

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UNB  
FACULDADE UNB DE PLANALTINA - FUP  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E  
DESENVOLVIMENTO RURAL**

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FÍSICAS E MICROBIOLÓGICAS DE  
SOLOS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS EM DIFERENTES ESTÁGIOS  
SUCESSIONAIS**

**SABRINA MENDES PEREIRA**

**PLANALTINA – DF**

**Março de 2020.**

SABRINA MENDES PEREIRA

Dissertação de Mestrado

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FÍSICAS E MICROBIOLÓGICAS DE SOLOS  
EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS EM DIFERENTES ESTÁGIOS  
SUCESSIONAIS**

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural.

Orientador: Prof. Dr. Tamiel Khan Baiocchi Jacobson  
Co-orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dra. Caroline Siqueira Gomide

PLANALTINA – DF

Março de 2020.

## FICHA CATALOGRÁFICA

Mc MENDES PEREIRA, SABRINA  
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FÍSICAS E MICROBIOLÓGICAS DE SOLOS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS EM DIFERENTES ESTÁGIOS SUCESSIONAIS / SABRINA MENDES PEREIRA; orientador Tamiel Khan Baiocchi Jacobson. -- Brasília, 2020.  
53 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural) -- Universidade de Brasília, 2020.

1. AGROECOLOGIA. 2. POLICULTIVOS. 3. MANEJO. 4. CICLAGEM DE NUTRIENTES. 5. SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.  
I. Khan Baiocchi Jacobson, Tamiel, orient. II. Título.

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, FÍSICAS E MICROBIOLÓGICAS DE SOLOS  
EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS EM DIFERENTES ESTÁGIOS  
SUCESSIONAIS**

SABRINA MENDES PEREIRA

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Tamiel Khan Baiocchi Jacobson (FUP/UnB)

---

Prof. Cícero Donizete Pereira (EMBRAPA CPAC)

---

Prof. Alessandra Monteiro de Paula (FAV-UnB)

## DEDICATÓRIA

*Dedico à todas as mulheres da minha vida, todas as que viram em mim a possibilidade de realização, levo comigo a história de cada uma de vocês.  
Somos capazes de sermos o que quisermos ser!  
Ao Henrique e ao Mathyas, meus grandes e eternos amores!*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade de Brasília – FUP Planaltina, pela oportunidade de cursar o mestrado pelo Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural. Agraço ao PPG-MADER pelos debates e reflexões proporcionados por cada disciplina, palestra ou conversa com os nossos docentes do programa e convidados.

Agradeço em nome do Prof. Mário Ávila a participação nos Projetos Monitora e GOVFUNG, pela disponibilização da bolsa que me possibilitou concluir esse mestrado e me proporcionou espaço de atuação e aprendizado.

Agradeço a Dra. Araildes F. Urben pelas contribuições nas análises microbiológicas realizadas na EMBRAPA Cenargen, a Prof<sup>a</sup> Alessandra Monteiro (FAV- UNB) e Stefany Braz, que disponibilizaram seu tempo para contribuir na minha pesquisa.

Agradeço Prof<sup>a</sup> Caroline Gomide por todas as conversas e orientações que contribuíram imensamente com este trabalho. Agradeço a disposição do Rômulo e da Sophia em nos receber em sua casa e dispor seu espaço de morada e trabalho para realização de nossas observações e análises.

Agradeço imensamente a turma 2018/1 do PPG-MADER por todas as amizades conquistadas e por cada debate e risada que compartilhamos, esse caminho solitário do mestrado foi mais agradável com cada um de vocês. Agradeço com maior carinho à Patricia, Olívio e Felipe companheiros de tantos momentos e que se tornaram amigos/camaradas de luta e pra vida, seguimos juntos por muitos caminhos.

*“Há todo um velho mundo ainda por destruir e todo um novo mundo a construir. Mas nós conseguiremos, jovens amigos, não é verdade?”* (Rosa Luxemburgo).

Agradeço ao Prof. Tamiel que junto a Prof<sup>a</sup>. Caroline me desafiaram a sair da zona de conforto e estudar um tema novo. Prof. Tamiel grata a sua paciência e por acreditar na minha capacidade.

