar que nas profundidades de 0-5 e 5-10 cm, o elevado conteúdo de C é devido ao aporte de serrapilheira, favorecendo o acúmulo de carbono no solo (Figura 9). O aterramento do horizonte A é, possivelmente, a explicação do aumento do C em profundidade (Figura 9).

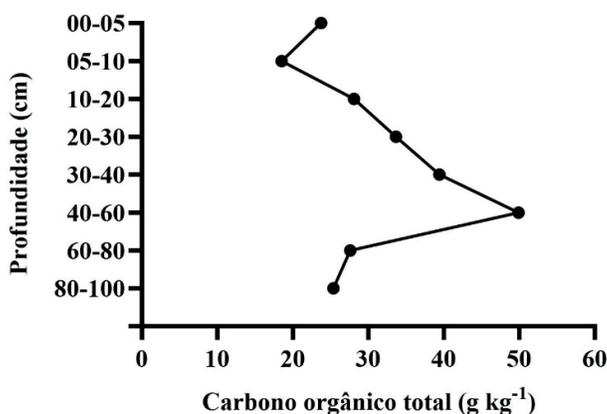


Gráfico 2: Conteúdo de carbono orgânico total em área sob reflorestamento de espécies florestais em Seropédica (RJ).

Fonte: Autoria própria (2020).

A MOS está presente no solo em diferentes estágios de decomposição, estando associada ou não à fração mineral do solo (Roscoe & Machado 2002). Em diferentes compartimentos, podendo apresentar diferentes velocidades de decomposição, dependendo da sua localização física no solo (Sohi et al. 2001) Ainda sendo possível dividi-la em compartimentos lábeis e estáveis (Passos et al. 2007). A maior parte da MOS estará associada às partículas minerais do solo, considerada um compartimento altamente resistente à transformação ou ao ataque microbiano (Stevenson, 1994; Feller & Beare 1997; Freixo et al. 2002). Com isso, pequena proporção da MOS, constituída principalmente por resíduos vegetais, pode estar livre denominada fração leve-livre (FLL). O C lábil está

relacionado com o material orgânico da FLL da matéria orgânica do solo (Maia et al. 2007). Os resultados mostraram que o aporte de FLL diminuiu 64% com aumento da profundidade do solo de 2,5 g kg⁻¹ (0-5 cm) para 0,9 g kg⁻¹ (5-10 cm), fator esperado em virtude do aporte de material orgânico se concentrar mais na superfície do solo. Para a profundidade 80-100 cm o valor da FLL foi igual a zero. Esta é uma fração constituída de restos vegetais, resíduos microbianos e microfauna, contribuindo para que ocorra uma rápida taxa de transformação do carbono, motivo ao qual é muito utilizada como indicadora de qualidade do solo para avaliar os sistemas de manejo do solo (PINHEIRO et al., 2004).

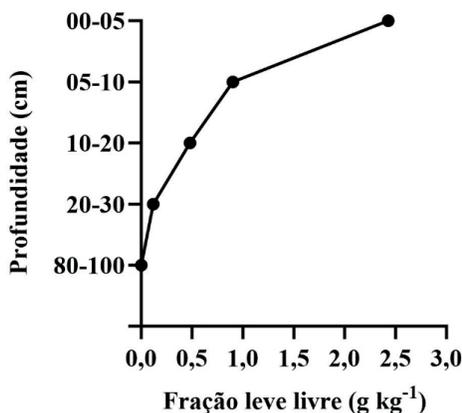


Gráfico 3: Aporte de fração leve livre (g kg⁻¹) da matéria orgânica do solo em área sob reflorestamento de espécies florestais, em Seropédica (RJ).

Fonte: Autoria própria (2020).

O comportamento da FLL no perfil do solo é influenciado pela composição química do resíduo aportado ao solo, pela disponibilidade do substrato, por aspectos climáticos (umidade e temperatura) e, principalmente, pelo manejo adotado (Faustino, 2014). As plantações florestais caracterizam-se pelo aporte significativo de material vegetal sobre o solo (Gama-Rodrigues et al. 2018), que por definição representam a fração lábil (Chan et al. 2001, Faustino 2014). Isso explica o valor mais elevado nas camadas mais superficiais. Outro fator que pode ter influenciado a redução da FLL em profundidade é a menor quantidade de raízes finas e maior quantidade de raízes suberizadas, o que reduz o incremento de biomassa vegetal no solo e aumenta o nível de recalitrância do C. Rangel e Silva (2007) estudando frações orgânicas em diferentes sistemas de uso e manejo (mata nativa, eucalipto, pinus, pastagem e milho), observou valores de FLL de: 3,5; 5,1; 4,6; 1,0; 0,5; 0,3 g kg⁻¹, para a profundidade de 0-5 cm e 5,8; 2,3; 2,5; 1,0; 0,2 e 0,3 g kg⁻¹, para a profundidade de 0-10 cm, respectivamente. A decomposição é uma variável influenciada por diversos fatores, tais como as condições climáticas, que podem acelerar

