

**MINERALIZAÇÃO DE CARBONO EM CLASSES DE AGREGADOS  
DE SOLOS SOB PLANTIO DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS NO  
NORTE FLUMINENSE**

**RUTH DE ABREU ARAÚJO**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY  
RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
ABRIL – 2019**

MINERALIZAÇÃO DE CARBONO EM CLASSES DE AGREGADOS  
DE SOLOS SOB PLANTIO COM LEGUMINOSAS ARBÓREAS NO  
NORTE FLUMINENSE

**RUTH DE ABREU ARAÚJO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, com ênfase em Solos e Nutrição de Plantas

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
ABRIL – 2019

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**UENF - Bibliotecas**

Elaborada com os dados fornecidos pelo autor.

A663

Mineralização do carbono em classes de agregados de solos sob plantio com leguminosas arbóreas no Norte Fluminense / Ruth de Abreu Araújo. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.

33 f. : il.

Bibliografia: 30 - 33.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2019.

Orientadora: Emanuela Forestieri da Gama Rodrigues.

1. Mineralização do C. 2. Agregados do solo . 3. Maceração de agregados do solo. 4. Microagregados do solo . 5. Macroagregados do solo . I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

MINERALIZAÇÃO DE CARBONO EM CLASSES DE AGREGADOS  
DE SOLOS SOB PLANTIO COM LEGUMINOSAS ARBÓREAS NO  
NORTE FLUMINENSE

**RUTH DE ABREU ARAÚJO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, com ênfase em Solos e Nutrição de Plantas

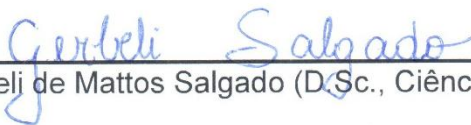
Aprovada em 03 de abril de 2019

Comissão Examinadora



---

Dr. Seldon Aleixo (Dr. Ciência do Solo) – UENF



---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Gerbeli de Mattos Salgado (D.Sc., Ciência do Solo) – UEMASUL



---

Prof. Dr. Antonio Carlos Gama-Rodrigues (D.Sc., Ciência do Solo) – UENF



---

Prof. Dr.<sup>a</sup>. Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues (Ph.D. Ciência do Solo) -  
UENF  
(Orientadora)

*A minha mãe Adalgisa de Abreu e meus irmãos;  
À memória do meu pai, Geneval Gomes  
e do meu tão amado irmão: Genivan de Abreu;  
A todos os meus professores*  
**DEDICO**

A vida Eterna busca...  
Ávida terna busca...  
A vida é ter na busca.

(Oreste Branquinho Filho)

## AGRADECIMENTOS

Ao Deus que eu sirvo pela graça concedida. Por estar sempre comigo e testemunhar minha luta quando ninguém pôde ver;

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), pela oportunidade de realizar meu curso de mestrado. A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior), pela concessão da bolsa de estudos;

À minha orientadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Emanuela Forestieri da Gama Rodrigues, por me orientar e ser uma grande incentivadora. Pelos ensinamentos e correções precisas. Por toda compreensão, por acreditar em mim, e pelos sábios conselhos ao longo do mestrado. Ter uma professora e orientadora como você, me inspirou e reforçou o meu desejo de buscar aperfeiçoamento profissional e pessoal;

Aos amigos de profissão que fiz durante meu tempo de trabalho na AGERP, agradeço imensamente todo apoio dado a mim quando recebi a oportunidade de ingressar no mestrado. Imensa gratidão ao gestor Humberto Nascimento, Dr. José Araújo e Aldean Cavalcante;

Aos professores do LSOL pela contribuição em minha formação acadêmica, pelo incentivo, compromisso, gentileza e conhecimento repassado: Prof. Dr. Gabriel Ramatis de Andrade, Prof. Dr. Cláudio Roberto Marciano.

Ao LSOL 126: Laís Vicente e Seldon Aleixo, pelas contribuições. A Kátia e Vanilda pela paciência e gentilezas prestadas nesses dois anos;

A Lidiane Lousada pela parceria, por me ajudar nas coletas de solo, pela correção do meu pré-projeto e contribuições importantes para o meu trabalho;

Ao Ederaldo e Raimundo por me ajudar nas coletas de solo e demais necessidades que surgiram ao logo da elaboração desta pesquisa;

À querida Laine Ignácio pela gentileza e disposição em me auxiliar nos incontáveis dias de titulações. Ao Arlindo por tantas ajudas e força (principalmente) na abertura e fechamento dos tantos potes de vidro. Isso que eu chamo de “dar a mão”!

Ao Prof. Cláudio Melo, por toda ajuda na estatística, pela dedicação e tão grande gentileza como pessoa, um exemplo de profissional;

Às minhas amigas-irmãs de “república temporária” e “amizade perene”: Géssica Xavier, Samua Torres, Ellen Robert e Sara Oliveira (Sarão). Por todas as trocas que tivemos, tanto aprendizado e parceria. Não há como mensurar tamanha gratidão!

À grande amizade que fiz nesse trajeto: Sel Carvalho, dividimos mesa de estudo, o pão (amassado ou não) e a saudade de casa;

Ao Edie Sena, amigo muito especial e solícito, pela amizade e por toda ajuda em vários aspectos do meu mestrado, desde a companhia agradável e trocas diversas sobre a vida a utilidades científicas. A todos os queridos colegas PV/2017.1 pela divisão das “dores do mestrado” e soma das pequenas alegrias: Sabrina Bugueroni, Bianca, Deurimar JR, Assystone, e Liliane;

Às minhas sempre próximas amigas, independente de onde eu esteja: Priscila Gonçalves e Nágille Milhomem, por sempre me acompanharem e torcerem por mim;

A Adalgisa de Abreu, minha tão honrada e amada mãe, pela vida inteira dedicada a mim e aos meus irmãos. Minha maior e melhor referência de ser humano!

Sempre será difícil mensurar justa e tão brevemente todas as experiências que contribuíram na minha formação, mas é impossível não mencionar meus irmãos que me deram apoio em muitos sentidos, em especial: Joe, Gilsa, Israel e Gedeon, por todo incentivo e força desde que iniciei minha carreira acadêmica.

Profunda gratidão!



## SUMÁRIO

RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	viii
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
2.1. Importância das leguminosas na recuperação de áreas degradadas .....	4
2.2. Agregados do solo: Importante reservatório de C em áreas florestais.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	11
3.1. Descrição da área de estudo .....	11
3.2. Descrição da coleta.....	12
3.3. Separação dos agregados do solo .....	13
3.4 Maceração dos agregados do solo .....	13
3.5 Pré-tratamento das amostras de solo .....	14
3.6 Determinação da capacidade de saturação do solo .....	14
3.7 Incubação das classes de agregados .....	15
4. Análise Estatística.....	16
5. RESULTADOS .....	18
5.1. Modelagem da mineralização de C-CO <sub>2</sub> .....	18
6. DISCUSSÃO .....	25
7. RESUMO E CONCLUSÕES .....	27

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....28

## RESUMO

ARAÚJO, Ruth de Abreu, M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Março de 2019. Título: Mineralização de carbono em classes de agregados de solos sob plantio com leguminosas arbóreas no Norte Fluminense. Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues.

A proteção física da matéria orgânica do solo através da sua oclusão dentro de agregados é considerada um importante mecanismo para reduzir a biodisponibilidade e acessibilidade desta matéria orgânica por microrganismos e enzimas do solo. O carbono fisicamente protegido ao se tornar disponível à ação da microbiota gera um fluxo de CO<sub>2</sub> que pode servir como um indicador de labilidade em agregados de diferentes tamanhos. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar as taxas de mineralização de carbono em macro e microagregados de solos sob diferentes leguminosas arbóreas, pastagem e capoeira em um sítio localizado em Conceição de Macabú, Rio de Janeiro. Os macro e microagregados foram obtidos por tamizamento via seco. A respiração do solo foi estimada pela quantidade de CO<sub>2</sub> liberada no período de incubação até a obtenção de valores constantes de CO<sub>2</sub> em todos os tratamentos. O modelo que apresentou melhor ajuste dos dados de mineralização de carbono foi o de Gompertz. Em todas as coberturas vegetais, as curvas de C mineralizado em amostras maceradas e não maceradas mostraram uma ligeira inclinação crescente no período inicial de incubação seguido por um aumento progressivo, indicando menor quantidade acumulada de C até o 10<sup>o</sup> dia de incubação, e

aumentos subsequentes em função do tempo de incubação. Durante os 40 dias de incubação ocorreu acréscimo de C mineralizado nos macroagregados macerados em todas as coberturas vegetais, principalmente nos solos sob leguminosas arbóreas e os valores variaram entre 400 a 615  $\mu\text{gCO}_2 \text{g}^{-1}$  nos não macerados e de 523 a 795  $\mu\text{gCO}_2 \text{g}^{-1}$  nos macerados. Já no microagregados o efeito da maceração promoveu um acréscimo em menor proporção comparado aos macroagregados. Nessa perspectiva, a inclusão de leguminosas arbóreas em áreas degradadas, pode favorecer o aumento ou a manutenção de carbono por meio da agregação do solo.

## ABSTRACT

ARAÚJO, Ruth de Abreu, M.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. March, 2019. Title: Carbon Mineralization in Soil Aggregate Classes Under Planting with Tree Legumes in North part of Rio de Janeiro State. Advisor: Prof.<sup>a</sup> Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues.

Physical protection of soil organic matter through occlusion within aggregates is considered an important mechanism to reduce bioavailability and access to soil organic matter by soil microorganisms and enzymes. The physically protected carbon and microbial action available generates a CO<sub>2</sub> stream that can serve as an indicator of lability in different size aggregates. In this sense, the objective of this work was to evaluate how carbon mineralization rates in soils macro and microaggregates under different legume trees, pasture and poultry in a place located in Conceição de Macabú, Rio de Janeiro. The macro and microaggregates were monitored via dry. The soil respiration was estimated by the amount of CO<sub>2</sub> released during the incubation period until the constant CO<sub>2</sub> values in all procedures. The model that presented the best fit of carbon mineralization data was Gompertz. For all mulches, such as macerated and non-macerated mineralized C curves, a slight increasing fall during the initial incubation period followed by a progressive increase, the lowest cumulative amount of C up to the 10th day of incubation and subsequent as a function of time. Incubation During the 40 days of incubation, there was an increase of mineralized C in macerated macroaggregates in all vegetable coverings, especially in the soils under

leguminous trees and in the range from 400 to 615  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$  in the non-macerated and from 523 to 795  $\mu\text{g CO}_2 \text{ g}^{-1}$  in the macerated. There are no microaggregates anymore or the maceration effect promotes an increase in the lower percentage associated with macroaggregates. The inclusion of legume trees in degraded areas may favor the increase or maintenance of carbon through soil aggregation.

## 1. INTRODUÇÃO

Os solos florestais exercem papel fundamental na regulação dos ciclos biogeoquímicos globais para a perturbação antrópica e as mudanças climáticas (Hadden e Grelle, 2017). Segundo Pan et al. (2011), 44% do carbono orgânico (CO) das florestas do mundo é armazenado no solo. A retirada da floresta ou qualquer sistema natural e o uso inadequado de práticas agrícolas contribuem largamente para o processo de perda da matéria orgânica do solo (MOS). Diante disso, é fundamental tanto a preservação das florestas, quanto o incentivo à produção florestal como alternativa para recuperação de solos que sofreram degradação agrícola intensiva.