Finalizarei meu agradecimento com aqueles que me acompanham em cada uma das minhas conquistas acadêmicas e da vida, meus filhos, para vocês deixo meu exemplo e um grande aprendizado de que o conhecimento e o estudo são riquezas que nunca nos serão tiradas. Cada conquista minha é pra “nós”. Agradeço ao companheiro de vida que conquistei nesses últimos anos, Lucas, por compartilhar comigo planos e conquistas, por ouvir minhas reclamações e por comemorar comigo minhas realizações.

Que possamos cada vez mais construir possibilidades de acesso a ciência e a construção científica para mulheres, para negras/os, para a classe trabalhadora, que cada vez mais esse seja um lugar em que possamos nos ver.

*“Que [a universidade] se pinte de negro, que se pinte de mulato. Não só entre os alunos, mas também entre os professores. Que se pinte de operários e de camponeses, que se pinte de povo, porque a universidade não é patrimônio de ninguém, ela pertence ao povo”.* (Ernesto Che Guevara).

***“Pátria Livre! Venceremos!”***

**Letra da música: “Caminhos Alternativos”**

**Zé Pinto**

*Se plantar o arroz ali,  
se plantar o milho a “cu’lá”,  
um jeito de produzir,  
pra gente se alimentar.  
Primeiro cantar do galo,  
já se levanta da cama,  
e o camponês se mistura  
a terra que tanto ama.*

***Amar o campo, ao fazer a plantação,  
não envenenar o campo é purificar o pão.  
Amar a terra, e nela plantar semente,  
a gente cultiva ela, e ela cultiva a gente.  
A gente cultiva ela, e ela cultiva a gente.***

*Choro virou alegria,  
a fome virou fartura,  
e na festa da colheita,  
viola em noite de lua.  
Mutirão é harmonia,  
com cheiro de natureza,  
o sol se esconde na serra  
e a gente ascende a fogueira.*

***Amar o campo, ao fazer a plantação,  
não envenenar o campo é purificar o pão.  
Amar a terra, e nela plantar semente,  
a gente cultiva ela, e ela cultiva a gente.  
A gente cultiva ela, e ela cultiva a gente.***

*Quando se venena a terra,  
a chuva leva “PRO” rio,  
nossa poesia chora,  
se a vida tá por um fio,  
e ela é pra ser vivida,  
com sonho, arte e beleza,  
caminhos alternativos  
e alimentação na mesa.*

***Amar o campo, ao fazer a plantação,  
não envenenar o campo é purificar o pão.  
Amar a terra, e nela plantar semente,  
a gente cultiva ela, e ela cultiva a gente.  
A gente cultiva ela, e ela cultiva a gente.***

