



## Características químicas, físicas e microbiológicas de sistemas agroflorestais em diferentes estágios sucessionais em Brasília

### *Chemical, physical and microbiological characteristics of agroforestry systems at different successional stages in Brasília, Brazil*

Sabrina Mendes Pereira<sup>1</sup>; Tamiel Khan Baiocchi Jacobson<sup>2</sup>; Caroline Siqueira Gomide<sup>3</sup>; Alessandra Monteiro de Paula<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Doutoranda PPG de Ciências Ambientais da Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, sasabio30@gmail.com; <sup>2</sup>Doutor, Professor da Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, tamiel@unb.br; <sup>3</sup>Doutora, Professora da Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, caroline.gomide@gmail.com; <sup>4</sup>Doutora, Professora da Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, ampaula21@gmail.com.

#### ARTIGO

Recebido: 08/01/2021  
Aprovado: 30/06/2021

#### Palavras-chave:

Manejo  
Ciclagem de nutrientes  
Serviços ecossistêmicos

#### RESUMO

Os Sistemas agroflorestais (SAFs) são sistemas de produção agrícola que atuam próximos a dinâmica da natureza. O objetivo desta pesquisa foi avaliar características químicas, físicas e microbiológicas de solos de SAF's em três estágios sucessionais e em uma área controle (pastagem), localizadas em Brasília, Distrito Federal. O histórico da área foi elaborado a partir de informações coletadas em entrevista. Realizou-se análises químicas (pH, MO, C, N, C:N, P, K, Ca, Mg e Al), físicas (granulometria) e microbiológicas (glomalina facilmente extraível). Os dados foram analisados através de análise multivariadas e univariadas. A agrobiodiversidade vegetal foi de 19 espécies no SAF estabelecido, 11 no SAF em formação, 5 no SAF inicial e 2 na pastagem. Os SAFs estabelecido e em formação foram os que obtiveram o maior aumento progressivo de C, MO, K e Ca. Quanto maior o estágio sucessionais, maior o grau de agregação e a distribuição dos agregados. Os solos de todos os SAFs e da pastagem apresentaram a glomalina, sendo sua maior concentração nos SAFs. Conclui-se que quanto maior o tempo de manejo, maiores serão as diferenças nas características químicas, físicas e microbiológicas do solo. A evolução temporal dos sistemas favorece para uma maior disponibilidade de nutrientes, aumento da atividade biológica e da capacidade de agregação, aumentando, conseqüentemente, a camada orgânica do solo, restando mais carbono no sistema, gerando serviços ecossistêmicos e contribuindo para a atenuação dos efeitos danosos de processos agrícolas no solo e no ecossistema.

#### ABSTRACT

Agroforestry Systems (SAFs) are agricultural production systems that act close to the dynamics of nature. The objective of this research was to evaluate physical and microbiological properties of SAF's soils in three successional stages and in a control area (pasture), a requirement in Brasília, Distrito Federal. The history of the area was elaborated from information collected in an interview. Particles (pH, MO, C, N, C: N, P, K, Ca, Mg and Al), physical (granulometry) and microbiological (easily extractable glomalin) analyzes were performed. Data were visible from multivariate and univariate analysis. Plant agrobiodiversity was 19 species in the established SAF, 11 in the SAF in formation, 5 in the initial SAF and 2 in the pasture. The established and in-formation SAFs had the greatest progressive increase of C, MO, K and Ca. The greater the successional stage, the greater the degree of aggregation and the distribution of aggregates. The soils of all SAFs and pasture dissip the glomalin, being its highest concentration in the SAFs. It is concluded that the longer the management time, the greater will be the differences in the specific, physical and microbiological characteristics of the soil. The temporal evolution of systems favors greater availability of nutrients, increased biological activity and aggregation capacity, consequently increases an organic layer of the soil, retaining more carbon in the system, generating ecosystem services and contributing to the attenuation of harmful effects of agricultural processes in the soil and in the ecosystem.

#### Key words:

Management  
Nutrient cycling  
Ecosystem services



## INTRODUÇÃO

Segundo a FAO (2014), o atual modelo agrícola baseado em monocultivos, adubação sintética, intenso uso de agrotóxicos e ampla mecanização, contribui e acelera a perda de solos. A erosão elimina 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano (WOOD; EHUI, 2005).

Ao longo do tempo, os sistemas convencionais de produção agrícola vêm provocando mudanças nas características físicas dos solos, como densidade, porosidade, estabilidade dos agregados e disponibilidade de água no solo, levando anos para que se recupere do processo de degradação causado pelo manejo convencional (CUNHA et al., 2001; MELO JÚNIOR et al., 2011; SILVA et al., 2011).

A agroecologia tem como conceito o movimento, a ciência e a prática (WEZEL et al., 2009), onde insere-se os sistemas agroflorestais - SAF, no processo de desenvolvimento das práticas agroecológicas. Adotamos o conceito de Miccolis et al. (2016), que define os SAF's como o uso da terra em que espécies vegetais perenes compõem a mesma unidade de produção com culturas agrícolas e/ou animais, em um determinado arranjo espacial e temporal. Baseiam-se em manejos que imitam e aliam a dinâmica da ecologia e a gestão dos recursos naturais, proporcionando maiores benefícios ambientais, sociais e econômicos.

Os solos de sistemas de cultivo agroecológico/orgânico em relação aos sistemas convencionais, apresentam diferenças significativas nas características químicas, físicas e microbiológicas, que estão relacionadas com a capacidade de potencializar a mineralização e mobilização dos nutrientes disponíveis (MARINARI et al., 2006; VASCONCELLOS et al., 2013; SCHARAMA et al., 2018).

A partir dos processos abióticos e biológicos que se dão os processos que influenciam a formação dos agregados no solo, a matéria orgânica (MO) é um dos principais agentes na formação e na estabilidade de agregados. Esta fornece substrato energético que proporciona as atividades biológicas (BASTOS et al., 2005; SALTON et al., 2008; SCHIMIGUEL et al., 2014).

Segundo Vezzani (2001), a distribuição dos agregados no solo nas diferentes classes de diâmetro proporciona a capacidade de fluxo de energia e ciclagem da matéria, e consequentemente, o desenvolvimento da biocenose. A estabilidade dos agregados requer a presença de elemento biológico, um desses elementos importantes é a glomalina, que colabora com o desenvolvimento do grau de agregação, proporcionando a elevação dos níveis da capacidade de troca catiônica (CTC) (RILLIG; MUMMEY, 2006; SOUSA et al., 2012). Também chamada de proteína do solo relacionada a glomalina (PSRG) (RILLIG, 2004).

Marinari et al. (2006) e Scharama et al. (2018) compararam sistemas de manejo agroecológico/orgânico com sistemas de manejo convencional e demonstraram que há diferenças significativas na qualidade química dos solos em relação a matéria orgânica, nitrogênio e fósforo, alterações e aumento na atividade enzimática, agilidade na mineralização dos nutrientes disponíveis no sistema, demonstrando a eficiência de sistemas agroecológicos/orgânicos de manejo.

A adição de MO no solo garante a biocenose, que é a capacidade de desenvolvimento das interações entre as plantas e

suas raízes com o macro e microfauna do solo com benefício e controle do sistema (YAO et al., 2010; COSTA et al., 2018; PRIMAVESI; PRIMAVESI, 2018). E traz resultados em uma relação complexa de diversos benefícios para o solo, para as plantas e para o ambiente. A partir do húmus produzido se tem de 50 a 90% da capacidade de absorção de cátions na forma facilmente trocável (K, Ca e Mg), o que contribui para acelerar o intemperismo dos minerais no solo e, consequentemente, liberar nutrientes para o consumo vegetal (YAO et al., 2010; BRADY; WEIL, 2013; CHIODINI et al., 2013; COSTA et al., 2018).