O processo de recuperação de solos degradados em relação à perda de matéria orgânica consiste, inicialmente, em acumular volume superior de matéria orgânica em relação à quantidade que é mineralizada. Por exemplo, leguminosas arbóreas, podem ser uma alternativa na recuperação destes solos degradados, pois além de produzir quantidade significativa de biomassa vegetal, estas espécies fixam  $N_2$  atmosférico por meio de simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, o que garante, após alguns anos, maiores teores de matéria orgânica e nitrogênio incorporados ao solo (Macedo et al., 2008). Gama-Rodrigues et al. (2008), e Costa et al. (2014), mostraram que as leguminosas florestais são uma alternativa para recuperação de pastagens degradadas, devido à sua capacidade de melhorar a fertilidade do solo por meio da ciclagem de nutrientes via

serapilheira. Nunes et al. (2016) mostraram o potencial destas leguminosas, em especial o sabiá, na disponibilização de N mineral ao solo.

Além disso, estas espécies são bem adaptadas no Brasil, por exemplo, o sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*) pode se adaptar em solos de textura arenosa por possuir baixa exigência em nutrientes e umidade (Gonçalves et al., 2002); a acácia (*Acacia auriculiformis*) que se adapta a condições adversas de solo e clima, pelo rápido crescimento e grande produção de biomassa e estoque de carbono (C) e nitrogênio (N) no solo e o ingá (*Inga sp.*) que apresenta grande potencial para acumular C e N até 100 cm de profundidade (Gomes et al, 2016).

Os agregados protegem fisicamente a MOS formando uma barreira física contra a ação dos microrganismos e apresentam um papel importante na dinâmica do C devido a sua influência na disponibilidade de energia e nutrientes para a atividade microbiana (García-Oliva, 2004). De acordo com as classes de agregados, o C apresenta diferentes níveis de labilidade: o C associado aos macroagregados (> 250  $\mu\text{m}$ ) é mais lábil, representado, em grande parte, pela matéria orgânica leve, enquanto que o C associado aos microagregados é mais recalcitrante, representado principalmente pela fração mais estável (Cadish et al., 2006; Bronick e Lal, 2005; Gupta e Germida, 1988; Tisdall e Oades, 1982). Six et al. (2000) mostraram que os macroagregados se desintegraram mais prontamente após a perturbação do que os microagregados, particularmente em solos sob cultivo intensivo.

Assim, a avaliação do potencial de mineralização do C ocluso nos agregados pode ser realizada por meio da obtenção de curvas de respiração, obtidas pelo fluxo de  $\text{CO}_2$  liberado em agregados após a desagregação física, por meio da maceração dos mesmos. Estudos prévios mostraram aumento da mineralização do C após a maceração, embora nem todos os estudos tenham revelado resultados consistentes (Bischoff et al. 2017). Por exemplo, Cadisch et al. (2006) avaliaram a quantidade de C mineralizado em amostras de agregados macerados e não macerados de solos sob cultivo de milho. Estes autores observaram que a liberação de  $\text{CO}_2$  nos agregados macerados foi maior do que nos agregados não macerados e explicaram que a maior liberação de  $\text{CO}_2$  foi proveniente da ruptura do agregado e disponibilização da matéria orgânica protegida. Estes resultados mostraram que 6% do C contido no interior dos agregados estava protegido fisicamente ao ataque microbiano.



O presente trabalho é consequência de uma série de estudos anteriores nas mesmas coberturas vegetais que buscaram avaliar a eficiência da introdução de leguminosas florestais na recuperação de pastagens degradadas (Manhães et al 2013; Faustino, 2014; Nunes et al. 2015). Alguns destes estudos apontaram que os solos sob estas leguminosas acumulam em média 150 Mg ha<sup>-1</sup> de C até 1m de profundidade e que os macroagregados, fração predominante principalmente nas camadas de solos superficiais, contribuem com mais de 50% deste C acumulado. Já os microagregados que representaram 29% das classes de agregados, aumentaram em quantidade ao longo do perfil e sua contribuição na acumulação de carbono orgânico do solo foi de aproximadamente 20% nos primeiros 10 cm e em torno de 40% na camada de 20cm.

Dentro deste contexto, a presente proposta visa avaliar a taxa de mineralização de C em macro e microagregados de solos sob diferentes leguminosas florestais, pastagem e capoeira em um sítio localizado em Conceição de Macabú, Rio de Janeiro.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Importância das leguminosas na recuperação de áreas degradadas

Com a introdução de espécies leguminosas e da incorporação de seus resíduos, há aumento na produção da matéria orgânica que estimula diversos processos químicos e biológicos, melhorando a estrutura do solo. Algumas espécies possuem sistema radicular profundo e ramificado que podem explorar camadas mais profundas do solo (Shrestha et al., 2015), além de produzir quantidades significativas de serapilheira. No processo de decomposição da serapilheira, parte do material orgânico é humificado, e quando incorporado, auxilia na recuperação de áreas degradadas, reestabelecimento as funções ecológicas do solo (Costa et al., 2004).

A serapilheira, juntamente com as raízes, favorece a entrada de C no solo. A importância da serapilheira consiste em liberar compostos orgânicos durante a sua transformação pelos microrganismos decompositores. Os compostos orgânicos favorecem a junção das partículas minerais do solo e aumentam a estabilidade dos agregados do solo. Adicionalmente, é fundamental na ciclagem biogeoquímica e aumento da disponibilidade dos principais macronutrientes de plantas e outros organismos. As raízes, juntamente com as hifas de fungos, também facilitam a ligação das partículas minerais do solo com o material orgânico, melhorando as características físicas do solo (Tisdall e Oades,

1982; Chenu et al., 1994). Para manter o solo produtivo, o manejo dos sistemas de uso da terra deve priorizar o aumento da diversidade espacial e temporal, bem como manter alto os níveis de matéria orgânica, que beneficiam a diversidade da vida no solo (Araújo Filho et al., 2007).

De acordo com Azevedo et al. (2007), a utilização de leguminosas para recuperação de áreas degradadas é vantajosa, devido a um grande número de espécies adaptadas no território brasileiro. Como exemplo, o Brasil possui espécies de leguminosas arbóreas que se adaptam a condições adversas de solo, como a *Acacia auriculiformes*, que se desenvolve bem em solos arenosos, ácidos e alagados. Espécies do gênero *Inga* spp se adaptam bem a solos ácidos e encharcados. Já a espécie *Mimosa scabrella* é considerada pioneira e adaptada a solos ácidos. A simbiose da leguminosa com bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos possibilita a incorporação de C e N ao solo, o que torna as leguminosas mais eficientes na absorção de nutrientes e tolerantes aos estresses ambientais.

A eliminação de práticas agrícolas convencionais no solo, associada ao uso de espécies arbóreas leguminosas com frequente aporte de resíduos vegetais, normalmente resulta em maior estabilidade de agregados. Isso favorece a proteção física do C, mantendo-o estocado no solo em longo prazo (Gama-Rodrigues et al., 2010). Essa proteção física é promovida pelos agregados, que consistem em um mecanismo de estabilização do C no solo (Six et al., 2000, 2004).

Portanto, a utilização de leguminosas arbóreas em ambientes que foram perturbados por técnicas agrícolas intensivas, como revolvimento do solo, é indicada para aumentar a MOS e recuperar áreas degradadas, por ser um método eficaz para aumentar os estoques de COS (Garcia-Franco et al., 2015), visto que modifica a quantidade do material depositado e estocado no solo.

## 2.2. Agregados do solo: Importante reservatório de C em áreas florestais

Os agregados são unidades básicas da estrutura do solo, resultantes da aproximação e da união entre as partículas, e pela ação de agentes cimentantes (Oades, 1984). Os agregados são fundamentais para estrutura do solo e

influenciam a porosidade, aeração do solo e no controle dos processos erosivos, que resultam em um ambiente adequado para o crescimento das plantas (Oades, 1984; Dexter, 1988). Em sistemas florestais, os fluxos de energia e C também são determinados pelos sistemas de manejo e podem alterar o tamanho e estabilidade dos agregados. Sistemas com alto aporte de resíduos vegetais, como os sistemas florestais, favorecem um maior número de agregados estáveis. Se há aumento no teor de MOS, há aumento da fertilidade, ciclagem de nutrientes e estabilidade da estrutura do solo (Li et al., 2007; Barreto et al., 2009). Segundo Lin et al. (2012), a ciclagem de nutrientes é considerada o principal processo de transferência de carbono da vegetação para o solo.

Há uma evolução cronológica dos principais estudos sobre a formação e estabilização dos agregados em solos e respectivos avanços no entendimento dos processos associados. Os estudos sobre agregação e estabilidade datam desde 1959, e foram sumarizados por Six et al. (2004) e Braida et al. (2011) da seguinte forma: Emerson (1959), estudou sobre a orientação de partículas de argila e formação de domínios estruturais. Edwards e Bremner (1967) teorizaram a formação de microagregados a partir da interação de partículas de argila e de matéria orgânica; Tisdall e Oades (1982) idealizaram a teoria da hierarquização na formação de agregados. Esta teoria pressupõe que os macroagregados (> 250  $\mu\text{m}$ ) são formados pela união de microagregados (<250  $\mu\text{m}$ ) que se formam a partir da junção das partículas de argila com outros compostos presentes no solo, a partir de agentes ligantes persistentes, como óxidos e hidróxidos de Fe e Al; e os macroagregados são formados a partir da junção dos microagregados por agentes ligantes temporários, como hifas de fungos e raízes.

Oades (1984), por sua vez, afirmou que inicialmente há a formação primária dos macroagregados por meio da ação de agentes ligantes, o que promove a formação dos microagregados em seu interior. Em outras palavras, a formação dos macroagregados acontece através da ação das raízes e hifas fúngicas que mantêm unidas as partículas do solo. Por serem agentes temporários de ligação, são pouco persistentes e, portanto, facilmente decomponíveis. Os fragmentos oriundos da decomposição destes materiais ficam cobertos de mucilagem, liberada pelos microrganismos durante o processo de decomposição. Esse material, então, fica incrustado com argilas, resultando na formação dos microagregados dentro dos macroagregados. Elliot e Coleman

(1988), Dexter (1988) e Kay (1990) estabeleceram o princípio da exclusão de porosidade baseado na hierarquia de agregação, auxiliando o entendimento da contribuição de diferentes componentes à estabilidade de distintas classes de agregados. Oades e Waters (1991) validaram a teoria da hierarquização dos agregados apenas para solos onde a matéria orgânica é o principal agente de estabilização.

A hipótese de Oades (1984) foi confirmada por Six et al. (2000), mas, para estes autores esse processo só ocorre em sistemas de produção conservacionistas do solo, onde não há utilização de maquinários, permitindo-se a acumulação de MOS. O mesmo foi confirmado por Lal (2004), que afirmou que sistemas conservacionistas tendem, com o tempo, a apresentar incremento dos teores de COS no solo. Assim, os agregados dos solos são influenciados pelas práticas de manejo (Wohlenberg et al., 2004; Portugal et al., 2010; Ribon et al., 2014). A matéria orgânica altera as características físicas do solo, já que, a contínua deposição de resíduos vegetais estimula a formação de agregados (Six et al., 2002; Braidá et al., 2011).