## RESUMO

O desenvolvimento de sistemas de produção de baixo impacto, que atuem próximos a dinâmica da natureza se faz necessário. Assim, os sistemas agroflorestais (SAF's) são uma alternativa de sistema de produção que aliam conservação e produção de alimentos. No entanto, a dinâmica de manejo de sistemas agroflorestais e sua influência nas características edáficas ainda são pouco conhecidas. Neste sentido, esta pesquisa teve como objetivo avaliar características químicas, físicas e microbiológicas de solos de SAF's em três estágios sucessionais (2, 4 e 7 anos) e em uma área controle (pastagem), localizadas no Sítio Raiz, Brasília-DF. Foram realizadas coletas de solo (uma amostragem composta (n=4) em 0-20 cm, e uma simples indeformada, em abril e setembro de 2019, e uma amostra simples indeformada, em setembro de 2019). Foi realizada descrição do histórico da área através de entrevista com o agricultor proprietário e levantamento das espécies vegetais presentes nos SAFs no momento da coleta. Realizou-se análises químicas (pH, MO, C, N, C:N, P, K, Ca, Mg e Al), físicas (granulometria e a estrutura dos agregados) e microbiológicas (glomalina facilmente extraível, determinação da presença microrganismos de solo). Os dados foram analisados através análises de cluster e análise dos componentes principais (PCA), ANOVA e testes de Tukey. A diversidade de espécies vegetais cultivadas foi de 19 espécies no SAF maduro (7 anos), 11 no SAF médio (4 anos), 5 no SAF inicial (2 anos), e 2 espécies na pastagem. Observou-se três diferentes grupos de solos em relação a fertilidade e tempo de manejo agrupando parcelas do SAF maduro em relação a pH, C, P, N, MO e com cátions. Observou-se que quanto maior o estágio sucessional, maior é o grau de agregação e maior a distribuição dos agregados em maiores classes de diâmetro. Há glomalina nos solos de todos os estágios sucessionais e área controle, porém, há maior presença de glomalina nos SAFs. Identificou-se fungos, ácaros e bactérias no solo, algumas exclusivas de estágios sucessionais maduros. Conclui-se que quanto maior a maturidade do SAF, maior é a qualidade química, física e microbiológica do solo, o que influencia e é influenciado pela ciclagem de nutrientes. Com o aumento do tempo, há maior disponibilidade de nutrientes, aumento da atividade biológica e da capacidade de agregação aumentando, assim, a capacidade de formação de solos ao longo do tempo. No entanto, este serviço ecossistêmico propiciado pelos SAF's não é devidamente reconhecido pelo comerciante e pelo consumidor de alimentos orgânicos

Palavras-chave: Agroecologia, policultivo, manejo, ciclagem de nutrientes, serviços ecossistêmicos.

## ABSTRACT

The development of low impact production systems, which act close to the dynamics of nature, is necessary. Thus, agroforestry systems (SAF's) are an alternative production system that combine food conservation and production. However, the management dynamics of agroforestry systems and their influence on soil characteristics are still poorly understood. In this sense, this research aimed to evaluate chemical, physical and microbiological characteristics of soils from SAF's in three successional stages (2, 4 and 7 years) and in a control area (pasture), located at Sítio Raiz, Brasília-DF. . Soil collections were carried out (a composite sample (n = 4) in 0-20 cm, and a simple unformed one, in April and September 2019, and a simple unformed sample, in September 2019). A description of the area's history was carried out through interviews with the owner farmer and a survey of the plant species present in the SAFs at the time of collection. Chemical (pH, MO, C, N, C: N, P, K, Ca, Mg and Al), physical (granulometry and aggregate structure) and microbiological (easily extractable glomaline, determination of the presence of microorganisms) ground). The data were analyzed using cluster analysis, and main components (PCA), ANOVA and Tukey tests. The diversity of cultivated plant species was 19 species in the mature SAF (7 years), 11 in the medium SAF (4 years), 5 in the initial SAF (2 years), and 2 species in the pasture. Three different groups of soils were observed in relation to fertility and management time (grouping plots of mature SAF in relation to pH, C, P, N, MO and cations. It was observed that the greater the successional stage, the greater the degree of aggregation and the greater the distribution of aggregates in larger classes of diameter There is glomalin in soils of all successional stages and control area, however, there is a greater presence of glomalin in the SAFs. Fungi, mites and bacteria in the soil, some exclusive of mature successional stages. It is concluded that the greater the maturity of the SAF, the greater the chemical, physical and microbiological quality of the soil, which influences and is influenced by the cycling of nutrients. there is a greater availability of nutrients, increase in biological activity and aggregation capacity, thus increasing the capacity for soil formation over time, however, this ecosystem service provides the SAF's is not properly recognized by the organic food merchant and consumer.