Desta forma, a hipótese desta pesquisa é que quanto maior o tempo de desenvolvimento do estágio sucessional dos SAFs, maiores serão as mudanças nas variáveis edáficas dos solos (química, física e microbiológica), em relação ao estágio inicial e a área controle (pastagem com características encontradas antes do manejo). Assim, o objetivo desta pesquisa é avaliar e comparar variáveis edáficas (química, física e microbiológicas) em solos de sistemas agroflorestais em diferentes estágios sucessionais e em uma área de pastagem.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo e delineamento amostral

A área de estudo localiza-se em Brasília (DF) e está inserida no Sítio Raiz, no Núcleo Rural Lago Oeste/NRLO, Região Administrativa de Sobradinho – RA V, Brasília - Distrito Federal (Lat: -15.5651 Lon: -48.0323) (Figura 1).

**Figura 1.** Mapa de localização da área de estudo. Sítio Raiz, Núcleo Rural Lago Oeste. Região Administrativa de Sobradinho, Brasília- Distrito Federal, Brasil.



Fonte: Autores, imagens do Google Maps (2020).

A conformação pedológica da região caracteriza-se por relevo levemente inclinado, com declive suave, situado em altitude de 1.145 m. Conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET (2020), a pluviosidade média anual foi de 1.700 mm no ano de 2019. O solo da área de estudo foi classificado como Latossolo Vermelho, poroso, altamente permeável, profundo, com horizonte A moderado, horizonte B latossólico, com textura argilosa (EMBRAPA, 2004).

A escolha da área de estudo, se deu, por conter, no mesmo local, SAF's em diferentes estágios sucessionais e uma área de pastagem, a qual foi utilizada como controle (figura 2). A área controle foi escolhida por ter características semelhantes às áreas de SAF antes do início do manejo (pastagem degradada, abandonada por mais de 10 anos, com dominância de gramíneas, como *Andropogon* sp).

**Figura 2:** Distribuição da área de estudo a partir dos estágios sucessionais de SAF (SAFi - SAF inicial, SAFf - SAF em formação, SAFE - SAF estabelecido, PAs - pastagem / área controle) Sítio Raiz, Núcleo Rural Lago oeste, RA V Sobradinho, Brasília - DF.



Fonte: Autores, imagem do Google maps (2020).

Em relação aos tratamentos, os SAF's foram categorizados em SAF estabelecido (SAFE) - área de manejo mais antiga da propriedade, com sete anos de instalação; SAF intermediário (SAFi) - área com quatro anos de instalação; SAF em formação (SAFf) - área com manejo agroflorestal mais recente, com 2 anos; e Pastagem (PAs), área controle, composta por uma pastagem abandonada e degradada.

### Histórico de manejo da área

Para o levantamento do histórico de instalação e manejo das áreas estudadas, foram realizadas entrevistas semiestruturadas (HUNTINGTON, 2000; NEUMAN, 2006). A entrevista foi realizada em agosto de 2019 com os proprietários do sítio. Foram coletadas informações sobre as áreas amostradas, formas de manejo e as espécies presentes na comunidade dos agroecossistemas.

### Determinação das características químicas do solo

Em abril de 2019 foi realizada amostragem sistemática de solo (utilizando trado holandês), onde foram coletadas quatro amostras compostas (n=4) de solo, na profundidade 0-20 cm.

As amostragens foram realizadas em linhas paralelas (dentro das linhas das árvores no desenho dos SAF's), distantes aproximadamente três metros entre si. Dentro das linhas, as amostras simples (n=4), foram coletadas em aproximadamente 10 m entre um ponto e outro (EMBRAPA, 2011).

Para a determinação do pH em água, foi utilizada a solução de 10g de solo em 25 ml de água destilada. O C orgânico foi determinado pelo método de Walkley-Black. O N total foi

determinado pelo método MicroKjeldahl. O P foi extraído com Mehlich 1 e determinado por colorimetria, utilizando molibdato de amônia, em comprimento de onda de 660 nm (EMBRAPA 2011). Os elementos Ca, Mg, K e Al foram extraídos com solução KC1 1mol, Ca e Mg foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica, o elemento K foi determinado por emissão de chama. O teor de Al foi determinado por titulação de NaOH. Todas as análises foram realizadas conforme padrões descritos pela EMBRAPA (2011).

### Determinação da Granulometria dos agregados do solo

Em abril de 2019 foram realizadas amostragens de solo para cada tratamento, no final da primeira linha amostral, a fim de determinar o grau de agregação (tamanho de agregados) do solo. As amostras foram simples e indeformadas, em profundidade de 0 - 10 cm. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar e depois armazenadas em embalagem plástica (SCHROTH; SINCLAIR, 2003; SALTON et al., 2012).

Para a determinação do grau de agregação do solo, do volume do solo e da composição relativa e suas diferentes classes de tamanho, 1.000 gramas de amostras foram desagregadas em peneira de 4 mm. Do passante desta peneira, retirou-se uma amostra de 100g, que foi acondicionada em peneiras com malhas de 2 mm, 1,5 mm, 0,50 mm e 0,25 mm, submetidas a agitação em agitador mecânico vibratório (Solotest) por 15 minutos. Cada alíquota retida nas peneiras de diferentes MESH foi pesada, utilizando 3 casas após a vírgula, para determinação do grau de agregação da amostra (EMBRAPA, 2011).

Após a determinação do grau de agregação do solo, as amostras foram colocadas em estufa a 80° C por 30 minutos para a determinação da umidade dos agregados do solo (SALTON et al., 2012).

### Determinação de Proteína de solo relativa à Glomalina Facilmente Extraível (PRGFE)

Para determinação de PRGFE, foi realizada uma segunda coleta de solo, simples e indeformada, em setembro de 2019. A coleta foi realizada em profundidade de 0-5 cm para avaliar a concentração de glomalina nas camadas mais superficiais do solo.

Em cada tratamento, o solo foi coletado em recipientes plásticos no tamanho de 5 cm x 3 cm, mantidos refrigerados e úmidos até serem analisados. Para extração da glomalina, as amostras foram peneiradas em malha 0,50 mm e pesadas para retirar 0,50 g de solo. Após a pesagem, adicionou-se 4 mL de tampão citrato de sódio (20 mM, pH 7) em cada frasco contendo 0,50g de solo. As amostras foram autoclavadas por 30 minutos a 121 °C e depois centrifugadas a 5000 rpm por 10 minutos. Coletou-se 2 mL do sobrenadante dos frascos que foi armazenado em microtubos Eppendorf a 4 °C. Cada unidade amostral foi analisada em triplicata (WRIGHT; UPADHYAYA, 1996).

Para determinar a concentração de glomalina no extrato, 100 µL do extrato foram extraídos com o auxílio da pipeta, adicionando-se 3 mL de reagente de Bradford aos tubos. Estes foram levados ao vortex por 20 minutos e as amostras ficaram em repouso por 10 minutos antes de iniciar a leitura. A leitura das amostras foi realizada por absorbância em espectrofotômetro a 595 nm (BRADFORD, 1976). As análises foram realizadas no

Laboratório de Microbiologia de Solos da Faculdade de Agricultura e Veterinária (FAV) da Universidade de Brasília (UnB).