O efeito físico do crescimento radicular também possui papel importante na formação e estabilização dos agregados. Estudos de Bronick e Lal (2005), afirmaram que existe relação entre tamanho das raízes e o aumento da agregação e teores de C no solo por serem capazes de agrupar fisicamente as partículas de solo. À medida que as raízes se desenvolvem há a aproximação de partículas, que resulta no secamento no solo ao seu redor e aumento da coesão entre partículas. Este processo é intensificado pela liberação de exsudatos radiculares (carboidratos) que são fonte de C e energia para os microrganismos que aceleram a sua atividade e a produção de polissacarídeos que estabilizam agregados (Brady Weil., 2013, Six et al., 2004).

O efeito sinérgico dos componentes de um sistema florestal (serapilheira, MOS e ciclagem de nutrientes) determina a manutenção de agregados no solo (Lin et al. 2012). O cultivo de espécies diferentes e práticas de manejo que adicionem matéria orgânica nos solos contribuem para o rearranjo das partículas do solo, promovendo a melhoria da qualidade de agregação (Ribon et al., 2014).

A importância do estudo de agregados em sistemas florestais em fase de regeneração está ligada ao fato de que a agregação do solo atua como indicador de sua qualidade, com influência direta na porosidade, retenção de água e

resistência à compactação, auxiliando dessa forma na manutenção de um ambiente ideal para o desenvolvimento vegetal. Isso explica a relevância da vegetação na formação dos agregados. Entretanto, segundo Fernández et al. (2010), é necessário estudar as classes de agregados, pois o nível de labilidade do carbono contido nas suas classes varia de acordo com o tipo de solo, camadas ou fatores como vegetação e manejo. A agregação pode contribuir para acúmulo de C, pela proteção física das moléculas orgânicas realizando o estoque desse elemento no solo (Jastrow et al., 1996; Six et al., 2000, 2004; Vezzani e Mielniczuk, 2011), o que demonstra a importância dos agregados como reservatório de C. Essa proteção física é importante para a manutenção e aumento nos estoques de matéria orgânica particulada (MOP), que possui baixa recalcitrância e pouca interação com os minerais do solo. Todavia, a magnitude desta proteção está diretamente relacionada aos processos de formação e estabilização de agregados (Oades, 1984).

### 2.3. Mineralização do C

O processo de decomposição da MOS contribui com as emissões de CO<sub>2</sub> (Aquino et al., 2005). O ciclo da decomposição da MOS pode ser rápido, como é o caso dos solos bem drenados, ou, muito lento, nos solos com excesso de água ou ácidos. No primeiro exemplo, a atividade biológica se desenvolve intensamente por meio de um intenso crescimento de microrganismos aeróbicos, que promovem uma biodegradação rápida de materiais vegetais, e cujo produto final é a liberação de carbono mineralizado (C-CO<sub>2</sub>) (Benito et al., 2006).

As formas de fácil mineralização pelos microrganismos do solo correspondem ao C lábil (carbono orgânico solúvel ou dissolvido), servindo de fonte de nutrientes para as plantas e de energia e C aos microrganismos do solo. Se o resíduo adicionado ao solo for rico em C, poderá acelerar a atividade microbiana, pois o C é usado como fonte de energia para seus processos metabólicos, realizando a oxidação da matéria orgânica (Eswaran et al., 1993). No entanto, a degradabilidade de um resíduo está relacionada a C/N, acidez e a natureza molecular dos compostos dos diferentes substratos ou componentes químicos que determinarão sua recalcitrância (Santos et al., 2008).

Os resíduos podem ser classificados de acordo com o grau de mineralização pelos microrganismos e persistência no solo. Assim, podem ser classificados em prontamente mineralizáveis (glicose, ácidos orgânicos e ácidos graxos, celulose e hemicelulose), moderadamente mineralizáveis, moderadamente persistentes (amido, lipídios, peptídeos e proteínas não queratinizadas) a muito persistentes como lignina, suberina, ceras, e hidrocarbonetos oleosos (Diekow, 2003).

A fração composta por substratos prontamente decomponíveis se transforma rapidamente em CO<sub>2</sub> e biomassa microbiana. Em seguida são transformados os componentes químicos mais resistentes e a própria fração da nova biomassa morta (Moreira e Siqueira, 2006). Segundo Loss et al. (2011), a baixa disponibilidade de nutrientes dificulta a ação dos microrganismos decompositores (Resende et al. 2003), e o resultado disso é que a adição de material orgânico passa a ser maior do que a mineralização, com o conseqüente acúmulo de matéria orgânica. Então, é possível concluir que a qualidade do resíduo incorporado ao solo, bem como a complexidade e as características físicas e biológicas do solo interferem na mineralização da matéria orgânica (Palm e Sanchez, 1991).

O processo de decomposição é influenciado pela qualidade da matéria orgânica, que por sua vez, altera a dinâmica de mineralização. Mais estudos sobre o tema são necessários para o entendimento dos processos que atuam sob os sistemas agrícolas e recuperação de áreas (Lampkin e Padel, 1994).

A mineralização do C do solo pode ser estimada pela medição das emissões de CO<sub>2</sub> durante a incubação de amostras em condições de laboratório, com medições periódicas da quantidade de CO<sub>2</sub> liberado. Ao final do período de incubação são determinadas as taxas acumuladas de mineralização do material (Cotrufo et al., 2016, Schmidt et al., 2011). A decomposição do material orgânico e a disponibilização de C mineralizado, em função do tempo, podem ser estimadas com a utilização de modelos matemáticos (Silva-Olaya et al., 2013). Geralmente, a dinâmica da mineralização da matéria orgânica de resíduos aplicados em solos tem sido expressa por uma equação de cinética de reação de primeira ordem (Stanford e Smith, 1972).

A mineralização do C por meio da determinação da taxa de liberação de CO<sub>2</sub> é reconhecida como um importante indicador para avaliar efeitos ambientais

e antropogênicos (Gama-Rodrigues, 1997), pois fornece índices para detectar melhorias na qualidade dos solos. Adicionalmente, podem ser usados para medir a dinâmica da decomposição da matéria orgânica em agregados e do nível de labilidade do C, assim como estabilidade dos agregados do solo.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição da área de estudo

O solo foi coletado no município de Conceição de Macabú, RJ, em área experimental pertencente à fazenda Carrapeta (Figura 1), (21 ° 37' S e 42 ° 05' W). O clima da região pela classificação de Köppen, é do tipo Am, quente e úmido. A precipitação pluvial média anual é de 1.400 mm, com período chuvoso entre outubro e março e seco entre junho e setembro. O solo é de textura argilo-franco-arenosa em todas as coberturas vegetais e classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013), tendo como material de origem rochas graníticas-gnáissicas que compõem o embasamento cristalino regional. O relevo é ondulado, com declividade em torno de 0,35 mm (Faustino, 2018; Gama-Rodrigues et al., 2008).

O estudo foi realizado em área experimental com cinco coberturas vegetais em parcelas de 1.500 m<sup>2</sup> (75 x 20 m). As coberturas vegetais foram compostas de três plantios puros de leguminosas arbóreas: *Acacia auriculiformis* (Acácia), *Mimosa caesalpinifolia* (Sabiá) e *Inga* spp (Ingá). Os sistemas foram implantados em dezembro de 1998, por meio de mudas com 30 cm de altura, em espaçamento de 3 x 2 m, em covas de 20 x 20 x 20 cm, que receberam 150 g de superfosfato simples, 10 g de cloreto de potássio e 10 g de FTE-BR12. Todas as plantas foram inoculadas com estirpes selecionadas de bactérias fixadoras de N<sub>2</sub>

atmosférico (BR 3465 e BR 3609 para *Acacia auriculiformis* e BR 3407 e 3446 para *Mimosa caesalpinifolia*) e fungos micorrízicos (um combinado de *Gigaspora margarita* e *Glomus clarum* para todas as espécies de leguminosas).

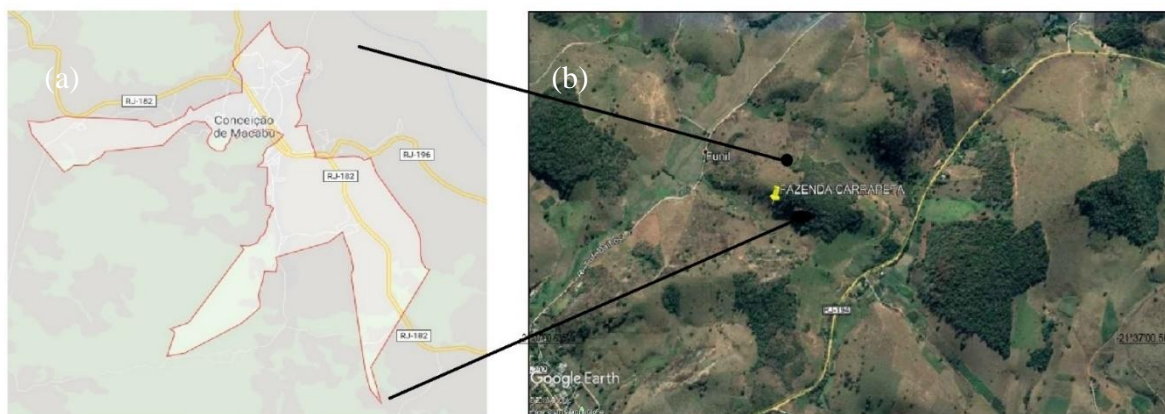


Figura 1: Localização da área experimental: (a) Município de Conceição de Macabu, RJ. (Google. maps); (b) Fazenda Carrapeta (SIRGAS2000).

Duas coberturas vegetais, adjacentes aos plantios de leguminosas, foram avaliadas e utilizadas como referência: uma pastagem degradada, que representa a vegetação anterior ao plantio das espécies arbóreas, com predomínio de capim-gordura (*Melinis minutiflora*), grama-pernambuco (*Paspalum maritimum*) e sapê (*Imperata brasiliensis*) e um fragmento florestal de Mata Atlântica (capoeira) em sucessão secundária (Gama-Rodrigues et al., 2008, Manhães et al., 2013, Faustino, 2014).

### 3.2. Descrição da coleta

Nos cinco sítios de estudo foram realizadas coletas de solo com 3 repetições de campo (amostras compostas), totalizando 15 amostras de solos. As amostras compostas foram provenientes de 10 amostras simples, coletadas em espaçamentos equidistantes, na profundidade de 0–10 cm. Após a coleta, as amostras foram levemente destorroadas nos pontos de quebra, a fim de separar os grandes torrões em pequenos, secos ao ar por um período de 24 horas.

### 3.3. Separação dos agregados do solo

As classes de agregados foram obtidas por tamizamento via seco: utilizou-se um jogo de peneiras de malhas de diferentes diâmetros (2,00 mm; 0,25 mm e; 0,053 mm) (Gupta e Germida, 1988). Adicionaram-se 150 g de solo de cada amostra composta proveniente de cada cobertura vegetal no jogo de peneiras, considerando 15 minutos de agitação em aparelho agitador, para obtenção das classes de agregados. As classes obtidas foram: 2,00-0,25 mm; 0,25-0,053 mm; (Figura 2).