esse processo através da umidade do solo, já que a decomposição é paralela ao aumento da umidade, aumentando a fauna de microrganismos decompositores no solo (BOER et al., 2008; PETRAGLIA et al., 2019). O que contribui para uma outra explicação para a menor participação da FLL em profundidade. Roscoe & Machado (2002) explica que, em função do único mecanismo de proteção dessa fração ser a recalctrância dos seus materiais constituintes, a FLL torna-se mais disponível para a microbiota que a fração pesada da MOS. É usual em trabalhos que estudam a FLL do solo, que sua quantificação ocorra apenas nas camadas mais superficiais do solo (0-5 e 5-10 cm de profundidade), em função do que foi citado acima, porém no presente trabalho foi tomada a decisão de se realizar a quantificação até a profundidade de um metro, a fim de observar o comportamento citado na literatura.

O estoque de carbono orgânico do solo na área sob reflorestamento foi de 143,38 Mg ha⁻¹, na camada de 0-40 cm. Esse valor corresponde à 58% do C estocado até 100 cm (246,28 Mg ha⁻¹). Esses resultados destacam a importância do manejo florestal em preservar o carbono no solo. Adicionalmente, é um alerta para que não haja nenhum manejo inadequado do solo porque o efeito do manejo é maior na camada superficial onde a maior parte do C está estocado no solo. A adição de matéria orgânica na camada superficial e subsuperficial do solo, a presença de vegetação rasteira e da implantação de uma maior diversidade de plantas na área sob reflorestamento devem ter contribuído com esse resultado. (Figura 11). A área de estudo é povoada por uma vegetação rasteira diversificada e foi implementado o plantio de nove diferentes espécies de arbóreas da Mata Atlântica que adicionam diferentes quantidades de matéria orgânica por superfície e subsuperfície. Os estudos apontam que uma alta diversidade de plantas numa mesma área, associada a presença de raízes em profundidade, pode favorecer o armazenamento de C. Isso ocorre devido a absorção do carbono por parte dos microrganismos presentes na rizosfera, principalmente, em condições de elevada diversidade de plantas, tendo em vista que elas liberam maiores quantidades de exsudatos para os microrganismos, contribuindo para o aumento do consumo e armazenamento do carbono (LANGE et al., 2015).

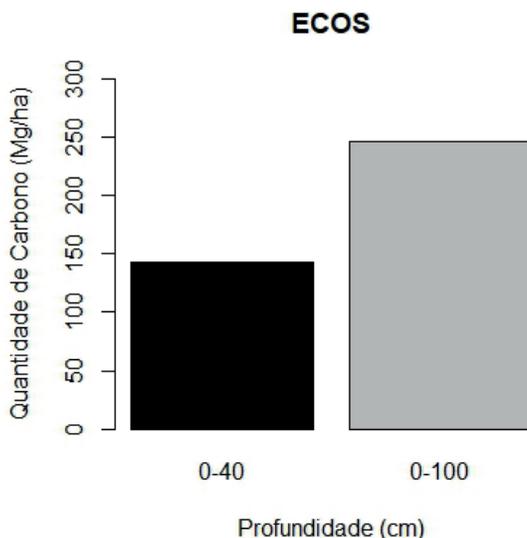


Gráfico 4: Estoque de carbono no solo sob reflorestamento de espécies florestais, nas camadas de 0-40 cm e 0-100 cm, em Seropédica (RJ).

Fonte: Autoria própria (2020).