### Análises estatísticas dos dados

Para os dados das características químicas e físicas de solo e para PRGFE foi realizada ANOVA e testes *Post-hoc* de Tukey, adotando-se  $\alpha=5\%$  (BUSSAB; MORETTIN, 1987). As análises da variância univariada e os testes de comparação de médias foram realizados considerando que os tratamentos não apresentaram as mesmas características e condições iniciais. Para a realização das análises, utilizou-se o software estatístico PAST (HAMMER et al., 2001).

Foram utilizadas análises multivariadas para analisar as variáveis químicas dos solos nos diferentes tratamentos em relação ao tempo de manejo. Para isso, foi utilizada Análise de Componentes Principais (PCA) com padronização dos dados euclidianos para visualizar as estruturas internas dos dados, a partir dos eixos principais, analisando cada um dos eixos de forma independente (BOUCARD et al., 2018).

Também se utilizou análise de Clusters para verificar a semelhança entre os grupos de solos formados a partir das características químicas que mais se assemelham entre os diferentes tratamentos. Para isto foi realizada a padronização euclidiana dos dados, que levou a escolha do dendograma de *Unweighted Pair-Group Method using arithmetic Averages* (UPGMA), como mais adequado (BOUCARD et al., 2018). Para realização das análises multivariadas, utilizou-se o *software* R (versão 3.4.0).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre os anos de 1980 e 1990, a área do sítio era composta por agroecossistemas de plantio de sequeiro de soja e milho, cujo solo era exposto anualmente ao fogo. Passou a ser área de pasto após deixar de ser propícia para agricultura, com predomínio de pastagem de andropogon (*Andropogon gayanus*) com algumas árvores nativas do Cerrado resistentes ao fogo.

Com a mudança de proprietário, em 2011, o manejo com fogo foi eliminado da propriedade e iniciou-se a preparação de canteiros, com foco na produção de café (*Coffea* sp.) e banana (*Musa* sp.), com plantio de hortaliças entre as linhas. Em 2013, iniciou-se a preparação da área onde está o SAF estabelecido (SAFe), cujo solo apresentava pH 4,6.

Neste período, em 2013, foi realizada a adubação da área, utilizando pó de rocha, remineralizador Calcoxisto (7 toneladas por hectare e gradagem). Também foram adicionadas cerca de 800g/m<sup>2</sup> do adubo composto termofosfato Yoorin (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>MgO, CaO, SiO<sub>2</sub> B, Zn, Mn, Cu) e 1/m<sup>2</sup> de esterco de frango. Foram, também, adicionados 400g/m<sup>2</sup> de cinza, aplicadas no sulco e berços de plantio, onde foram introduzidas as plantas. As primeiras culturas anuais cultivadas foram arroz, milho e *Crotalaria* sp.

Em 2015, iniciou-se o manejo da área do SAF em formação (SAFf), onde foi realizada adubação com pó de rocha, remineralizador Calcoxisto (7 toneladas por hectare e gradagem) com a incorporação de 800g/m<sup>2</sup> termofosfato Yoorin (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>MgO,

CaO, SiO<sub>2</sub> B, Zn, Mn, Cu) e 1/m<sup>2</sup> de esterco de frango, nos berços e sulco das plantas de brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*), couve manteiga (*Brassica oleracea*), cenoura (*Daucus carota* subsp. *Sativus*), milho (*Zea mays*) e mandioca (*Manihot esculenta*). Na área do SAF em formação manteve-se o menor número de árvores (Tabela 1).

Na área do SAF inicial (SAFi), foi realizada adubação inicial com remineralizador Calcoxisto (7 toneladas por hectare e gradagem), 800g/m<sup>2</sup> termofosfato Yoorin (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>MgO, CaO, SiO<sub>2</sub> B, Zn, Mn, Cu) e adubação verde, com crotalaria (*Crotalaria* sp), abóbora (*Cucurbita* sp.) e feijão guandú (*Cajanus* sp.), plantadas de forma consorciada. Foi aplicado 1/m<sup>2</sup> de esterco de frango no sulco de plantio. Após a floração, as leguminosas foram cortadas e incorporadas ao solo. Posterior a esse processo, a área foi convertida em horta para produção de couve manteiga (*Brassica oleracea*), alface (*Lactuca sativa*), rúcula (*Eruca vesicaria*), cenoura (*Daucus carota* subsp. *Sativus*), milho (*Z. mays*) e mandioca (*Manihot esculenta*) (Tabela 1).

A pastagem escolhida como área controle é parte do sítio que não foi preparada para plantio e que mantém as características que havia antes da instalação e desenvolvimento dos SAF's. A área apresenta um pasto sem manejo há mais de 10 anos, com as características de pastagem abandonada e degradada. Apesar de ser uma área de pastagem antiga, não há animais ruminantes na área e o agricultor realiza o manejo de corte da pastagem anualmente, o que aumenta o teor de matéria orgânica e mantém o solo coberto, propiciando algumas características de recuperação. A vegetação da área controle é composta por duas espécies vegetais: capim andropogon (*Andropogon gayanus*) e capim elefante (*Pennisetum purpureum*).

Todas as espécies levantadas foram implementadas pelo agricultor durante o manejo dos SAF's. O SAFe apresenta a maior diversidade de espécies de plantas, com 19 culturas cultivadas e com a presença de espécies perenes já em estágio de desenvolvimento avançado. O SAFf apresentou 11 diferentes espécies cultivadas e é composto por algumas espécies perenes, em menor quantidade, prevalecendo às hortaliças. O SAFi apresentou culturas de sistemas iniciais, espécies de adubação verde (guandú e fava). Foram registradas cinco espécies cultivadas, das quais três compõem a comunidade dos outros estágios de desenvolvimento do SAF.

A partir dos resultados encontrados, observa-se que a o aumento de biomassa do sistema levou ao aumento do teor de MO à medida que os estágios sucessionais foram ocorrendo (SAFe > SAFf > SAFi > PAs). Quanto maior a diversidade vegetal nos sistemas, maior será o incremento de MO (PENNEREIRO, 1999; ALVES et al., 2011; CARDOSO et al., 2017).

Isso foi observado no SAFe (19 espécies cultivadas) e no SAFf (11 espécies cultivadas). Devido ao acúmulo de biomassa pelo incremento constante de matéria vegetal, advinda das podas e manejo do próprio sistema. Esse tipo de fenômeno se assemelha ao retorno de matéria e nutrientes via serapilheira em ecossistemas naturais (CÔRREIA et al., 2015).