Keywords: Agroecology, polyculture, management, nutrient cycling, ecosystem services.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
2.	MATERIAL E MÉTODO.....	15
2.1.	Área de estudo.....	15
2.2.	Delineamento amostral.....	15
2.3.	Histórico de manejo da área.....	15
2.4.	Levantamento das espécies de plantas cultivadas.....	16
2.5.	Determinação das características químicas do solo.....	16
2.6.	Granulometria dos agregados do solo.....	17
2.7.	Estrutura dos agregados - Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV.....	17
2.8.	Glomalina Facilmente Extraível – GFE.....	18
2.9.	Análise microbiológica.....	18
2.10.	Análises estatísticas dos dados.....	19
3.	RESULTADOS.....	21
3.1.	Caracterização da área.....	21
3.2.	Características químicas dos solos amostrados.....	23
3.3.	Características microbiológicas e físicas dos solo.....	31
4.	DISCUSSÃO.....	39
4.1.	Características químicas dos solos de SAF's em diferentes estágios sucessionais e área controle.....	39
4.2.	Caracterização física dos solos em diferentes estágios sucessionais de SAF e área controle.....	41
4.3.	Microbiologia dos solos em diferentes estágios sucessionais de SAF e área controle.....	42
4.4.	SAF's e a formação de solos: interação humana no ambiente.....	44
5.	CONCLUSÃO.....	47
6.	REFERÊNCIAS.....	48

## 1. INTRODUÇÃO

O primeiro ato histórico da humanidade, segundo Marx e Engels (1984) é a produção de condições de existência, comer e beber, um lugar para habitar, entre outras coisas, produzir a vida material é fundamental para toda a história tanto da natureza quanto da humanidade.

Os seres humanos possuem uma relação metabólica com a natureza, o que *Marx* chamou de *metabolismo orgânico*, um processo complexo, que a partir do trabalho conecta os seres humanos a natureza, em uma relação de interdependência. Essa relação é rompida pela sociedade capitalista, em sua veloz extração de matéria-prima da natureza, e, pelas escolhas políticas e econômicas em relação à produção de alimentos e a *exploração* dos bens naturais (FOSTER, 2011).

Foster & Beker (2006), citam Marx que discorre sobre o antagonismo entre os *ser humano e a terra* como uma questão que fundamenta o rompimento da relação metabólica, no contexto da sociedade capitalista, que aprofunda uma *fissura irreparável* nessa interação, daí surge à necessidade de uma restauração sistêmica, na reconstrução de novas relações entre seres humanos e a natureza, entre a produção de alimentos e a conservação dos bens naturais.

Segundo Fischler (1990), mesmo com os avanços tecnológicos, a sociedade moderna, no curso de sua história, tem a preocupação, com a subsistência em relação ao alimento. Essa incerteza aumenta a cada ano, com as crises ambientais e econômicas, que aprofundam a divisão internacional do trabalho, causada pelo modelo de sociedade espoliadora dos bens naturais (FOSTER & CLARCK, 2006).

Segundo FAO (2014), o atual modelo agrícola, baseado na produção de monocultivo, adubação química e intenso uso de agrotóxicos, contribui e acelera a perda de solos. A erosão elimina 25 a 40 bilhões de toneladas de solo por ano, reduzindo significativamente a produtividade das culturas e a capacidade de armazenar carbono, nutrientes e água.

Além das consequentes perdas causadas pela produção de cereais, em torno de 7,6 milhões de toneladas por ano, o que equivale retirar 1,5 milhão de quilômetros quadrados de terras na produção de culturas. A maioria das economias de muitos países tem sua base na agricultura convencional de exportação que representa, direta e indiretamente, mais de 25% da força de trabalho mundial (WOOD & EHUI, 2005).

Estudos demonstram que ao longo do tempo os sistemas convencionais de produção agrícola provocam mudanças nas características físicas dos solos como densidade,

porosidade, estabilidade dos agregados e disponibilidade de água no solo, levando anos para que o solo se recupere do processo de gradação, uso de adubos químicos e produção de monocultivos (CUNHA, *et. al.*, 2001; MELO Jr *et.al.*, 2011; SILVA *et. al.*, 2011).

Como processo de construção de alternativas para o atual cenário mundial de crise econômica, ambiental e em contraste ao atual modelo agrícola exportador, consolida-se no cotidiano agrário dos agricultores familiares camponeses a agroecologia, que se apresenta como matriz produtiva que reconstrói a relação do ser humano com a natureza possibilita reparar a fissura metabólica que foi perdida com as relações capitalistas, reconectando parte das necessidades da humanidade aos ciclos da natureza (PETERSEN *et. al.*, 2009).