Classes de agregados	Tamanho das peneiras
Fração > 2,00 mm	2,00mm
Macroagregados - 2,00-0,25 mm	0,250mm
Microagregados 0,25-0,053 mm	0,053mm
Fração silte + argila <0,053 mm	Fundo



Figura 2: Separação das classes de agregados do solo por tamizamento via seco com jogo de peneira de diferentes diâmetros.

### 3.4 Maceração dos agregados do solo

Os macro e microagregados foram macerados manualmente usando-se garal até que todos os agregados fossem visivelmente quebrados. Com esse procedimento, obtiveram-se amostras maceradas para cada classe de agregados. O princípio da metodologia considera que após a maceração a matéria orgânica contida no interior dos agregados será disponibilizada para mineralização pelos microrganismos. Assim, a quantidade de CO<sub>2</sub> liberado irá variar de acordo com o

nível de labilidade da matéria orgânica contida no interior dos agregados (Cadisch et al., 2006).

### 3.5 Pré-tratamento das amostras de solo

Antes da incubação, as amostras de solo foram incubadas em recipientes fechados, em temperatura entre 22 e 25 °C, por sete dias, contendo um frasco com água e outro com NaOH 1 mol L<sup>-1</sup>, para absorver o CO<sub>2</sub> liberado do solo, a fim de se eliminar o efeito do peneiramento. Após a pré-incubação, foi realizada a padronização da umidade das amostras para 60% da capacidade máxima de saturação do solo (Grisi, 1995).

### 3.6 Determinação da capacidade de saturação do solo

Para determinação da capacidade de saturação do solo, foram obtidos quatro pesos (A, B, C e D, respectivamente):

- Obtenção do peso A: um cadinho de Gooch com poros de porcelana e diâmetro em torno de 10 µm foi seco e pesado;

- Obtenção do peso B: o cadinho foi mergulhado em água para saturar o filtro de porcelana, onde foi removido o excesso de água da parede do cadinho usando-se um papel absorvente; logo após, o mesmo foi pesado com filtro umedecido;

- Obtenção do peso C: em cada cadinho preso a um suporte foram adicionados 25g de solo previamente seco em estufa a 105°C. O solo contido no cadinho foi nivelado manualmente através de movimentos rotacionais. Posteriormente, a parte inferior do cadinho foi mergulhada em um béquer com água, em um nível que cobriu a placa porosa. Nessa etapa, evitou-se que se formassem bolhas de ar na água por baixo do filtro de porcelana. Deixou-se o filtro imerso na água por duas horas. Posteriormente, removeu-se o cadinho e enxugaram-se as paredes com papel absorvente para pesá-la;

- Obtenção do peso D: os cadinhos foram secos a 105°C, durante pelo menos 6 horas, e posteriormente pesados. O cálculo da capacidade de saturação (Equação 1) foi feito da seguinte forma:

$$(1) \text{ Capacidade de saturação} = ((S_{sat} - S_{sec}) * 100) / S_{sec}$$

Em que:

$$S_{sat} = C - B;$$

$$S_{sec} = D - A$$

### 3.7 Incubação das classes de agregados

A incubação foi realizada com 3 repetições de laboratório, contento macro e microagregados (macerados e não macerados) dos solos sob as diferentes coberturas vegetais, totalizando 180 amostras. A incubação foi realizada colocando-se cada um dos frascos de solo em um pote de vidro que foi mantido hermeticamente fechado. As amostras foram incubadas por um período médio de 40 dias e mantidas em temperatura ambiente.

A respiração do solo foi estimada pela quantidade de CO<sub>2</sub> liberada inicialmente a cada três dias (nos primeiros dez dias) e, em seguida, a cada 5 dias, durante um período total de 40 dias. Foram pesadas amostras contendo 40 g das diferentes classes de agregados (maceradas e não maceradas) + 1 g de solo fresco (que representa o inóculo com nova população de microrganismos). Cada pote de vidro continha um frasco com 10 mL de NaOH 1M e um frasco com água, a fim de se manter a umidade constante até o final da incubação. No final de cada período de incubação, os frascos com NaOH foram titulados com HCl 0,5 M e adicionou-se 2 mL de cloreto de bário (BaCl<sub>2</sub>) para completa precipitação do CO<sub>2</sub>. Os frascos de NaOH foram repostos para o novo período de incubação até o tempo final. Para manutenção da umidade de cada tratamento até o final da incubação, foi realizada a pesagem do solo, mantendo-se a umidade a 60 % da capacidade de saturação (Azuaje et al., 2012).

A quantidade acumulada de CO<sub>2</sub> liberado foi calculada pela seguinte fórmula (Equação 2):

$$(2) \text{ CO}_2\text{-C} = \frac{(V_{branco} - V_{trat}) * N * 0,006 * 10^6}{S_{sec}}$$

em que:

CO<sub>2</sub>-C: teor de CO<sub>2</sub> liberado durante o período de incubação em µg CO<sub>2</sub>-C g<sup>-1</sup> Solo;

B: volume médio de HCl (ml) gasto nas amostras em branco;

A: volume de HCl (ml) de cada tratamento;

N: a normalidade do HCl;

S<sub>sec</sub>: peso do solo seco.

#### 4. Análise Estatística

O processo de mineralização tem sido tratado na literatura como um evento de natureza não linear (Jenny et al. 1949; Stanford e Smith, 1972; Sollins et al. 1996; Matos et al. 1998; Febrer et al. 2002; Boeira et al. 2002; Martines et al. 2006). A distribuição cartesiana descrevendo o processo de mineralização do C foi testada com os modelos de Gompertz, Logístico, Mitcherlich e os casos particulares, como linear, sem e com intercepto, e o modelo quadrático. Os modelos foram os seguintes:

$$y = b_1 * x \quad (3)$$

$$y = b_0 + b_1 * x \quad (4)$$

$$y = b_0 + b_1 * x + b_2 * x^2 \quad (5)$$

$$y = Pi = a(1 + b e^{-kti}) - 1 \quad (6)$$

$$y = Pi = a(1 - e^{-kti}) \quad (7)$$

$$y = a \cdot \exp \exp (b - kt) \quad (8)$$

Os modelos descritos pelas equações (3) – (8) representam os valores esperados ( $\mu_t$ ) da mineralização em função do tempo e foram ajustados obedecendo à seguinte versão estocástica:

$$y = \mu_t + e_t \quad (9)$$

Na qual  $e_t$  representa os erros aleatórios. Contudo, a variabilidade dos erros foi modelada de acordo com as seguintes possíveis funções de variância:

$$\sigma_{2t} = \sigma^2 \quad (10)$$

$$\sigma_{2t} = \sigma^2 * |\mu_t|^{2\psi} \quad (11)$$

A correlação entre medidas longitudinais ou autorregressiva ( $\phi$ ) foi modelada de acordo com a seguinte expressão:

$$\sigma^2_t = \sigma^2 * |\phi|^{t-t'}. \quad (12)$$

Esta função permite avaliar o efeito de medidas repetidas tomadas na mesma unidade experimental ou repetição (medidas longitudinais). Além disso, foram testados efeitos das unidades experimentais sobre os parâmetros, o que demandou o emprego de ferramentas de ajuste de modelos não lineares mistos (Pinheiro e Bates, 2000, Littell et al., 2006, Vonesh, 2012).

A decisão sobre a qualidade de ajuste dos modelos foi feita com base na teoria de informação (Burnham e Anderson, 2004). O critério inicial de avaliação da qualidade de ajuste empregado foi o de Akaike (1974) corrigido para o tamanho amostral (Sugiura, 1978; Cavanaugh). Em seguida, foram computadas medidas de qualidade de ajuste derivadas do critério de Akaike corrigido, isto é, a diferença entre os valores de Akaike de cada modelo e o menor valor de Akaike encontrado dentro do conjunto de modelos ajustados, a probabilidade do modelo ( $w_r$ ) e a razão de evidência ( $ER_r$ ), assim calculados:

$$\Delta_r = AICc_r - \text{mínimo}(AICc_r) \quad (13)$$

$$w_r = \exp(-\Delta_r/2) / \sum_{r=1}^R \exp(-\Delta_r/2) \quad (14)$$

$$ER_r = \text{máximo}(w_r) / w_r \quad (15)$$

Tais medidas são computadas para os r-ésimos modelos avaliados com ou sem efeitos aleatórios sobre os parâmetros e aqueles que desafiam as pressuposições tradicionais de homocedasticidade e independência dos erros aleatórios. Os dados foram analisados utilizando a ferramenta SAS (Statistical Analysis System) e Software R.

## 5. RESULTADOS

### 5.1. Modelagem da mineralização de C-CO<sub>2</sub>

O ajuste do modelo de mineralização do C-CO<sub>2</sub> empregou ferramentas da teoria da informação para avaliação da sua acurácia. Os modelos Logístico e Linear apresentaram baixo ajuste segundo o critério de informação de akaike e medidas dele derivadas, como a probabilidade do modelo e a razão de evidência (Littel et. al, 2002), que pode ser atribuído primeiramente à alta correlação entre os parâmetros analisados. Os dados de mineralização que apresentaram convergência juntamente com os coeficientes de ajuste, forneceram informações para se considerar o modelo de Gompertz (Gompertz e Phiplos, 1825).

Uma vez que o melhor modelo escolhido foi o de Gompertz por ter apresentado, segundo os critérios anteriores, aderência com grau de incerteza  $(1 - w_r)$  muito pequeno ( $4,59 \times 10^{-9}$ ), esse modelo pôde ser considerado inequivocamente como a melhor escolha para representar a realidade contida nos dados, por também ser eficiente à interpretação biológica de seus parâmetros (Tabela 1). Assim, foi empregado o procedimento NLMIXED do SAS (SAS University Edition, SAS Systems Inc., Cary, Carolina do Norte, EUA) para realizar as previsões de mineralização e da taxa média de mineralização diária conforme a programação descrita por Araújo et al. (2015) e Vieira et al. (2018). A taxa de mineralização e a taxa média de mineralização diária foram definidas pelas



equações  $y = a \cdot \exp(-kt)$  e  $\mu_t = 1/y \cdot dy/dt = -k \cdot \exp(-kt)$ , respectivamente.