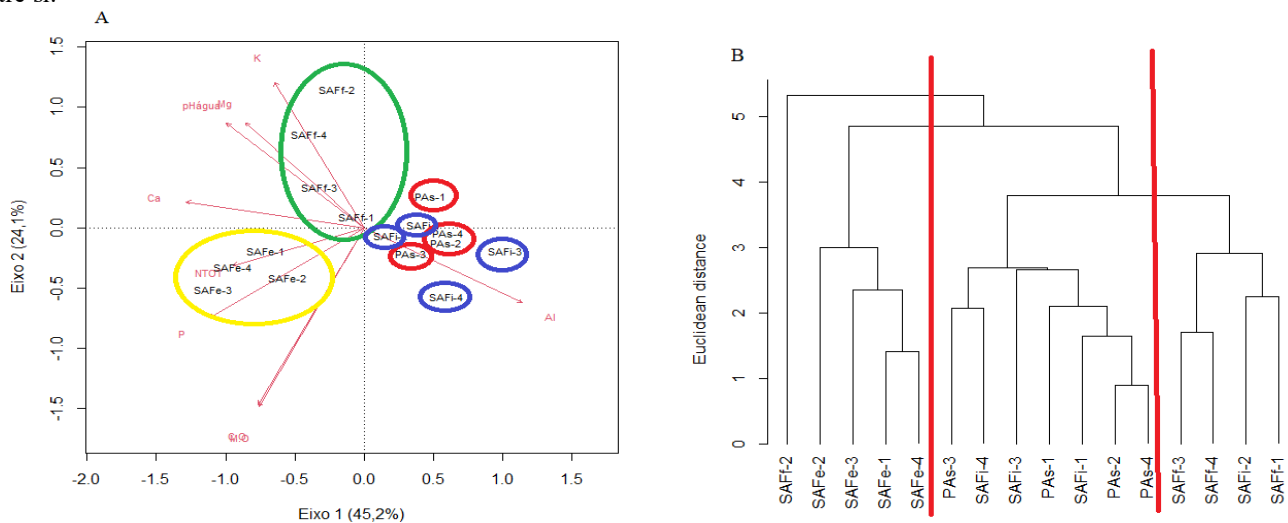
**Tabela 1.** Espécies vegetais cultivadas encontradas no momento da coleta nos diferentes estágios sucessionais de manejo dos SAF's em Brasília - DF. O "X" indica as espécies que estavam presentes nos SAFs.

| Nome comum / científico                        | SAF inicial | SAF em formação | SAF estabelecido |
|--|-------------|-----------------|------------------|
| Banana ( <i>Musa</i> sp.)                      |             | X               | X                |
| Café ( <i>Coffea</i> sp.)                      |             | X               | X                |
| Mamão ( <i>Carica papaya</i> )                 |             |                 | X                |
| Abacate ( <i>Persea americana</i> )            |             |                 | X                |
| Inhame ( <i>Dioscorea villosa</i> )            |             | X               | X                |
| Eucalipto ( <i>Eucalyptus</i> sp.)             |             | X               | X                |
| Leucena ( <i>Leucaena leucocephala</i> )       |             |                 | X                |
| Taioba ( <i>Xathosoma sagittifolium</i> )      |             |                 | X                |
| Capim elefante ( <i>Pennisetum purpureum</i> ) |             |                 | X                |
| Pinha ( <i>Annona squamosa</i> )               |             |                 | X                |
| Mandioca ( <i>Manihot esculenta</i> )          |             |                 | X                |
| Pupunha ( <i>Bactris gasipaes</i> )            |             |                 | X                |
| Boldo ( <i>Peumus boldus</i> )                 |             |                 | X                |
| Limão ( <i>Citrus</i> sp.)                     |             |                 | X                |
| Romã ( <i>Punica granatum</i> )                |             |                 | X                |
| Jaracatiá ( <i>Jaracatia spinosa</i> )         |             |                 | X                |
| Margaridão ( <i>Sphagneticola trilobata</i> )  | X           | X               | X                |
| Abóbora ( <i>Cucurbita</i> sp.)                | X           | X               | X                |
| Milho ( <i>Z. mays</i> )                       | X           | X               | X                |
| Couve ( <i>Brassica oleracea</i> )             |             | X               |                  |
| Batata-doce ( <i>Ipomoea batatas</i> )         |             | X               |                  |
| Rúcula ( <i>Eruca vesicaria ssp. Sativa</i> )  |             | X               |                  |
| Almeirão ( <i>Cichorium intybus intybus</i> )  |             | X               |                  |
| Guandu ( <i>Cajanus cajan</i> )                | X           |                 |                  |
| Fava ( <i>Vicia faba</i> )                     | X           |                 |                  |

Das análises químicas, a figura 3A demonstra a distribuição das parcelas a partir da PCA: o eixo 1 apresenta 45,2% da variabilidade dos dados e o eixo 2, 24,1%. As marcações com cores representam diferentes parcelas dos tratamentos e demonstram que o SAFf (círculo em verde) apresentou maior pH e maiores teores de K, Mg e Ca no solo próximos aos teores de

SAFe e maiores teores em relação aos SAFi e PAs. O SAFe apresentou maiores teores de P, N, MO e C no solo (círculo em amarelo) em relação próxima ao SAFf e distante de SAFi e PAs. O SAFi e PAs apresentam maiores concentrações de Al no solo (círculos vermelhos e azuis), que é inversamente proporcional ao SAFe e SAFf.

**Figura 3.** Análises multivariadas. A) Gráfico de PCA para as características químicas dos solos das parcelas dos tratamentos (SAFe – SAF estabelecido; SAFf – SAF em formação; SAFi – SAF inicial; PAs – Pastagem) em Brasília - DF. B) Gráfico de Análise de Cluster representada em distância euclidiana (UPGMA). O dendograma representa a distância entre os grupos formados pelos diferentes estágios sucessionais dos SAFs e da área controle. As linhas vermelhas demonstram a formação de 3 grupos, distantes entre si.



Há uma tendência de agrupamento observado na PCA, onde as parcelas dos SAF's nos diferentes estágios sucessionais e na área controle tendem a se agrupar, ocupando a mesma região no gráfico de escores, assim como, a similaridade e proximidade, onde o SAFe e SAFf estão próximos do mesmo quadrante e o SAFi e a PAs, no quadrante oposto.

As tendências de agrupamento e similaridade das parcelas, em relação às características químicas observadas através da PCA, foram confirmadas pela análise cluster (figura 3B). A análise de cluster padroniza os dados apresentados nas parcelas para possibilitar a comparação entre os diferentes estágios sucessionais e a área controle, esses resultados são demonstrados no dendograma, que apresenta o agrupamento das parcelas na

distância euclidiana, e demonstra a dissimilaridade a partir das características químicas encontradas em cada solo.

Em concordância com a PCA (figura 3A), a análise de cluster evidenciou agrupamento das parcelas do SAFe, que formaram um grupo com características similares. As parcelas do SAFf formaram outro grupo, e houve formação de grupo com junção das parcelas do SAFi e PAs, com características semelhantes de estágios iniciais. O SAFe, com maior tempo de manejo e desenvolvimento, apresentou agrupamento de todas as parcelas neste mesmo estágio, em relação as altas concentrações de C, MO, N e P (Figuras 3A e 2B). Os resultados encontrados nas análises químicas são observados na tabela 2.