Nesta pesquisa, assumimos o conceito de agroecologia como movimento, ciência e prática, que leva em conta as dimensões políticas, sociais e ambientais, como movimento pela existência de organizações/movimentos sociais e ambientais que contribuem nessa construção, como ciência, pela inserção de diferentes tradições científicas, e como prática, pela constante busca de conceituação e estruturação de novos tipos de técnicas e ferramentas (WEZEL *et.al.*, 2009).

A agroecologia inclui os debates acerca do cuidado e da defesa da vida, aliados a produção de alimentos, a organização social e a consciência política. Entende-se que a construção da agroecologia não se desassocia da luta por soberania alimentar e energética, a defesa dos territórios dos povos tradicionais e camponeses, a consolidação da reforma agrária e urbana, a construção de relações de trabalho cooperado, das relações interpessoais e a defesa do meio ambiente e da biodiversidade (GUHUR & TONÁ, 2012; MBOW *et.al.*, 2014).

No processo de desenvolvimento das práticas agroecológicas, apresenta-se os sistemas agroflorestais, que possuem inúmeras definições a depender da linha teórica escolhida. Na presente pesquisa adotamos o conceito de Miccolis *et. al.* (2016), que define os sistemas agroflorestais (SAF) como um nome dado ao uso da terra em que espécies vegetais perenes, como árvores, compõem a mesma unidade de produção com outras 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.

Nos agroecossistemas SAF, tem-se o desenvolvimento essencial de solos vivos, bio diversos, e enriquecidos físico-quimicamente, que potencializam a ciclagem de nutrientes e materiais, produzem alimentos sem adubos sintéticos, agrotóxicos ou hormônios sintéticos,

gerando segurança alimentar, contribuindo para a saúde humana e ambiental. O solo deixa de ser tratado como um substrato e passa a ser um componente vivo da paisagem (CARDOSO & FÁVERO, 2018; PRIMAVESI & PRIMAVESI, 2018) e esta forma de se relacionar com o solo muda a interação do agricultor no agroecossistema, que apreende os ciclos naturais e alia-se a sua dinâmica para produção de alimentos e a recuperação da vida no solo.

Os sistemas agroflorestais buscam o equilíbrio físico, químico e biológico do solo. Este fator é tido como principal *ponto angular da agricultura*, e a intervenção do ser humano busca compreender o equilíbrio, que a partir de alguns fatores limites, regenera e reorganiza automaticamente o agroecossistema, quando as práticas visam o equilíbrio na entrada e saída de matéria e energia (PRIMAVESI & PRIMAVESI, 2018).

Os solos de SAF's apresentam características diferentes em relação ao tamanho e distribuição dos agregados, neste tipo de manejo os agregados estáveis tem tamanhos maiores (1mm/2mm) que formam-se pelas condições do plantio diversificado de culturas agrícolas, o que possibilita encontrar características físicas e químicas em condições próximas as encontradas em vegetação natural. Outra relação se dá pelos altos teores de C orgânico que tem conexão com a estabilidade dos agregados no solo (SALTON *et. al.*, 2008).

Os solos de sistemas de cultivo agroecológico/orgânico em relação aos sistemas convencionais, apresentam diferenças significativas nas características microbiológicas, químicas e físicas, essas características relacionam-se com a capacidade destes solos de potencializar a mineralização e mobilização dos nutrientes disponíveis (MARINARI *et. al.*, 2006; VASCONCELLOS *et. al.*, 2013).

García-Orenes *et. al.* (2013) relacionam a qualidade do solo, com a presença de micorrizas a partir da quantidade de matéria orgânica existente no solo e avaliam que quanto melhor manejado o agroecossistemas agroecológico/orgânicos, melhor será a microbiologia do solo.

Os micro organismos que vivem nos solos formam uma complexa rede de interações com as plantas cultivadas, quanto maior essa diversidade vegetal, maior será a diversidade microbiológica, o que potencializa a entrada e saída de nutrientes e facilita os ciclos biogeoquímicos (SILVA, 2017). Os solos exercem uma função em relação aos serviços ecossistêmicos que baseiam-se na capacidade de processar o fluxo de energia e o ciclo da matéria, abrigando uma grande diversidade biológica (TOSTICHE *et. al.*, 2018).