Tabela 1. Em que: D[,] = matriz diagonal; VP = função potência para a variância; corr = correlação autorregressiva contínua; G.L. = grau de liberdade; Llike= log da função de verossimilhança; AIC<sub>c</sub> = critério de informação de Akaike corrigido para o tamanho da amostra;  $\Delta$  AIC = diferença entre os Akaike e o menor valor no conjunto avaliado; W<sub>r</sub>= probabilidade do modelo; RE= razão de evidência do ajuste

	Modelo			
	Linear	Logístico	Gompertz	Gompertz
<b>Matriz de Efeitos aleatórios</b>	D[b0,b1]	D[a,k]	a	D[a,k]
<b>Variância</b>	VP+corr	VP+corr	VP+corr	VP+corr
<b>G.L.</b>	65	65	64	66
<b>Llike</b>	-2741.08	-2805.71	-2770.02	-2720.58
<b>AIC<sub>c</sub></b>	5630.3	5759.5	5685.6	5591.9
<b><math>\Delta</math> AIC</b>	38.4	167.6	93.7	0
<b>W<sub>r</sub></b>	4.58718E-09	4.03759E-37	4.50094E-21	≈ 1.0
<b>RE</b>	217998774.7	2.47672E+36	2.22176E+20	1

## 5.2 Mineralização do C em macro e microagregados do solo

Em todas as coberturas vegetais, as curvas de C mineralizado em amostras maceradas e não maceradas mostraram uma ligeira inclinação crescente no período inicial de incubação seguido por um aumento progressivo, indicando menor quantidade acumulada de C até o 10º dia de incubação, e aumentos subsequentes em função do tempo de incubação. A quantidade de C mineralizado foi maior entre os 35º e 40º dia de incubação (Figuras 3). Estes resultados foram semelhantes aos trabalhos de Araújo et al. (2001), Gonçalves et

al. (2001) e Barreto et al. (2010), que constataram que a quantidade de C mineralizado foi menor durante os primeiros períodos de incubação. Nunes et al. (2015), nas mesmas coberturas vegetais do presente estudo, mostraram que a curva de mineralização de C ajustou-se ao modelo exponencial e que após 20 semanas de incubação, ainda havia C disponível para mineralização pelos microrganismos.

Durante os 40 dias de incubação ocorreu acréscimo de C mineralizado nos macroagregados macerados comparativamente aos não macerados em todas as coberturas vegetais; os valores variaram entre 400 a 615  $\mu\text{gCO}_2 \text{g}^{-1}$  nos não macerados e de 523 a 795  $\mu\text{gCO}_2 \text{g}^{-1}$  nos macerados (Figura 3).

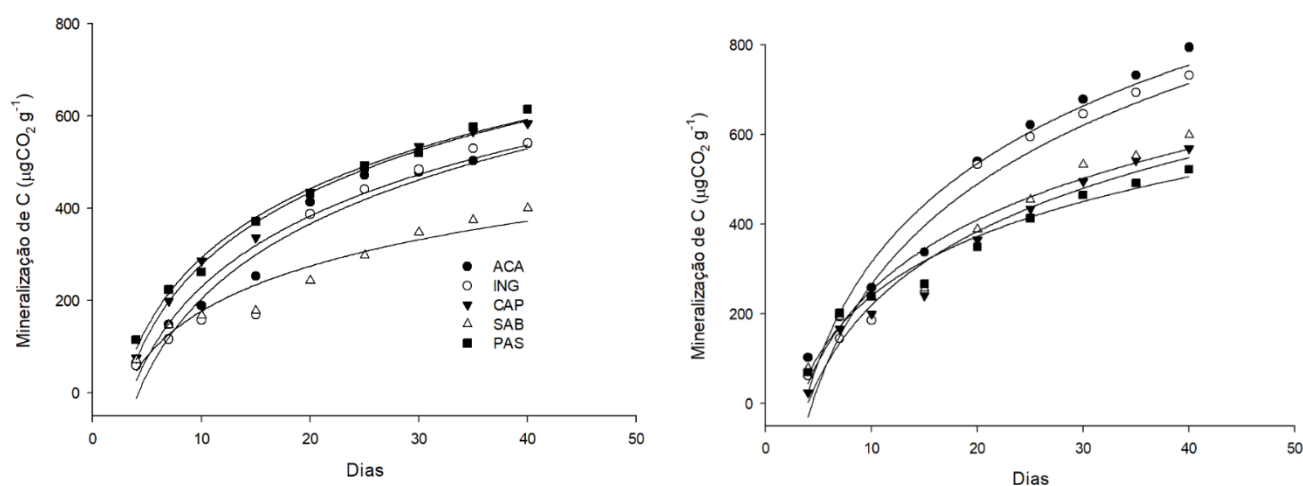


Figura 3. Valores observados (símbolos) e esperados (linhas) de C mineralizado de acordo com o tempo de incubação nos macroagregados não macerados (a) e macerados (b) de solos sob diferentes coberturas vegetais. ACA, acácia; ING, ingá; CAP, capoeira; SAB, sabiá; e PAS, pasto.

As curvas também mostraram que os macroagregados dos solos sob acácia, ingá e, em menor proporção o sábia, apresentou maiores quantidades de C mineralizado após a maceração quando comparados à quantidade de C mineralizado nos solos sob capoeira e pasto. Vale ressaltar, que os macroagregados macerados da acácia e sabiá tiveram um aumento de 49,73% e

47,03%, respectivamente e do ingá de 35,27%. Já a capoeira e o pasto não apresentaram respostas à maceração (Figura 4).

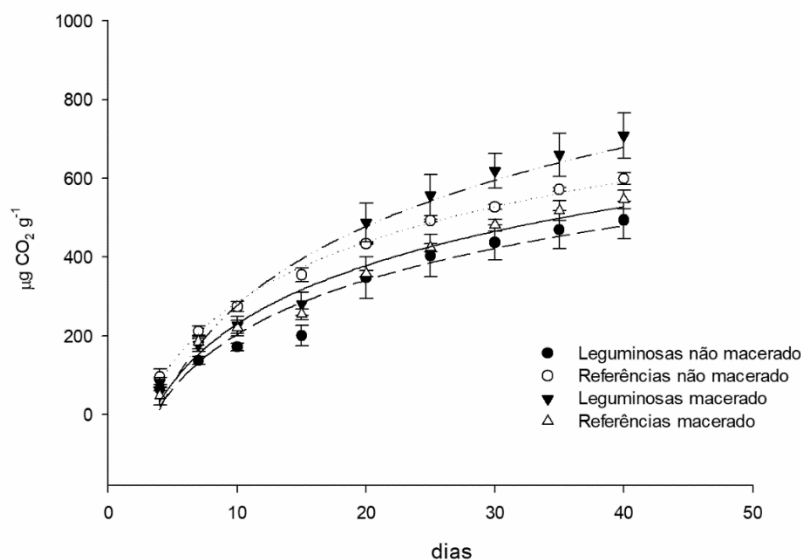


Figura 4. Diferença os sistemas de leguminosas e os de referência (pasto e capoeira) em relação aos macroagregados (macerados e não macerados).

Adicionalmente, a curva da taxa específica de mineralização de C demonstra que não houve variação entre as coberturas vegetais nos macroagregados não macerados ao longo do período de incubação, apenas o sabiá apresentou um valor ligeiramente menor. Após a maceração, por outro lado, os solos sob leguminosas e capoeira apresentaram maiores taxas até os 15 primeiros dias e, a partir da segunda semana de incubação, as diferenças entre as coberturas vegetais foram irrelevantes (Figura 5).

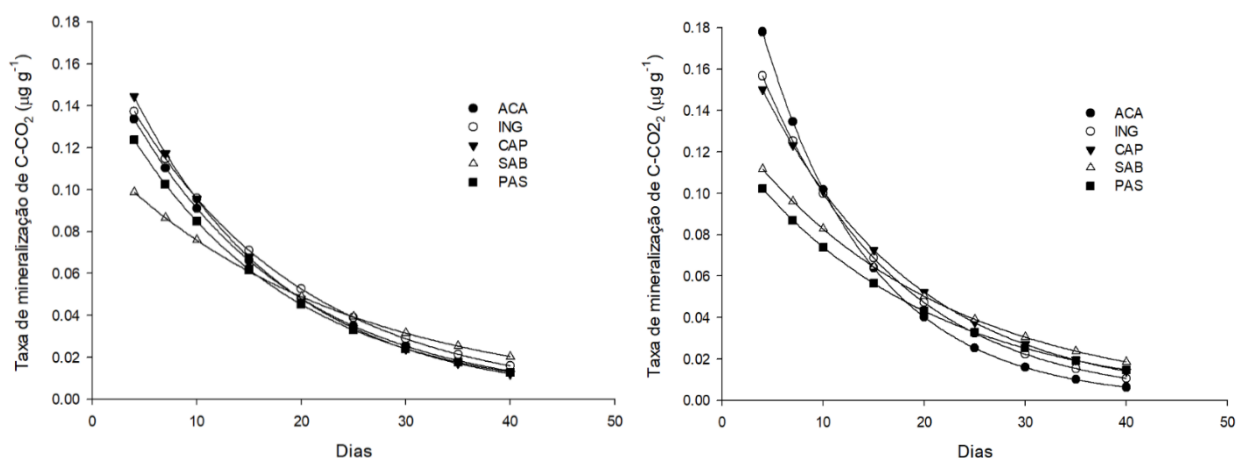


Figura 5. Taxa específica de mineralização de C com o tempo de incubação nos macroagregados não macerados (a) e macerados (b) de solos sob diferentes coberturas vegetais. ACA: acácia; ING: ingá; CAP: capoeira; SAB: sabiá; PAS: pasto.

As curvas de C mineralizado nos microagregados não macerados em todas as coberturas vegetais foram similares às obtidas para os macroagregados (Figura 6). Em todas as coberturas vegetais, a maceração dos microagregados também promoveu acréscimo, porém em menor valor, na quantidade acumulada de C mineralizado durante os 40 dias de incubação. Os valores variaram entre 485 e 642  $\mu\text{g} - \text{CO}_2 - \text{g}^{-1}$  nos microagregados não macerados e nos macerados de. O aumento de C mineralizado após a maceração dos microagregados dos solos sob acácia e ingá foi de 34,69% e 22,04%, respectivamente. Já nos solos sob sabiá, capoeira e pasto apresentaram menor resposta à mineralização após a maceração, com aumentos de 31,69%, 17,36% e 17,93%, respectivamente (Figura 6b) . De forma geral as leguminonas mineralizaram mais C do que as áreas de referência (Figura 6).

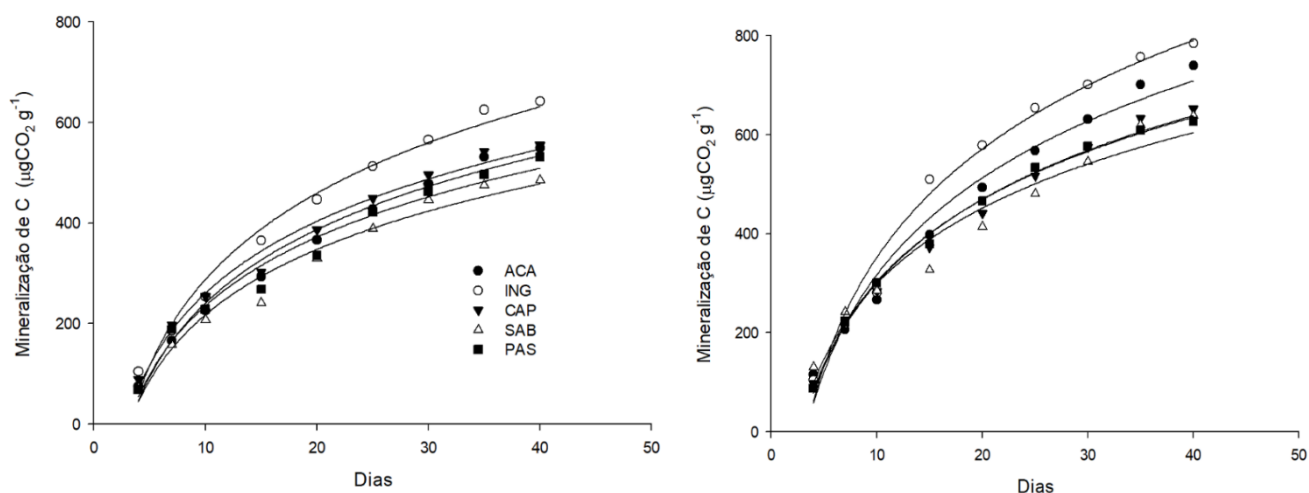


Figura 6. Valores observados (símbolos) e esperados (linhas) de C mineralizado de acordo com o tempo de incubação nos microagregados não macerados (a) e macerados (b) de solos sob diferentes coberturas vegetais. ACA, acácia; ING, ingá; CAP, capoeira; SAB, sabiá; e PAS, pasto.