**Tabela 2.** Teores de elementos químicos dos solos de SAFs em diferentes estágios sucessionais e área controle nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFf: SAF em formação, SAFe: SAF estabelecido, PAs: pastagem / área controle) em Brasília – DF. As letras demonstram as diferenças significativas entre os estágios sucessionais de SAF e a área controle.

| Variáveis                   | Pastagem       | SAF Inicial    | SAF em Formação | SAF Estabelecido | P*       |
|-----------------------------|----------------|----------------|-----------------|------------------|----------|
|                             | Média (dp)     | Média (dp)     | Média (dp)      | Média (dp)       |          |
| pH Água                     | 5,9 (0,30) b   | 5,4 (0,16) b   | 6,27 (0,29) a   | 6,17 (0,13) a    | 0,0006   |
| C (g.kg <sup>-1</sup> )     | 32 (3,4) b     | 33,7 (3,43) b  | 30,7 (4,99) b   | 41,2 (1,71) a    | 0,006    |
| MO (g.kg <sup>-1</sup> )    | 55,5 (5,90) b  | 58,7 (5,91) b  | 56 (8,27) b     | 72,5 (3,40) a    | 0,005    |
| NT (g.kg <sup>-1</sup> )    | 0,60 (0,09) b  | 0,50 (0,08) b  | 0,62 (0,04) b   | 0,86 (0,78) a    | 0,045    |
| P (g.kg <sup>-1</sup> )     | 0,11 (0,001) b | 0,11 (0,001) b | 7,7 (0,82) b    | 88,8 (7,35) a    | 2,30E-05 |
| K (cmolc.dm <sup>3</sup> )  | 0,20 (0,10) b  | 0,31 (0,13) b  | 0,93 (0,23) a   | 0,66 (0,06) a    | 0,012    |
| Ca (cmolc.dm <sup>3</sup> ) | 1,02 (0,60) b  | 1,47 (0,92) b  | 5,92 (0,66) a   | 8,12 (1,02) a    | 6,04E-08 |
| Mg (cmolc.dm <sup>3</sup> ) | 0,50 (0,11) b  | 0,50 (0) b     | 1,7 (0,25) a    | 1,75 (0,07) a    | 0,003    |
| Al (cmolc.dm <sup>3</sup> ) | 0,30 (0,12) a  | 0,53 (0,01) a  | 0,10 (0) b      | 0,11 (0,001) b   | 4,00E-03 |

\*Médias seguidas por letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Os resultados demonstram aumento do pH, aumento nos teores C, MO, P, N, K e Ca e da diminuição do Al nos solos de SAFs nos estágios sucessionais com maior tempo de manejo, em relação à outros sistemas de manejo convencional onde há altos teores de Al (2 cmolc.dm<sup>3</sup>) e baixos teores de MO (12 e 28 g.kg<sup>-1</sup>) (HERMANI et al., 1997; CARNEIRO, et al., 2009; MELO et al., 2017), o que demonstra a eficiência dos SAF's em relação aos atributos químicos do solo (VEZZANI; MIELNICZUKI, 2009).

Os teores de MO apresentam-se elevados se comparados a outros estudos realizados por Alcantara et al., (2016) em SAF's no Cerrado, em que a média é de 35 g.kg<sup>-1</sup>, mais próximos ao trabalho apresentado por Rocha, et al. (2014) em Minas Gerais, que estudou os solos sob manejo de SAF's, com média de MO em 70 g.kg<sup>-1</sup>. Ao comparar os resultados encontrados com a tabela de Souza; Lobato (2004), os solos com os altos teores de MO são considerados solos muito argilosos, assim, os teores de C encontrados possuem a mesma característica, especialmente nos solos de SAFf e SAFe. O aumento de MO pode ter desencadeado consequente aumento nos nutrientes disponíveis para a comunidade vegetal (CHIODINI et al., 2013).

O tempo progressivo de desenvolvimento dos estágios sucessionais dos SAFs estimula o aumento da biodiversidade em múltiplas escalas ecológicas, favorecendo o aumento da biomassa e da complexidade de relações e interações entre matéria e energia da comunidade do agroecossistema (PENNEREIRO, 1999; SALGADO, 2016; SANTOS, 2016; SCHRAMA, et al., 2018).

As características relacionadas ao aumento da biomassa e, consequentemente, da qualidade química, física e microbiológica dos solos, baseiam-se em parte pela diversidade de espécies de plantas presentes nos SAF's com maior tempo de desenvolvimento (PAVINATO; ROSOLEN, 2008; ALVES et al., 2011; CARDOSO, et al., 2017).

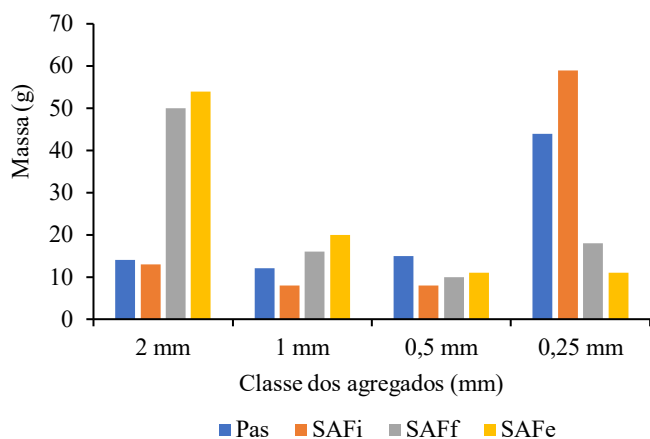
O SAFe e o SAFf, que tem maior estágio sucessional, são compostos por uma maior diversidade vegetal em relação ao SAFi e a PAs. Ressalta-se que todos os estágios sucessionais de SAF passaram pela adubação na formação inicial dos sistemas com pó de rocha e Yoorin. O SAFi apresentou intenso processo de adubação verde na preparação do solo para a iniciação do sistema e carrega características químicas e microbiológicas que são consequências deste processo. A diversidade vegetal determina a abundância de biomassa disponível para ciclagem

dos nutrientes no sistema e o aumento da atividade de micro e macro organismos, proporcionando a biocenose do solo (ALVES, et al., 2011; CARDOSO, et al., 2017; FERNANDES et al., 2018; PRIMAVESI; PRIMAVESI, 2018).

Observa-se um aumento progressivo nos teores de N nos solos de SAFE. Isto se deve, possivelmente, pelo aumento da diversidade vegetal onde há presença de árvores perenes e de micorrizas que facilitam o processo de formação de agregados no solo, favorecendo o aumento de N pela fixação biológica do N<sub>2</sub> (JEFFRIES et al., 2003; STEFANOSKI, 2013; DHALIWAL et al., 2015).

Em relação às características físicas do solo (figura 4), a composição da massa dos agregados do solo de SAFE e SAFf foram maiores em relação a SAFi e PAs. Nos SAFE e SAFf, predominou os agregados de 2 mm, sendo o SAFE com massa de 53,5g e SAFf com 50,4g, enquanto as PAs com massa de 13,6g e o SAFi com 12,9g.

**Figura 4.** Classificação dos agregados de solo (média) por tamanho dos agregados em solos de SAFs em diferentes estágios sucessionais e área controle nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFf: SAF em formação, SAFE – SAF estabelecido, PAs – pastagem / área controle) em Brasília – DF.



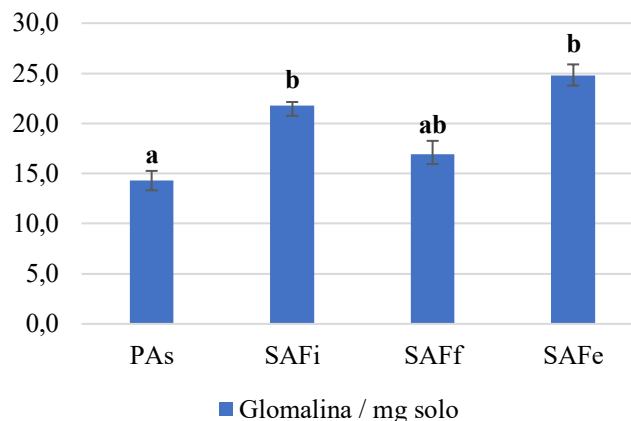
O solo com elevada biomassa, pela adição constante de MO, alto teor de C orgânico, diversidade vegetal e culturas vegetais perenes, proporciona a formação e estabilidade dos agregados (SALTON et al., 2008; BIDICHA et al., 2010; MENG-YUN et al., 2014). A predominância de macroagregados de tamanho de 2 mm no SAFE e no SAFf (figura 4) demonstram essa capacidade dos sistemas com maior estágio sucessional na formação dos agregados (RITA, 2007).