Diante do exposto sobre agricultura agroecológica e sistemas agroflorestais, tem-se o

debate da agricultura orgânica em relação agricultura agroecológica onde expressam-se as diferenças existentes entre esses dois modelos agrícolas que são, por vezes, confundidas com a mesma definição. A agricultura orgânica tem base ecológica e é reconhecida historicamente, por isso, tem seus princípios de ação e praticas codificado, com o esforço de controle e certificação, mas que não, necessariamente, apresentam preocupações com todos os princípios e práticas da agroecologia, princípios estes que reforçam um projeto interdisciplinar, que apresenta contribuições para diversificação produtiva, serviços ecossistêmicos, fortalecimento da biodiversidade, soberania alimentar e organização social (ABREU *et.al.*, 2012). A agroecologia através dos SAFs apresenta elementos que diferem das praticas e manejos dos sistemas orgânicos de produção.

As formas de manejo agroecológica reduzem a emissão dos gases de efeito estufa, tem elevado potencial de sequestro de carbono, aumentam a disponibilidade de matéria orgânica no solo e em consequência, equilibra a entrada e saída de matéria do sistema (CONDRON *et. al.*, 2000; KÜSTERMANN, 2007; BOBUL'SKÁ *et. al.*, 2015).

Considerando que a qualidade química e física dos solos está associada à diversidade de animais, plantas e microrganismos do ecossistema, em diferentes escalas, que interagem com os elementos abióticos, e influenciam diretamente na disponibilidade de minerais e nutrientes e sua ciclagem. Nesta pesquisa, verificamos se o manejo agroecológico realizado em sistemas agrofloretais em diferentes estágios sucessionais influencia na qualidade do solo, e consequentemente, no agroecossistema e no ecossistema circundante. Parte-se da hipótese de que quanto maior for o tempo de manejo do sistema agroflorestral, maior será a qualidade química, física e microbiológica dos solos.

Assim, esta pesquisa teve o objetivo de analisar variáveis edáficas em solos de sistemas agrofloretais em diferentes estágios sucessionais, e em uma área controle, através do levantamento do histórico dos processos de manejo e dinâmica dos SAF's; da determinação das características físicas (tamanho e estrutura de agregados), químicas (pH, M.O, C, N, P, K, Ca, Mg e Al) e microbiológicas (quantificação da glomalina e microrganismos patogênicos).

## **2. MATERIAL E MÉTODO**

### **2.1. Área de estudo**

A área de estudo localiza-se na cidade de Brasília (DF), e está inserida no Sítio Raiz, situado no Núcleo Rural Lago Oeste/NRLO. Este núcleo rural foi criado pela Lei nº 548, de 23 de setembro de 1993 e, está situado na Chapada da Contagem, sendo politicamente subordinado à Região Administrativa de Sobradinho – RA V. É um projeto de parcelamento do solo para fins rurais, situado na porção noroeste do Distrito Federal, em terras de domínio da União. Localizado sobre o divisor de águas, da Bacia do Lago Paranoá e a Bacia do Rio Maranhão (GREENTEC, 2014).

### **2.2. Delineamento amostral**

Foram estudados sistemas agrofloretais em três diferentes estágios sucessionais de desenvolvimento e uma área adjacente, semelhante à área dos SAF's, anterior ao manejo, com uma antiga pastagem, utilizada como área controle. Em relação ao estágio sucessional de desenvolvimento, os SAF's foram categorizados em: SAF maduro (SAFma) - área de manejo mais antiga, com 7 anos de instalação; SAF médio (SAFmed) - área com 4 anos de instalação; SAF Inicial (SAFi) - área com manejo agroflorestral mais recente, 2 anos e Pastagem (PAs), área controle, composta por uma pastagem antiga. Não foi considerada a sazonalidade hídrica, pelo fato das áreas serem irrigadas.