A taxa específica de mineralização de C nos microagregados não macerados apresentou ligeira variação até os primeiros 15 dias de incubação. A partir da segunda semana quase não houve diferença entre as coberturas vegetais (Figura 7a). Após a maceração, os microagregados dos solos sob ingá apresentaram maior taxa de mineralização nos primeiros 10 dias e as demais coberturas quase não variaram ao longo do tempo de incubação (Figura 7b). Após a maceração em todos os sistemas e tratamentos o fluxo de CO<sub>2</sub> aumentou ligeiramente como mostra os gráficos 8ab

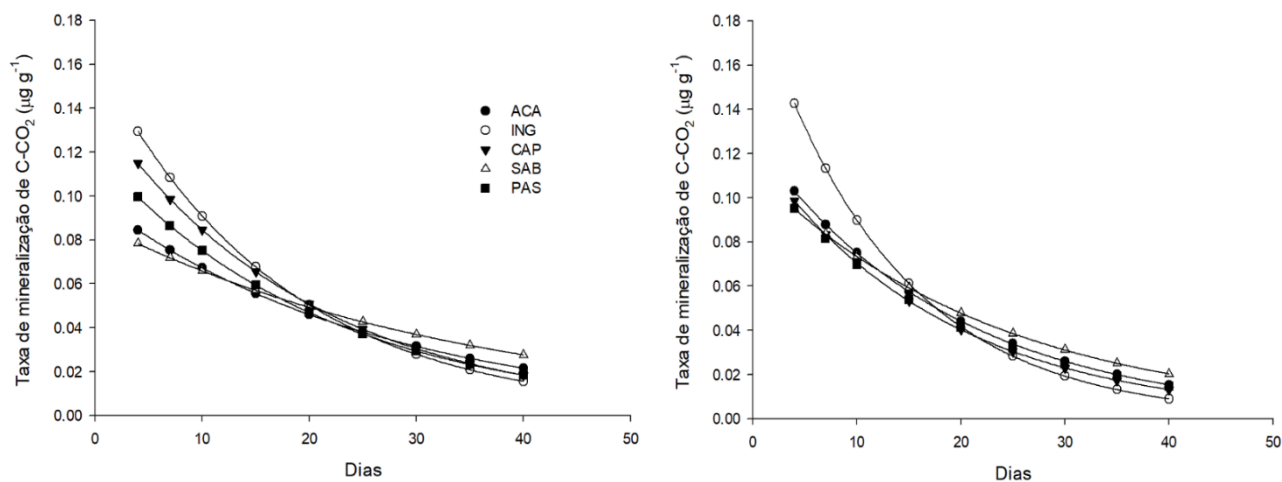


Figura 7. Taxa específica de mineralização de C com o tempo de incubação nos microagregados não macerados (a) e macerados (b) de solos sob diferentes coberturas vegetais. ACA: acácia; ING: ingá; CAP: capoeira; SAB: sabiá; PAS: pasto.

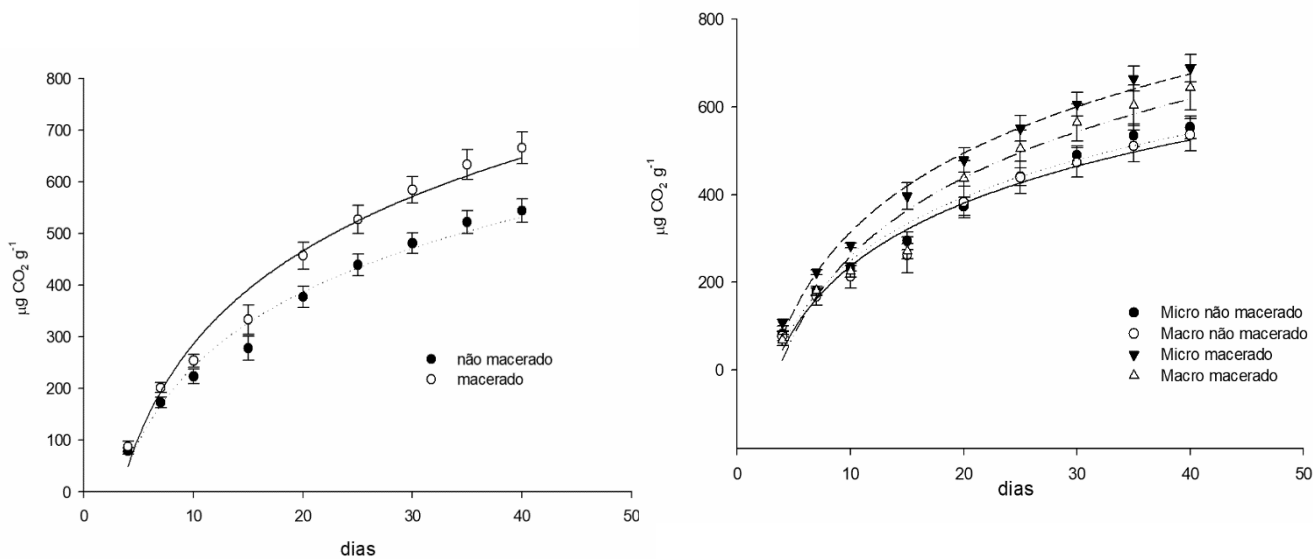


Figura 8. (a) Inclui todos os sistemas e todas as classes de agregados em tendência geral. (b) Inclui somente os sistemas com leguminosas e diferencia macro e microagregados (macerados e não macerados).

## 6. DISCUSSÃO

O efeito da maceração no aumento do C mineralizado nos macroagregados pode ser justificado pelo fato de que nesta maior fração, há participação de agentes cimentantes transitórios e temporários (os primeiros são polissacarídeos facilmente degradados pelos microrganismos e os últimos são hifas de fungos e raízes) que conferem menores níveis de recalcitrância a esta fração, o que facilita a ação pela microbiota do solo (Tisdall e Oades, 1982).

Além disso, as leguminosas florestais caracterizam-se pela produção significativa de resíduos vegetais de baixa relação C/N e baixa relação lignina+polifenol/N, o que proporciona uma serapilheira de alta qualidade nutricional que favorece a sua mineralização pelos microrganismos (Manhães et al., 2013; Lin et al. 2012), o que pode explicar a diferença entre as curvas de mineralização dos solos sob leguminosas e os solos sob as áreas de referência (capoeira e pastagem)

Segundo Six et al. (2000), em sistemas naturais e, ou, conservacionistas sem revolvimento do solo, a formação dos macroagregados acontece em torno de resíduos vegetais frescos recém-adicionados que são transformados pela ação da microbiota em matéria orgânica particulada intra-agregado 'grosseira' (MOPi 'grosseira'). Esta MOPi 'grosseira' após fragmentação e decomposição transforma-se em matéria orgânica particulada intra-agregado 'fina' (MOPi 'fina'), que se incrusta aos argilominerais e compostos microbianos, forma os microagregados no interior dos macroagregados. Assim, tem-se quantidade

significativa de matéria orgânica transformada e estável no interior dos macroagregados que, após a maceração, torna-se disponível para a microbiota, o que poderia explicar o maior fluxo de CO<sub>2</sub> nesta maior fração, quando comparado aos microagregados.

O reduzido incremento na quantidade de C mineralizado nos microagregados após a maceração durante a incubação, pode ser explicado pelo fato deste material orgânico que funciona com agente cimentante na formação desta menor fração estar menos acessível à mineralização pelos microrganismos (Stemmer et al., 1998). Os compostos orgânicos envolvidos na formação dos microagregados são substâncias húmicas e outras macromoléculas orgânicas de alto grau de polimerização e elevado peso molecular intrinsecamente resistente ao ataque microbiano. Além disso, estas moléculas orgânicas encontram-se protegidas quimicamente pela associação às superfícies minerais, ou pela localização no interior de agregados, em poros inacessíveis aos microrganismos (Six et al., 2002; Sollins et al., 1996).

Estes resultados demonstram a influência da ruptura dos macro e microagregados no aumento da liberação de CO<sub>2</sub>, decorrente da ação dos microrganismos junto a este C que estava protegido nos agregados antes da maceração. Estudos de Elliott (1988), Gupta e Germida (1988) e Beare et al. (1994), também encontraram um aumento significativo na mineralização de C em agregados após a maceração. A maceração dos agregados libera o C orgânico do solo que estava protegido no interior dos agregados (Wendling, 2005). Drury et al. (2004), ao avaliar a mineralização do C em agregados macerados e não macerados, semelhante ao observado no presente trabalho, mostraram que houve produção de CO<sub>2</sub> elevada após a maceração de macro e microagregados. Os mecanismos de estabilização e formação da MOS nos agregados do solo podem determinar sua resistência à mineralização em relação às coberturas estudadas, podendo explicar os diferentes fluxos de mineralização de C nos macro e microagregados.



## 7. RESUMO E CONCLUSÕES

A proteção física da matéria orgânica do solo através da sua oclusão dentro de agregados é considerada um importante mecanismo para reduzir a biodisponibilidade e acessibilidade desta matéria orgânica por microrganismos e enzimas do solo. O carbono fisicamente protegido ao se tornar disponível à ação da microbiota gera um fluxo de CO<sub>2</sub> que pode servir como um indicador de labilidade em agregados de diferentes tamanhos. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar as taxas de mineralização de carbono em macro e microagregados de solos sob diferentes leguminosas arbóreas, pastagem e capoeira em um sítio localizado em Conceição de Macabú, Rio de Janeiro.

As curvas de mineralização de C, principalmente após a maceração dos agregados do solo, indicam que o plantio das leguminosas florestais modificaram a qualidade do C nos agregados dos solos estudados, as coberturas pertencentes a capoeira e pasto demonstraram menores fluxos de mineralização do C.