O manejo do solo pelos SAF's contribui para o acúmulo de matéria orgânica, o que com o tempo favorece a formação de macro agregados e sua maior participação dentre os agregados do solo é evidente, conforme o estágio sucessional (BASTOS et al., 2005; TOTSCH et al., 2018), predominando agregados em diâmetros maiores, ou seja: quanto menor o tempo de manejo, maior a predominância de agregados de frações menores e mais pulverizadas.

As concentrações de glomalina facilmente extraível (GFE) no solo apresentaram (figura 5) diferenças significativas nos diferentes estágios sucessionais e área controle (GL= ; F = 56,96;

p < 0,001 e). As maiores concentrações de GFE nos solos se deram em SAFE com 0,025 mg.g solo<sup>-1</sup> (0,0011) (figura 5).

**Figura 5.** Concentração média em mg.g solo<sup>-1</sup> de glomalina facilmente extraível em solos de diferentes estágios sucessionais de SAFs (SAFi - SAF inicial, SAFf - SAF em formação, SAFE - SAF estabelecido, PAs – pastagem / área controle) em Brasília – DF. As barras indicam o desvio padrão da média. \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.



As micorrizas associadas às raízes das plantas secretam glomalina, proteína responsável pela formação de agregados maiores, por apresentarem capacidade cimentante (VASCONCELLOS et al., 2016). A relação entre o estágio sucessional dos SAFs, a presença de microorganismos e o aumento da diversidade vegetal estabelece um processo onde os atributos químicos e as características microbiológicas influenciam as características físicas no solo e são retroalimentados por elas.

Segundo Rillig; Mummey (2006), a mudança no uso do solo pode influenciar significativamente na concentração de glomalina e C no solo. Considerando o estágio sucessional dos SAF's, observou-se maior concentração no SAFi e SAFE. Nos estágios iniciais (SAFi), isto pode ser devido ao cultivo de espécies vegetais de adubação verde, como fava (*Vicia faba*) e guandu (*Cjanus cajan*). Estas espécies apresentam uma forte associação com fungos micorrizicos arbusculares (FMA), por se tratar de espécies de leguminosas fixadoras de N atmosférico (ESPINDOLA et al., 1997; MIRANDA; MIRANDA, 2004; CÔRREA et al., 2015).

Miranda e Miranda (2004) assinalam que algumas espécies de plantas leguminosas e forrageiras têm alta dependência de FMA nativos, especialmente em solos de Cerrado, que podem se beneficiar desta simbiose para aumentar a sua capacidade de resposta para a absorção de nutrientes.

Nos SAF's com maior estágio sucessional há maior associação da concentração de glomalina com as espécies de plantas perenes que estão presentes nos sistemas, o que pode ser observado, especialmente, no SAFE (ANTONIOLI; KAMINSKI, 1991; SINGH et al., 2018).

## CONCLUSÕES

Os SAF's apresentam maior diversidade vegetal, maior disponibilidade de MO, N, C e nutrientes nos solos ao longo do tempo, com consecutivo aumento na atividade microbiológica e grau de agregação do solo, potencializando os serviços ecossistêmicos, como retenção de C e formação de solos na biosfera. Quanto maior o estágio sucessional do SAF, maior é sua capacidade de ciclagem de nutrientes, aumentando os teores de MO, P, K, Ca no solo e diminuindo os teores de Al, como foi o caso do SAFe.

## REFERÊNCIAS

- ABREU, L. S.; BELLON, S.; BRANDEBURG, A.; OLLIVIER, G.; LAMINE, C.; DAROLT, M. R.; AVENTURIER, P. Relações entre agricultura orgânica e agroecologia: desafios atuais em torno dos princípios da agroecologia. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 26: 143-160, 2012. <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v26i0>.
- ALMEIDA, L. S.; GAMA, J. R. V. Quintais agroflorestais: estrutura, composição florística e aspectos socioambientais em área de assentamento rural na Amazônia Brasileira. *Ciência Florestal*, 24 (4): 1037, 2014. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509816617>.
- ALCÂNTARA, A.; STONE, F.; DIDONET, D. Fertilidade do solo em sistemas agroflorestais agroecológicos no cerrado brasileiro. *Actas del XII Congreso de SEAE*: 21-23, 2016.
- ALVES, T. S.; CAMPOS, L. L.; ELIAS NETO, N.; MATSOUKA, M.; LOUREIRO, M. F. Biomassa e atividade microbiana de solo sob vegetação nativa e diferentes sistemas de manejos. *Acta Scientiarum Agronomy*, 33 (2): 341-347, 2011. <http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.4841>.
- ANTONIOLI, Z. I.; KAMISKI, J. Micorrizas – revisão bibliográfica. *Ciência Rural*, 21 (3): 441-455, 1991. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84781991000300013>.
- BARNETT, H. L., HUNTER, B. B. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. Burgess Publishing Company, 1972, 241p.
- BASTOS, R. S.; SÁ MENDONÇA, E.; ALVARES, V. H.; CÔRREA, M. M.; COSTA, L. M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciados por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:21-31, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000100003>.
- BERNARDES, M. S.; PINTO, L. F. G.; RIGHI, C. A. Interações biofísicas em sistemas agroflorestais. In: PORRO, R. (Org.). *A Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação*. Brasília: EMBRAPA-ICRAF, 2009, p. 453-476.
- MAJUMDER, B. A.; RUEHLMANN, J. B.; KUZYAKOV, Y. Effects of aggregation processes on distribution of aggregate size fractions and organic C content of a long-term fertilized soil. *European Journal of Soil Biology*, 46: 365-370, 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.08.001>.
- BOBUL'SKÁ, L.; FAZEKASOVÁ, D.; ANGELOVICOVÁ, L.; KOTOROVÁ, D. Impact of ecological and conventional farming systems on chemical and biological soil quality indices in a cold mountain climate in Slovakia. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31: 205-218, 2015. <https://dx.doi.org/10.1080/01448765.2014.1002537>
- BOCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. *Numerical Ecology with R*. 2 ed. Besançon- France: Springer, 2018, 306p.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for mycorrhizal association with barley on sewage-amended plots. *Soil Biology and Biochemistry*, 20: 945-948, 1976. <https://dx.doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *Elementos da natureza e propriedade dos solos*. Tradução técnica: Igor F. Lepsch. 3 edições. Porto Alegre: Brookman, 2013, 716p.
- BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. *Estatística Básica*, 4 Edição, Atual, São Paulo, 1987, 568p.
- CARDOSO, I. M.; FÁVERO, C. (editores técnicos). *Solos e Agroecologia*. v. 4. Brasília: Embrapa / ABA, 2018. 373p.
- CARDOSO, R. R.; SANTOS, A. C.; AGUIAU, J. T.; SILVA, A. A. M.; OLIVEIRA, L. B. T. Atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo sob diferentes tipos de uso. *Tecnologia e Ciência Agropecuária*. João Pessoa, 11 (5): 27-33, 2017. Disponível em: <<https://revistatca.pb.gov.br/edicoes/volume-11-2017/v-11-n-5-dezembro-2017/05-atributos-fisicos-quimicos-e-microbiologicos-do-solo.pdf>>. Acesso em 10/02/2019.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. F.; AZEVEDO, W. G. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 33: 147-157, 2009. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000100016>.
- CHIODINI, B. M.; SILVA, A. G.; NEGREIROS, A. B.; MAGALHÃES, L; B. *Matéria orgânica e a sua influência na nutrição de plantas*. *Cultivando o Saber*. Cascavel, 6 (1): 181-190, 2013. Disponível em: <[https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando\\_o\\_saber/517e8d44b5ff6.pdf](https://www.fag.edu.br/upload/revista/cultivando_o_saber/517e8d44b5ff6.pdf)>. Acesso em 05/01/2019.
- CONDON, L. M.; CAMERON, K. C.; DI, H. J.; CLOUGH, T. J. E.; FORBES, A.; McLAREN, R. G.; SILVA, R. G. A comparison of soil and environmental quality under organic and conventional farming systems in New Zealand. *Journal of Agricultural Research*, 43: 443-466, 2000. <https://dx.doi.org/10.1080/00288233.2000.9513442>
- CORRÊA, G. S.; MAREGA, A. E.; SILVA, O. M. C.; BERBARA, R. L. L.; FREIRE, L. R. Influência da adubação