### **2.3. Histórico de manejo da área**

Para o levantamento do histórico de instalação e manejo da área, foram realizadas entrevistas semiestruturadas (HUNTINGTON, 2000; NEUMAN, 2006). A entrevista foi realizada em agosto de 2019, com o agricultor Rômulo Cabral de Araújo e a agricultora Sofia Martins Carvalho, proprietários do Sítio Raiz. Foram levantadas as informações sobre as áreas amostradas e as espécies que faziam parte da comunidade dos agroecossistemas durante a coleta, além de informações sobre as percepções da relação do agricultor sobre o manejo dos

SAF's.

#### **2.4. Levantamento das espécies de plantas cultivadas**

Na amostragem realizada nos SAF's e na área controle, foram levantadas as espécies de plantas cultivadas em cada SAF e na área controle. Não se considerou espécies arbustivas e arbóreas nativas do Cerrado, por serem muito escassas tanto nas áreas dos SAF's como na área controle.

#### **2.5. Determinação das características químicas do solo**

Em abril de 2019 foi realizada amostragem sistemática de solos (utilizando trado de facas), 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 de plantio dos SAF's), distantes aproximadamente três metros entre si. Dentro das linhas, as amostras, compostas de quatro sub-amostras, foram coletadas em aproximadamente, 10 m entre um ponto e outro, em linhas sistemáticas dentro dos SAF's. Na área de pastagem, adotou-se o mesmo procedimento das outras unidades amostrais. Para a realização da coleta, a camada herbácea e a serapilheira foram removidas (EMBRAPA, 2011).

Os solos coletados foram utilizados para determinação das variáveis químicas do solo (pH, M.O, C, N, relação C:N, P, K, Ca, Mg, Al). Foram realizadas as análises de pH em água, em 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. Os elementos P e K foram extraídos com Mehlich 1 e os elementos Ca, Mg e Al foram extraídos com solução KC1 1M. O teor de P no extrato foi determinado por colorimetria, utilizando molibdato de amônia, em comprimento de onda de 660 nm. O teor de Al foi determinado por titulação de NaOH. Os demais elementos (Ca e Mg) foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, o elemento K foi determinado por emissão de chama, todos foram realizados conforme roteiros e padrões descritos pela EMBRAPA (2011).

## **2.6. Granulometria dos agregados do solo**

Foram realizadas amostragens de solo (abr. 2019), 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, nos SAF's e no PA.

Para a realização da coleta, a camada herbácea e a serapilheira foram removidas. Foram realizados quatro sulcos de 10 cm no solo, em formato quadrado, que foram coletados, indeformados, em recipientes plásticos de 17 cm x 8 cm. Após a coleta, as amostras foram secas ao ar, e moídas manualmente, e depois armazenada em saco plástico (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, aproximadamente 1.000 gramas de amostras foram desterradas 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, e submetida a agitação em agitador mecânico vibratório (Solotest), por 15 minutos. Cada alíquota retida nas peneiras de diferentes MESH, cujas malhas foram descritas acima, foi pesada 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).

## **2.7. Estrutura dos agregados - Microscopia Eletrônica de Varredura – MEV**

Foi retirada de cada área de estudo uma amostra simples indeformada em um pote plástico com dimensões de 17 cm x 8 cm, do qual foram extraídas as amostras para a granulometria e para obter imagens eletrônicas dos agregados em MEV. Para observar as estruturas dos agregados a partir da microscopia eletrônica de varredura (MEV), as amostras foram fixadas sobre porta amostras de latão e metalizadas com ouro (recobertas com fina camada do material condutor) (GOLDSTEIN, *et al.*, 2003; DEDAVID *et al.*, 2007; TELES *et*

*al.*, 2017). As imagens foram obtidas em microscópio eletrônico de varredura (MEV) JEOL JSM-IT300 em alto vácuo, no modo de detecção de elétrons secundários. As análises foram realizadas no laboratório de microscopia eletrônica do Centro Regional de Tecnologia e Inovação (CRTI), da Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia- GO.