Nessa perspectiva, a inclusão de leguminosas arbóreas em áreas degradadas promove o aumento ou a manutenção de carbono por meio da agregação do solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adu, J. K., Oades, J.M. (1978) Physical factors influencing decomposition of organic materials in soil aggregates. *Soil Biology Biochemistry*, Oxford, 10:109-115.
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19:716-723.
- Andrade, F.V., Mendonça, E.S., Silva, I.R.D. (2013) Organic acid adsorption and mineralization in oxisols with different textures. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37(4):976-985.
- Angers, D.A., Mehuys, G.R. (1989) Effects of cropping on carbohydrate content and water stable aggregation of a clay soil. *Canadian Journal of Soil Science*. 69:373-380.
- Aquino, A.M. de, Almeida, D.L., Guerra, J.G.M., De-Polli, H. (2005) Biomassa microbiana, colóides orgânicos e nitrogênio inorgânico durante a vermicompostagem de diferentes substratos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40(11):1087–1093.
- Araujo Filho, J.A. de, Sousa, F.B. de, Silva, N.L. da, Bezerra, T.S. (2007) Avaliação de leguminosas arbóreas, para recuperação de solos e repovoamento em áreas degradadas, Quixeramobim-CE. - Portal Embrapa. *Revista Brasileira de Agroecologia*, (2):1592–1595.
- Araujo, A.M.S., Sampaio, E.V.S.B., Salcedo, I.H. (2001) Carbon and nitrogen mineralization in stored samples of soil planted with sugarcane with and without fertilization, over ten years. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 25:43–53.
- Araujo, R.P., Vieira, R.A.M., Rocha, N.S., Abreu, M.L.C., Glória, L.S., Rohem Júnior, N.M., Fernandes, A.M. (2015) Long-term growth of body, body parts and composition of gain of dairy goat wethers. *The Journal of Agricultural Science*,

153:1321-1340.

- Azuaje, E.I., Comerford, N.B., Harris, W.G., III, J.B.R., Grunwald, S. (2012) Loblolly and slash pine control organic carbon in soil aggregates and carbon mineralization. *Forest Ecology and Management*, 263:1–8.
- Barreto, P.A.B., Gama-Rodrigues, E.F., Gama-Rodrigues A.C. (2010) Carbon and nitrogen mineralization in soils under an eucalyptus plantation chronosequence. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:735–745.
- Barreto, R.C., Madari, B.E., Maddock, J.E.L., Machado, P.L.O.A., Torres, E., Franchini, J., Costa, A.R. (2009) The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO<sub>2</sub> in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 132: 243-251.
- Beare, M.H., Hendrix, P.F., Cabrera, M.L., Coleman, D.C. (1994) Aggregate-Protected and Unprotected Organic Matter Pools in Conventional and No-Tillage Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 58: 787-788.
- Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., De Antonio, R. (2006) Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability. *Bioresour Technol*, 97: 2071–2076.
- Boeira, R.C., Ligo, M.A.V., Dynia, J.F.D. (2002) Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:1639-1647.
- Boudot, J.P., Bel Hadj, B.A., Chone, T., Hadj, B.A.B. (1986) Carbon mineralization in andosols and aluminum-rich highland soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 18:457-461.
- Brady, N., Weil, R. (2013) *Elements of the nature and properties of soil*. Columbus: Pearson. 685p.
- Braida, J.A., Bayer, C., Albuquerque, J.A., Reichert, J.M. (2011) Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: Filho, O.K. et al. (ed) *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 222–227.
- Bronick, C.J., Lal, R. (2005) Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124: 3–22.
- Buol, S.W., Hole, F.D., McCracken, R.J. (1997) *Soil genesis and classification*. 4. ed. Ames, Iowa State University Press, 527p.
- Burnham, K.P., Anderson, D.R. (2004) Multimodel inference: understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods & Research*, 33:261-304.
- Cadisch, G., Mutuo, P., Mercado, A., Hairiah, K., Nyamugafata, P., Boye, A., Albrecht, A. (2006) Organic matter management in tropical agroforestry systems: Soil quality, soil C storage and soil atmosphere gas exchange. In: Gama-Rodrigues, A.C., Barros, N.F., Gama-Rodrigues, E.F.; Freitas, M.S.M.,

- Viana, A.P., Jasmin, J.M., Marciano, C.R., Carneiro, J.G.A. (2006). *Sistemas Agroflorestais: Bases científicas para o desenvolvimento sustentável*. Campos dos Goytacazes.
- Camargo, F.A.O., Gianello, C., Tedesco, M.J., Riboldi, J., Meurer, E.J., Bissani, C.A. (2002) Empirical models to predict soil nitrogen mineralization. *Ciência Rural*, 12:393-399.
- Carducci, C. E., Vitorino, A.C.T., Serafim, M.E., Silva, E.A. (2016) Aggregates morphometry in a Latosol (Oxisol) under different soil management systems. *Semina: Ciências Agrárias*, v.37, p. 33-42.
- Cavanaugh, J.E. (1997). Unifying the derivations for the Akaike and corrected Akaike information criteria. *Statistics & Probability Letters*, 33, 201-208.
- Chenu, C., Guérif, J., Jaune, T.A.M. (1994) Polymer bridging: A mechanism of clay and soil structure stabilization by polysaccharides. *Proceeding of 15<sup>o</sup> World Congress of Soil Science*, Acapulco, Mexico.
- Costa, G.S., Franco, A.A., Damasceno, R.N., Faria, S.M. (2004) Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 28:919–927.
- Costa, M.G., Gama-Rodrigues, A.C. (2014) Leguminosas arbóreas para recuperação de áreas degradadas com pastagem em Conceição de Macabu, Rio de Janeiro, Brasil. *Fertbio 2012*, 101–112.
- Cotrufo, M.F., Boot, C., Abiven, S., Foster, E. J., Haddix, M. L., Peisser, M., Wurster, C.M., Bird, M.I., Schmidt, M.W.I. (2016) Quantification of pyrogenic carbon in the environment: An integration of analytical approaches, *Org. Geochem*.
- Denef, K., Six, J., Merckx, R., Paustian, K. (2004) Carbon Sequestration in Microaggregates of No-Tillage Soils with Different Clay Mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*, 68(6):1935.
- Dexter, A. R. (1988) Advances in characterization of soil structure. *Soil e Till. Res.*, 11:199-238.
- Diekow, J. (2003) *Estoque e qualidade da matéria orgânica do solo em função de sistemas de culturas e adubação nitrogenada no sistema plantio direto*. 2003. 154 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Drury, C.F., Yang, X.M., Reynolds, W.D., Tan, C. S. (2004) Influence of crop rotation and aggregate size on carbon dioxide production and denitrification. *Soil Tillage Res*, 79: 87–100.
- Edwards, A.P., Bremner, J.M. (1967) Microaggregates in soils. *Journal of Soil Science*, London, 18(1):64-73.
- Elliott, E.T., Coleman, D.C. (1988) Let the soil work for us. *Ecological Bulletins*

39:23-32.

- Emerson, W.W. (1959) The structure of soil crumbs. *Eur. J. Soil Sci.*, 10:235-244.
- Eswaran, H., Berg, E., Reich, P. (1993) Organic carbon in soils of the world. *Soil Science Society of America Journal* , 57:192–194.
- Faustino, L.L. (2018) *Indicadores da qualidade física e morfológica de um Argissolo Vermelho-Amarelo em áreas de pastagem revegetadas por leguminosas arbóreas.* (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. – Campos dos Goytacazes, RJ,111f.
- Faustino, L.L. (2014) *Frações do Carbono Oxidável em solos sob diferentes leguminosas florestais no Norte Fluminense.* Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF 29p.
- Febrer; M.C.A., Matos, A.T., Sediyaama, M.A.N., Costa, L.M. (2002) Dinâmica da decomposição mesofílica de resíduos orgânicos misturados com águas residuárias da suinocultura. *Engenharia Agrícola.* 10:1-4.
- Fernández, R., Quiroga, A., Zorati, C., Noellemeyer, E. (2010) Carbon contents and respiration rates of aggregate size fractions under no-till and conventional tillage. *Soil Tillage Res* 109: 103–109.
- Gama-Rodrigues, A. C. (1997) Ciclagem de nutrientes por espécies florestais em povoamento puros e mistos, em solos de tabuleiro da Bahia, Brasil. Universidade Federal de Vicosa, 107p.
- Gama-Rodrigues, E. F.; Da Gama-Rodrigues, A. C.; Paulino, G. M.; Franco, A. A. (2008) Atributos químicos e microbianos de solos sob diferentes coberturas vegetais no norte do estado do Rio de Janeiro. *Rev Bras Ciência Solo* 32: 1521–1530.
- Gama-Rodrigues, E. F.; Ramachandran Nair, P. K.; Nair, V. D.; Gama-Rodrigues, A. C.; Baligar, V. C.; Machado, R. C. R. (2010) Carbon Storage in Soil Size Fractions Under Two Cacao Agroforestry Systems in Bahia, Brazil. *Environ Manage* 45: 274–283.
- Garcia-Franco, N.; Martinez-Mena, M.; Governa, M.; Albaladejo, J. (2015) Changes in soil aggregation and microbial community structure control carbon sequestration after afforestation of semiarid shrublands. *Soil Biology and Biochemistry*, 87: 110-121.
- Gomes, L. de C.; Cardoso, I. M.; Mendonça, E. de S.; Fernandes, R. B. A.; Lopes, V. S.; Oliveira, T. S. (2016) Trees modify the dynamics of soil CO<sub>2</sub> efflux in coffee agroforestry systems. *Agric For Meteorol* 224: 30–39.
- Gompertz B. (1825) On the nature of the function expressive of the law of human mortality and on a new mode of determining the value of life contingencies. *Philos. Trans. R. Soc. Lond.*; 115: 513-585.

- Gonçalves JLM, Mendes KCFS, Sasaki CM. (2001) Nitrogen mineralization in natural and forest plantation ecosystems of São Paulo state. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 25:601–616.
- Gonçalves, A. S.; Monteiro, M.T.; Guerra, J. G. M.; De-Polli, H. (2002) Biomassa microbiana em amostras de solos secadas ao ar e reumedecidas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 37: 651–658.
- Google maps (2019) [www.google.com/maps/place/conceição+de+macabu+rj,+28740-000](http://www.google.com/maps/place/conceição+de+macabu+rj,+28740-000). Consulta realizada em: 08/02/2019.
- Grisi, B. M. (1995) Biomassa e atividade de microrganismos do solo: revisão metodologica. *Rev Nord Biol* 10: 1–22.
- Gupta, V. V. S. R.; Germida, J. J. (1988) Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregation size classes as affected by cultivation. *Soil Biol. Biochem.*, 20:777-786.
- Hadden, D.; Grelle, A. (2017) The impact of cultivated on CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> fluxes over organic soils in Sweden. *Agric For Meteorol* 243:1-8.
- Inubushi, K.; Wada, H. & Takai, Y. (1985) Easily decomposable organic matter in paddy soil. VI. Kinetics of nitrogen mineralization in submerged soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 4:563-572.
- Jastrow, J. D.; Miller, R. M.; Boutton, T. W. (1996) Carbon Dynamics of Aggregate-Associated Organic Matter Estimated by Carbon-13 Natural Abundance. *Soil Sci Soc Am J* 60: 801.
- Jenny, H. (1994) *Factors of soil formation*. 3.ed. New York, McGraw- Hill. 281p.
- Jenny, H., S. P. Gessel, and F. T. Bingham (1949) Comparative study of decomposition rates of organic matter in temperate and tropical regions. *Soil Science* 68:419–432
- Kay, B. D. (1990) Rates of change of soil structure under different cropping systems. *Adv. Soil Sci.*, 12:1-41.
- Kiehl, E.J. (1979) Manual de edafologia: Relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 262p.
- Lal, R. (2004) Soil erosion and carbon dynamics. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, no prelo.
- Lampkin, N.; Padel, S. (1994) *The economics of organic farming – an international perspective*. Bristol: Cab International, 468 p.
- Li, X.-G.; Wang, Z. F.; Ma, Q. F.; Li, F. M. (2007) Crop cultivation and intensive grazing affect organic C pools and aggregate stability in arid grassland soil. *Soil Tillage Research*, 95: 172–181.
- Lin, H.; Hong, T.; Wu, C.; Chen, H.; Chen, C.; Li, J.; Lin, Y.; Fan, H. (2012)