- verde na densidade de esporos de fungos micorrízicos. XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Natal- RN, 2015. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/44890/1/INFLUENCIA-DA-ADUBACAO-VERDE-NA-COLONIZACAO.pdf>>. Acesso em 26/07/2021.
- COSTA, E. N. D.; SOUZA, M. F. L.; MARROCOS, P. C. L.; LOBÃO, D.; SILVA, D. M. L. Soil organic matter and CO<sub>2</sub> fluxes in small tropical watersheds under forest and cacao agroforestry. PLOS ONE, 16, 2018. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0200550>
- CUNHA, T. J. F.; MACEDO, T. J.; RIBEIRO, L. P.; PALMIERI F.; FREITAS, P. L.; AGUIAR, A. C. Impacto Do Manejo Convencional Sobre Propriedades Físicas E Substâncias Húmicas De Solos Sob Cerrado. Ciência Rural, 31 (1), 2001. <https://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782001000100005>
- DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. Microscopia Eletrônica de Varredura: aplicação e preparo de amostras. Porto Alegre: EDPUCRS, 2007, 60p.
- DHALIWAL, J.; KUKAL, S. S.; SHARMA, S. Soil organic carbon stock in relation to aggregate size and stability under tree-based cropping systems in Typic Ustochrepts. International Journal of Agricultural Sustainability, 13 (2): 120-134, 2015.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA - EMBRAPA, Mapa pedológico digital - SIG atualizado do Distrito Federal. Documentos, Planaltina, DF, 120: 1- 31, 2004. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/566388>>. Acesso em 26/07/2021.
- EMBRAPA. Manual de Métodos de Análise de Solos. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Embrapa Solo, 2011, 225p.
- ESPINDOLA, J. A. A.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G. M.; SILVA, E. M. R.; SOUZA, F. A. Influência da adubação verde na colonização micorrízica e na produção da batata-doce. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/44890/1/INFLUENCIA-DA-ADUBACAO-VERDE-NA-COLONIZACAO.pdf>>. Acesso em: 11/12/2019.
- FAO, FIDA e PMA. O Estado da Insegurança Alimentar no Mundo, 2014, Resumo. Fortalecimento de um ambiente favorável para a segurança alimentar e nutrição. Relatório. Roma, 2014. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i4037o/i4037o.pdf>>. Acesso em 06/04/2021.
- FREITAS, I. C.; SANTOS, S. C. V.; CUSTÓDIO FILHO, R. O.; CORRECHEL, V.; SILVA, R. B. Agroecosystems of family production in the Amazon and its impact on soil attributes. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 17 (12), 2013. <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013001200009>.
- FREITAS, L.; OLIVEIRA, I. A.; SILVA, L. S.; FRARE, J. C. V.; FILLA, V. A.; GOMES, M. P. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. UNIMAR CIÊNCIAS, 26 (1-2): 08-25, 2017.
- FURZE, J. R.; MARTIN, A. R.; NASIELSKI, J.; THEVATHASAN, N. V.; GORDON, NA. M.; ISAAC, M. E. Resistance and resilience of root fungal communities to water limitation in a temperate agroecosystem. Ecology and Evolution, 7 (10): 3443-3454, 2017. <https://dx.doi.org/10.1002/ece3.2900>
- GARCÍA-ORENES, F.; MORUGÁN-CORONADO, A.; ZORNOZA, R.; SCOW, K. Changes in Soil Microbial Community Structure Influenced by Agricultural Management Practices in a Mediterranean Agro-Ecosystem. Microbial Structure of Managed Mediterranean Soils, 8: 10-21, 201. <https://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0080522>
- HERMANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, A. Perdas por erosão e rendimento de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo roxo de Dourados (MS). Revista Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, 21 (4): 667-676, 1997. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06831997000400018>
- HUNTINGTON, H. P. Using traditional ecological knowledge in science: methods and applications. Ecological Applications, 10 (5): 1270-1274, 2000. [https://dx.doi.org/10.1890/1051-0761\(2000\)010/1270](https://dx.doi.org/10.1890/1051-0761(2000)010/1270).
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA- INMET, Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em 23/06/2020.
- MARINARI, S.; MANCINELI, R.; CAMPIGLIA, E.; GREGO, S. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. Ecological Indicators, 6: 701-711, 2006. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.08.029>.
- MELO JUNIOR, H. B.; CAMARGO, R.; WENDLING, B. Sistema De Plantio Direto Na Conservação Do Solo E Água E Recuperação De Áreas Degradadas. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer, 7 (12): 1-17, 2011.
- MELO, V. F.; SILVA, D. T.; EVALDO, A.; ROCHA, P. R. R. Qualidade química e biológica do solo em diferentes sistemas de uso em ambiente de savana. Revista Agroambiente On-line, 11 (2): 101-110, 2017. <https://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i2.3850>
- MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCO-VERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; REHDER, T.; PEREIRA, V. B. Restauração ecológica com Sistemas Agroflorestais: Como conciliar conservação com produção: Opções para Cerrado e Caatinga. Brasília: Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal - ICRAF, 2016, 266p.