Os valores de ECOS observados durante o estudo estão condizentes com a literatura. Vicente et al. (2016) em uma área reflorestada em Minas Gerais sobre as mesmas condições climáticas do Estado do Rio de Janeiro, com clima Aw. Os valores em área reflorestada com seringueira após três anos, obteve estoque de carbono de $219,34 \text{ Mg ha}^{-1}$ em 1 m de profundidade, valor próximo ao encontrado no estudo de $246,28 \text{ Mg ha}^{-1}$. Com quatro anos de reflorestamento, a área de estudo apresenta elevados valores de estoque de carbono, possivelmente, a diversidade de plantas utilizada no reflorestamento da área está beneficiando o acúmulo de carbono no solo. A presença de gramíneas (capim colômbio) também pode estar contribuindo com o valor elevado de estoque de carbono no solo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O reflorestamento com diferentes espécies arbóreas de mata Atlântica, mesmo em curto período de implementação, refletiu em resultados positivos nas propriedades físicas e químicas do solo avaliadas. A presença de gramíneas também pode estar contribuindo com os altos valores de estoque de carbono no solo na área sob reflorestamento. O aporte de fração leve livre refletiu em elevados teores e estoques de carbono no solo na camada superficial (0-40 cm), que é o sítio onde estão estocados 58% do carbono nos primeiros 100 cm de profundidade. A recomendação é de que não haja mudança no uso da terra na área reflorestada para um manejo inadequado do solo visando a manutenção do carbono no solo e, conseqüentemente, a qualidade do solo com a maturidade do sistema florestal.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, A. D. **Composição florística e estoque de carbono em áreas de recuperação da Mata Atlântica na bacia do rio Guapiaçu, Cachoeiras de Macacu, RJ.** Dissertação. (Mestre em ciências na área de concentração em Conservação da Natureza) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012. Disponível em: <<https://rima.ufrjr.br/jspui/handle/20.500.14407/11295>>. Acessado em: Mar. 2024.
- BARBOSA, T. C. S. *et al.* **Qualidade física do solo em áreas sob manejo agroecológico e convencional.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 7, p. 48899-48909, 2020.
- BARRETO, P. A. B. *et al.* **Atividade microbiana, carbono e nitrogênio da biomassa microbiana em plantações de eucalipto, em seqüência de idades.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 611-619, 2008.
- BERNOUX, M. *et al.* **Brazil's soil carbon stocks.** Soil Science Society of America Journal, v. 66, n. 3, p. 888-896, 2002.
- BOER, C. A. *et al.* **Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região Centro-Oeste do Brasil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 843-851, 2008.
- CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. *et al.* **Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, p. 1153-1155, 2004.
- CARVALHO, D. F.; SILVA. *et al.* **Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ, utilizando lisímetro de pesagem.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 14, n. 2, p. 108-116, 2006.
- CASTRO FILHO, C. de; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. **Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 22, p. 527-538, 1998.
- CERRI, C. C. *et al.* **Estoques de carbono e nitrogênio no solo devido a mudança do uso da terra em áreas de cultivo de café em minas gerais.** 2017.
- CERRI, C.C. *et al.* **Emissão de CO₂ pelos solos devido às mudanças no uso da terra e manejo.** In: www.mct.gov.br/clima/comunic_old/solo.htm, Centro de Energia Nuclear na Agricultura- CENA-USP, 1999.
- CHAN, K. Y.; BOWMAN, A.; OATES, A. **Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic paleustalf under different pasture leys.** Soil science, v. 166, n. 1, p. 61-67, 2001.
- COTRUFO, M. F.; LAVALLEE, J. M. **Soil organic matter formation, persistence, and functioning: A synthesis of current understanding to inform its conservation and regeneration.** Advances in agronomy, v. 172, p. 1-66, 2022.
- CUNHA, T. J. F.; MENDES, A. M. S.; GIONGO, V. **Matéria orgânica do solo.** 2015.
- DALAL, R. C. *et al.* **Long-term land use change in Australia from native forest decreases all fractions of soil organic carbon, including resistant organic carbon, for cropping but not sown pasture.** Agriculture, Ecosystems & Environment, v. 311, p. 107326, 2021.

DAVIDSON, E. A. *et al.* **The Amazon basin in transition.** Nature, v. 481, n. 7381, p. 321-328, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. Brasília, 1997. 212p.

FAO. *Food and Agriculture Organization.* 2020. **A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes – GSOC-MRV Protocol.** Rome.

FAUSTINO, L. L. **Frações do Carbono Oxidável em Solos sob Diferentes Leguminosas Florestais no Norte Fluminense.** Março de 2014. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro.

FELLER, C.; BEARE, M. H. **Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics.** Geoderma, v. 79, n. 1-4, p. 69-116, 1997.

FREIXO, A. A.; CANELLAS, L. P.; MACHADO, PLO de A. **Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve intra-agregado de dois Latossolos sob plantio direto e preparo convencional.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 26, p. 445-453, 2002.

GAMA-RODRIGUES, E. F. *et al.* **Atributos físicos, químicos e microbiológicos dos solos sob diferentes usos em topossequências no Noroeste Fluminense.** Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 13, n. 3, p. 1-9, 2018.

IPCC. *Intergovernmental Panel on Climate Change.* Resumo para formuladores de políticas. In: **Mudança Climática e Terra: um relatório especial do IPCC sobre mudança climática, desertificação, degradação da terra, gestão sustentável da terra, segurança alimentar e fluxos de gases de efeito estufa em ecossistemas terrestres.** 2019. 41p.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra.** México: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478 p.