- Monthly variation in litterfall and the amount of nutrients in an *Aleurites montana* plantation. *For Stud China* 14: 30–35.
- Littell, R. C.; Milliken, G. A. Stroup, W. W & Wolfinger, R. D. (2002) *SAS System for Mixed Models*. Cary: Statistical Analysis System Institute, 633p.
- Littell, R.C., Milliken, G.A., Stroup, W.W., Wolfinger, R.D., Schabenberger, O., (2006) SAS<sup>®</sup> for mixed models. SAS Institute Inc., Cary, USA.
- Loss, A. Loss, A.; Pereira, M. G., Anjos, L. H. C. dos.; Ferreira, E. P.; Beutler, S. J.; Silva, E. M. R. da. (2011) Oxidizable organic carbon fractions and soil aggregation in areas under different organic production systems in Rio de Janeiro, Brazil. *Trop Subtrop Agroecosystems* 14: 699–708.
- Luo, Y., and X. Zhou. (2006) *Soil respiration and the environment*. Academic Press, Waltham, Massachusetts, USA.
- Maia, S. M. F.; Xavier, F. A. S.; Senna, O. T.; Mendonça, E. S.; Araujo, J. A. (2007) Organic carbon pools in a Luvisol under agroforestry and conventional farming systems in the semi-arid region of Ceará, Brazil. *Agroforestry Systems*, New York, 71:127–138.
- Manhães, C. M. C.; Gama-Rodrigues, E. F.; moço, M. K. S.; Gama-Rodrigues, A. C. (2013) Meso-and macrofauna in the soil and litter of leguminous trees in a degraded pasture in Brazil. *Agroforest System*, 10.1007/s10457-013-9614-0, organic matter storage in agricultural soils. Boca Raton: CRC Press, p.310-359.
- Martines, A.M.; Andrade, C.A. & Cardoso, E.B.N. (2006) Mineralização do carbono orgânico em solos tratados com lodo de curtume. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:1149-1155.
- Matos, A.T.; VidigaL S.M.; Sediyaama, M.A.N.; Garcia, N.C.P. & Ribeiro, M.F. (1998) Compostagem de alguns resíduos orgânicos utilizando-se águas residuárias da suinocultura como fonte de nitrogênio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2:199-203.
- Moreira, F. M. S. e Siqueira, J.O. (2006) *Microbiologia e bioquímica do solo*. Lavras, Universidade Federal de Lavras, v.1. 625p.
- Moura, J.A., Gonzaga, M.I.S., Dos Anjos, J.L., Rodrigues, A.C.P., Da Silva Leão, T.D., Santos, L.C.O. (2015) Respiração basal e relação de estratificação em solo cultivado com citros e tratado com resíduos orgânicos no estado de Sergipe. *Semina Agraria*, 36: 731–746.
- Nunes, D.A., Nair, V.D., Barreto, P.A., Gama-Rodrigues, A.C., & Monroe, P.H. (2015). Carbon and nitrogen mineralization in soil of leguminous trees in a degraded pasture in northern Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Forestry Research*, 27:91-99.
- Nunes, D.A.D., Gama-Rodrigues, E.F., Barreto, P.A.B., Gama-Rodrigues, A.C., Monroe, P.H.M. (2016) Carbon and nitrogen mineralization in soil of leguminous

- trees in a degraded pasture in northern Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Forestry Research* 27: 91–99.
- Oades, J.M. & Waters, S.G. (1991) Aggregate hierarchy in soils. *Australian Journal of Soil Research*, 29:815-828.
- Oades, J.M. (1984) Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*, 76: 319-337.
- Palm, C.A. e Sanchez, P.A. (1991) Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol Biochem.*, 21:83-88.
- Pan, Y.; Birdsey, R. A.; Fang, J.; Houghton, R.; Kauppi, P.; Kurz, W. A.; Phillips, O. L.; Shvidenko, A.; Lewis, S. L.; Canadell, J. G.; Ciais, P.; Jackson, R. B.; Pacala, S. W.; Mcguire, A. D.; Piao, S.; et al. (2011) A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, v. 333, p. 988–993.
- Pinheiro, J.C., Bates, D.M. (2000) *Mixed-effects models in S and S-PLUS*. Springer-Verlag Inc., New York.
- Portugal, A.F., Juncksh, I., Schaefer, C.E.R.G., Neves, J.C. de L. (2010) Estabilidade de agregados em argissolo sob diferentes usos, comparado com mata. *Revista Ceres*, 57: 545–553.
- Razafimbelo, T., Albrecht, A., Basile, I., Borschneck, D., Bourgeon, G., Feller, C., Ferrer, H., Michellon, R., Moussa, N., Muller, B., Oliver, R., Razanamparany, C., Se´guy, L., Swarc, M. (2006) Effet de differents syste`mes de culture a` couverture vegetale (SCV) sur le stockage du carbone (C) dans un sol ferrallitique argileux des Hautes Terres de Madagascar. *Etude et Gestion des Sols*, 13, 113–117.
- Razafimbelo, T.M., Albrecht, A., Oliver, R., Chevallier, T., Chapuis-Lardy, L., Feller, C. (2008) Aggregate associated-C and physical protection in a tropical clayey soil under Malagasy conventional and no-tillage systems. *Soil Tillage Research*, 98: 140–149.
- Resende, A.S. de., Xavier, R.P., Quesada, D.M., Urquiaga, S., Alves, B.J.R., Boddey, R.M. (2003) Use of green manures in increasing inputs of biologically fixed nitrogen to sugar cane. *Biol Fertil Soils*, 37: 215–220.
- Ribeiro Passos, R; Alberto Ruiz, H., Bertola Cantarutti, R., de Sá Mendonça, E. (2007) carbono orgânico e nitrogênio em agregados de um latossolo vermelho distrófico sob duas coberturas vegetais (1). *Revista Brasileira de Ciência do solo*, 31: 1109–1118.
- Ribon, A.A., Centurion, J.F., Centurion, M.A.P. da C., Fernandes, K.L., Hermógenes, V.T.L. (2014) Alterações na estabilidade de agregados de latossolo e argissolo em função do manejo, na entrelinha da seringueira (*Hevea brasiliensis*). *Revista Árvore*, 38: 1065–1071.
- Santos, G. de A.; SILVA, L. S. da; Canellas, L.P. (2008) *Fundamentos da matéria*



*orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais*. 2.ed.rev.atual. Porto Alegre. 636 p.

- Schmidt, M. W.; Torn, M. S.; Abiven, S.; Dittmar, T.; Guggenberger, G.; Janssens, I. A.; Kleber, M.; Kogel-Knabner, I.; Lehmann, J.; Manning, D. A. C.; Nannipieri, P.; Rasse, D. P.; Weiner, S.; Trumbore, S. E. (2011) Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. *Nature*, 478:49-56.
- Schnitzler, M. (1986) Binding of Humic Substances by Soil Mineral Colloids. In: Huang, P.M.; Schnitzler, M. Interactions of soils minerals with natural organics and microbes. Madison: *Soil Science Society of America*, 77-100. (Special Publication, 17).
- Shrestha, K.; Stevens, S.; Shrestha, P.; Adetutu, E. M.; Walsh, K. B.; Ball, A. S.; Midmore, D. J. (2015) Characterisation of the soil microbial community of cultivated and uncultivated vertisol in Australia under several management regimes. *Agriculture, Ecosystems and Environment-Elsevier*, USA, 199:418–427, Jan.
- Silva, A.C. e Vidal Torrado, P. (1999) Gênese dos Latossolos húmicos e sua relação com a evolução da paisagem numa área cratônica do Sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23: 329-341.
- Silva, A.C.; Vidal Torrado, P; Macias Vázquez, F; Saadi, A. (2002) Relações entre solos e paisagens no sul de Minas Gerais. *Geociências*, 21: 97-111.
- Silva-Olaya, A.M; Cerri, C.E.P; La Scala JR., N; Dias, C.T.S; Cerri, C.C. (2013) Carbon dioxide emissions under different soil tillage systems in mechanically harvested sugarcane. *Environmental Research Letters*, Bristol, 8(1):1-8.
- Sirgas 2000. (2005) Sistema de referência geocêntrico para as Américas/Referencial geodésico para o SGB (Sistema Geodésico Brasileiro), resolução 01/2005 do IBGE (Fundação Instituto de Geografia e Estatística).
- Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S; Deneff, K. (2004) A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Tillage Res* 79: 7–31.
- Six, J., Elliott, E; Paustian, K. (2000) Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol Biochem* 32: 2099–2103.
- Six, J., Feller, C; Deneff, K., Ogle, S.M., de Moraes, J.C., Albrecht, A. (2002) Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. *Agronomie* 22: 755–775.
- Sollins, P; Homann, P; Caldwell, B.A. (1996) Stabilization and destabilization of soil organic matter: mechanisms and controls. *Geoderma*, Amsterdam, 74(1):65-105.
- Stanford, G. & Smith, S.J.( 1972) Nitrogen mineralization potential of soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 36:465-471.

- Stemmer, M; Gerzabek, M.H. e Kandeler, E. (1998) Organic matter and enzyme activity in particle size fractions of soils obtained after low-energy sonication. *Soil Biol. Biochem.*, 30:9-17.
- Sugiura, N. (1978) Further analysis of the data by Akaike's information criterion and the finite corrections. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 7: 13-26.
- Tisdall, J.M; Oades, J.M. (1982) Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J Soil Sci*, 33: 141–163.
- Vieira, R.A.M., Rohem Júnior, N.M., Gomes, R.S., Oliveira, T.S., Bendia, L.C.R., Azevedo, F.H.V., Barbosa, D.L., Glória, L.S., Rodrigues, M.T. (2018) The ontogenetic allometry of body morphology and chemical composition in dairy goat wethers. *Animal* 12, 538-553.
- Vonesh, E.F., 2012. *Generalized linear and nonlinear models for correlated data: theory and applications using SAS®*. SAS Institute Inc., Cary.
- Wendling, B.; Jucksch, I.; Mendonça, E. de S.; Neves, J.C.L. (2005) Carbono orgânico e estabilidade de agregados de um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 40(5):487-494.
- Wohlenberg, E. V; Reichert, J.M., Reinert, D.J., Blume, E. (2004) Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28: 891–900.
- Yang, C., Liu, N; Zhang, Y. (2019) Soil aggregates regulate the impact of soil bacterial and fungal communities on soil respiration. *Geoderma*, 337: 444–452.