- MIRANDA, J. C. C.; MIRANDA L. N. Dependência micorrízica de diferentes culturas anuais, adubos verdes e pastagens em solos de Cerrado. Ministério da Agricultura e Abastecimento. Comunicado Técnico 114, Brasília, 2004. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/40533/1/Dependencia-micorrizica-de-diferentes-culturas-anuais-adubos-verdes-e-pastagens-em-solos-de-Cerrado-.pdf>>. Acesso em: 08/08/2019.
- MENG-YUN, L.; QING-RUI, C.; YAN-BING, Q.; JING L.; TAO, C. Aggregation and soil organic carbon fractions under different land uses on the tableland of the Loess Plateau of China. *Catena*, 115: 19-28, 2014. <https://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2013.11.002>.
- NEUMAN, W. Lawrence. *Social Research Methods: qualitative and quantitative approaches*. New York: Pearson, 2006, 631p.
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira Ciências do Solo*, v. 32, n. 3, 2008. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300001>.
- PENEIREIRO, Fabiana. M. *Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso*. Dissertação, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999, 138p.
- PRIMAVESI, A.; PRIMAVESI, A. *A biocenose do solo na produção vegetal & Deficiências minerais e culturais: nutrição e produção vegetal*. 1 ed. - São Paulo: Expressão Popular, 2018. 608p.
- RIBEIRO, J. M.; FRAZÃO, L. A.; CARDOSO, P. H. S.; OLIVEIRA, A. L. G.; SAMPAIO, R. A.; FERNANDES, L. A. Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistemas agroflorestais no Cerrado Mineiro. *Revista Ciência Florestal*, 29 (2): 913-923, 2019. <https://dx.doi.org/10.5902/1980509825310>.
- RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*, 84 (4): 355-363, 2004. <https://dx.doi.org/10.4141/S04-003>.
- RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, v.171, p.41-56, 2006. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01750>.
- RITA, J. C. O. *Carbono das frações da matéria orgânica e classes de agregados de solos sob sistemas agroflorestais De cacau no sul da Bahia*. Dissertação, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos de Goytacazes-RJ, 2007, 66p.
- ROCHA, G. P.; FERNANDES, L; A.; CABACINHA, C. D.; LOPES, I. D. P.; RIBEIRO, J. M.; FRAZÃO, L; A.; SAMPAIO, R. A. Caracterização e estoques de carbono de sistemas agroflorestais no Cerrado de Minas Gerais. *Ciência Rural*, Santa Maria, 44 (7):1197-1203, 2014. <https://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20130804>.
- SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em mato grosso do sul. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 32 (1): 11-21, 2008. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000100002>.
- SALTON, J. C.; SILVA, W. M.; TOMAZI, M. e HERNANI, L. C. Determinação da agregação do solo - Metodologia em uso na Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado Técnico, 184. Dourados, 2012. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/952808/1/COT2012184.pdf>>. Acesso em 30/05/2020.
- SALGADO, G. M. *Estoque de carbono orgânico do solo em sistemas agroflorestais com seringueira no sul do estado da Bahia, Brasil*. Tese, Universidade Estadual do Norte Fluminense. Campos de Goytacazes-RJ, 2016, 70p.
- SANTOS, A. M. G. *Mudança no uso da terra e seu efeito no solo na região de floresta no estado de Roraima*. Tese, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2016, 135p.
- SANTOS, C. F.; SIQUEIRA, E. S.; ARAÚJO, I. T.; MAIA, Z. M. G. *A agroecologia como perspectiva de sustentabilidade na agricultura familiar*. *Ambiente e Sociedade*, 17 (2), 2014. <https://dx.doi.org/10.1590/S1414-753X2014000200004>.
- SCHRAMA, M.; HAAM, J. J.; KROONEN, M.; VERSTEGEN, H.; VAN DER PUTTEN, W. H. Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 256: 123-130, 2018. <https://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.12.023>.
- SCHIMIGUEL, R.; MORAES SÁ, J. C.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; ZUFFO, J. Estabilidade de agregados do solo devido a sistemas de cultivo. *Synergis musscyentifica UTFPR, Pato Branco- PR*, 9 (1), 2014.
- SCHORTH, G.; SINCLAIR, F. L. Impacts of trees on the fertility of agricultural soils. In: SCHORTH, G.; SINCLAIR, F. L. *Trees, crops and soil fertility*. CAB International, 2003, p. 13-23.
- SCHROTH, G.; McNEELY, J. A. Biodiversity Conservation, Ecosystem Services and Livelihoods in Tropical Landscapes: Towards a Common Agenda. *Environmental Management*, 48 (2): 229-236, 2011. <https://dx.doi.org/10.1007/s00267-011-9708-2>.
- SINGH, A. K.; RAI, A.; BANYAL, R.; CHAUHAN, P. S.; SINGH, N. Plant community regulates soil multifunctionality in a tropical dry forest. *Ecological Indicators*, 95: 953-963, 2018. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.08.030>.

- SOUSA, C. S.; MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; LIMA, F. S. Glomalina: características, produção, limitações e contribuição nos solos. *Semina: Ciências Agrárias*, 33 (1): 3033-3044, 2012. <https://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33Supl1p3033>.
- SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). *Cerrado: correção do solo e adubação* 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004, 416p.
- STEFANOSKI, S. D.; SANTOS, G. G.; MARCHÃO, R. L.; PETTER, F. A.; PACHECO, P. P. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista brasileira engenharia agrícola ambiental*, 17 (12), 2013. <https://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008>.
- TELES, V. C.; ANDREANI, L.; VALADARES, L. F. *Uso de Microscopia de Luz e Eletrônica como Técnicas de Análise Morfológica*. Circular Técnica. Embrapa – Brasília, 2017. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1085307/1/CIT15CNPAE.pdf>>. Acesso em 06/03/2020.
- TOTSCHKE, K. U.; AMELUNG, W.; GERZABEK, M. H.; GUGGENBERGER, G.; KLUMPP, E.; KNIEF, C.; LEHNDORFF, E.; MIKUTTA, R.; PETH, S.; PRECHTEL, A.; RAY, N.; KO" GEL-KNABNER, I. Microaggregates in soils. *Journal Plant Nutrints Soil Science*, 181: 104–136, 2018. <https://dx.doi.org/10.1002/jpln.201600451>.
- VASCONCELLOS, R. L. F.; BONFIM, J. A.; ANDREOTE, F. D.; MENDES, L. W., BARETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Microbiological indicators of soil quality in a riparian forest recovery gradiente. *Ecological Engineering*, 53: 313– 320, 2013. <https://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.067>.
- VASCONCELLOS, R. L. F.; BONFIN, J. A.; BARRETTA, D.; CARDOSO, E. J. B. N. Arbuscular Mycorrhizal Fungi And Glomalin-Related Soil Protein As Potential Indicators Of Soil Quality In A Recuperation Gradient Of The Atlantic Forest In Brazil. *Land Degradation & Development*, 27: 325–334, 2016. <https://dx.doi.org/10.1002/ldr.2228>.
- VEZZANI, F.M. *Qualidade Do Sistema Solo Na Produção agrícola*. Tese, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001, 184p.
- VEZZANI Ff. M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 33 (4), 2009. <https://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000400001>.
- WEZEL, A.; BELLON, S.; DOR'E, T.; FRANCIS, C.; VALLOD, D.; DAVID, C. Agroecology as a Science, a movement and a practice. A review. *Jounal Agronomy for Sustainable Development*, 29(4): 503-515, 2009. <https://dx.doi.org/10.1051/agro/2009004>.
- WRIGHT, S. F. & UPADHYAYA, A. Extraction of na abundant and unusual protein from soil and comparison withhyphal protein or arbuscular mycorrhizal fungo. *Soil Science*, 9 (161): 575-586, 1996. <https://dx.doi.org/10.1097/00010694-199609000-00003>.
- WOOD, S. & EHUI, S. Food. IN: BALISACAN, A. M. & GARDINER, P. *Millenium Ecosystem Assessment*. Washigton, Island, 2005, p. 209-241.
- YAO, Z.; ZHOU, Z.; ZHENG, X.; XIE, B.; MEI, B.; WANG, R.; BUTTERBACH-BAHL, K.; ZHU, J. Effects of organic matter incorporation on nitrous oxide emissions from rice-wheat rotation ecosystems in China. *Plant And Soil*, 327 (2): 315-330, 2010. <https://dx.doi.org/10.1029/2002GB002016>.
- YOGEV, A.; LAOR, Y.; KATAN, J.; HADAR, Y.; COHEN, R.; MEDINA, S.; RAVIV, M. Does organic farming increase soil suppression against Fusarium wilt of melon? *Organic Agriculture*, 1 (4): 203-216, 2011. <https://dx.doi.org/10.1007/s13165-011-0016-1>.