LAL, R. **Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security.** Science, v. 304, n. 5677, p. 1623–1627, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.1097396>

LANGE, M. *et al.* **Plant diversity increases soil microbial activity and soil carbon storage.** Nature communications, v. 6, n. 1, p. 6707, 2015.

LIMA, C. L. R. de. *et al.* **Atributos físicos de um Planossolo Háplico sob sistemas de manejo comparados aos do campo nativo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 1849-1855, 2008.

MAIA, S. M. F. *et al.* **Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil.** Agroforestry systems, v. 71, p. 127-138, 2007.

MINASNY, B. *et al.* **Soil carbon 4 per mille.** Geoderma, v. 292, p. 59-86, 2017.

PASSOS, R. R. *et al.* **Substâncias húmicas, atividade microbiana e carbono orgânico lábil em agregados de um Latossolo Vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais.** Revista Brasileira de Ciência do solo, v. 31, p. 1119-1129, 2007.

PETRAGLIA, A. *et al.* **Litter decomposition: effects of temperature driven by soil moisture and vegetation type.** Plant and Soil, v. 435, p. 187-200, 2019.

PINHEIRO, E. F. M. **Frações orgânicas e agregação em Latossolo em função de sistemas de preparo do solo de oleráceas em Paty do Alferes, RJ.** Seropédica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002. 65p. Tese de Doutorado. Tese de Mestrado.

PINHEIRO, E. F. M. *et al.* **Fracionamento densimétrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 28, p. 731-737, 2004.

PREISKORN, G. M. **Composição florística, estrutura e quantificação do estoque de carbono em florestas restauradas com idades diferentes.** 2011. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, Piracicaba, SP.

RAESI, F. **The quantity and quality of soil organic matter and humic substances following dry-farming and subsequent restoration in an upland pasture.** Catena, 202 (2021)

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

REBOITA, M. S. *et al.* **Climate projections for South America: RegCM3 driven by HadCM3 and ECHAM5.** Advances in Meteorology, v. 2014, p. 1-17, 2014.

ROSCOE, R.; MACHADO, PLO de A. **Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica.** 2002.

SANTOS, H. G. dos. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.

SANQUETTA, C. R. *et al.* **Estoque de biomassa e carbono em pastagens cultivadas no norte de Rondônia.** BIOFIX Scientific Journal, v. 5, n. 1, p. 102-107, 2020.

SILVA, J. P. da. **Estoque de carbono e nutrientes no solo e na serapilheira sob remanescentes de vegetação nativa.** 2018.

SILVER, W. L.; OSTERTAG, R.; LUGO, A.I E. **The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands.** Restoration ecology, v. 8, n. 4, p. 394-407, 2000.

SILVER, W. L. *et al.* **Carbon sequestration and plant community dynamics following reforestation of tropical pasture.** Ecological Applications, v. 14, n. 4, p. 1115-1127, 2004.

SIQUEIRA, C. C. Z. **Atributos do solo e estoques de carbono em sistemas agroflorestais na restauração de áreas degradadas.** 2017. Tese de Doutorado. Instituto Agronômico.

SCHNITZER, M. **Soil organic matter—the next 75 years.** Soil science, v. 151, n. 1, p. 41-58, 1991.

SOHI, S. P. *et al.* **A procedure for isolating soil organic matter fractions suitable for modeling.** Soil Science Society of America Journal, v. 65, n. 4, p. 1121-1128, 2001.

SCHARLEMANN, J. P. *et al.* **Global soil carbon: understanding and managing the largest terrestrial carbon pool.** Carbon Management, 5(1), 81–91, 2014.

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

STUCCHI, G. B. **Estimativa dos estoques de carbono na parte aérea de reflorestamentos de espécies nativas e remanescentes florestais**. 2013. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado-Universidade de São Paulo, São Paulo, 78p.

TORMENA, C.A. *et al.* **Relações da matéria orgânica com atributos físicos de solos de regiões subtropicais e tropicais brasileiras**. IN: SILVA, Carlos Alberto 31 *et al.* **Matéria orgânica do solo: ciclo, compartimentos e funções. Entendendo a matéria orgânica do solo em ambientes tropical e subtropical**. Wagner Bettiol, p. 17, 2023.

VASCONCELOS, R. F. B. *de. et al.* **Compactabilidade de um Latossolo Amarelo distrocoeso dos tabuleiros Costeiros de Alagoas sob diferentes sistemas de manejo da cana-de-açúcar**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, p. 537-545, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200023>.

VICENTE, L. C.; GAMA-RODRIGUES, E. F.; GAMA-RODRIGUES, A. C. **Soil carbon stocks of Ultisols under different land use in the Atlantic rainforest zone of Brazil**. Geoderma Regional, v. 7, n. 3, p. 330-337, 2016.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 19:1467-1476, 1988.