## **2.8. Glomalina Facilmente Extraível - GFE**

Em setembro de 2019, foi realizada amostragem indeformada de solo, em profundidade 0-5 cm, para as análises de quantificação da glomalina facilmente extraível. 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, pesadas para retirar 0,50 g de solo, cada unidade amostral teve preparo de triplicatas para realização da análise. Após a pesagem, adicionou-se 4 mL de tampão citrato de sódio (20 mM, pH 7) em cada frasco que contendo as 0,50g de solo. As amostras passaram pelo autoclave por 30 minutos a 121 °C e depois foram centrifugadas a 5000 rpm por 10 minutos. Removeu-se o sobrenadante dos frascos e depois, foi armazenado 2 mL em microtubos Eppendorf a 4 °C (WRIGHT & UPADHYAYA, 1996).

Para determinar a concentração de glomalina no extrato (100 µL do extrato em tubo de ensaio limpo foi extraído com o auxílio da pipeta, adicionou-se 3 mL de reagente de Bradford aos tubos vortex 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 UnB.

## **2.9. Análise microbiológica**

As amostras de solo foram coletadas na profundidade de 5 cm, e alocadas em recipientes plásticos, mantidos úmidos até o dia da análise com o objetivo de identificar microrganismos no solo de cada tratamento, foi realizada a técnica de patogenicidade e plaqueamento em meios de cultura de batata-dextrose-ágar (BDA) e suco de tomate (ST).

As amostras de solo foram levemente umedecidas e acondicionadas em placas de petri. Em seguida, discos de cenoura com 5 cm de diâmetro foram colocadas na superfície de cada solo. Os gerboxes foram envolvidos em sacos plásticos contendo cada um, algodão umedecido em água esterilizada, posteriormente, vedados e incubados sob luz negra/escuro (12/12 horas), a temperatura de 25 a 27°C, durante 14 dias. Em seguida se fez a leitura do material coletado através do exame direto.

Os meios de cultura de BDA e ST utilizados nesse trabalho foram esterilizados em autoclave à temperatura de 121°C, durante 20 minutos. Foram adicionadas partículas de solos, provenientes de sistemas agroflorestais em diferentes estágios sucessionais, nas placas de Petri contendo os diferentes meios de cultura. Em seguida, as placas foram incubadas sob luz fluorescente contínua, à temperatura de 25/27°C durante 07 a 10 dias (BOOTH, 1977). As análises foram realizadas no Laboratório de Micologia da Embrapa Recursos Genéticas e Biotecnologia (CENARGEN – DF).

## **2.10. Análises estatísticas dos dados**

Para todas as análises químicas, físicas e microbiológicas realizou-se o teste de normalidade Shapiro-Wilk, após ANOVA para avaliar se há diferenças entre as variáveis químicas, físicas e microbiológicas os diferentes tratamentos. Em todos os testes foi realizado teste *Post-hoc* de Tukey, sendo adotado novamente o intervalo de confiança de 5% ( $\alpha=5\%$ ) (BUSSAB & MORETTIN, 1987). Utilizou-se o software estatístico PAST (HAMMER *et al.*, 2001).

Para as variáveis químicas nos diferentes tratamentos, utilizou-se de análise de Clusters para demonstrar a semelhança entre os grupos formados a partir das características que mais se parecem. Realizou-se a padronização euclidiana dos dados. O coeficiente de correlação cofenética (CCC) foi de 0,77, levando a escolha do dendograma de Unweighted Pair-Group Method using arithmetic Averages (UPGMA), como mais adequado (BOUCARD *et al.*, 2018).

Para analisar as variáveis químicas dos solos, utilizou-se a Análise de Componentes Principais (PCA), com padronização dos dados euclidianos, está é uma forma de visualizar as estruturas internas dos dados a partir dos eixos principais, analisando cada um dos eixos de

forma independente (BOUCARD *et. al.*, 2018). Utilizou-se o *software* R (versão 3.4.0).

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Caracterização da área

Entre os anos de 1980 e 1990, a área do sítio era composta por agroecossistemas de plantio de sequeiro de soja e milho, o solo era exposto anualmente ao fogo. Quando a área deixou de ser propícia para a agricultura, passou a ser área de pasto, predominando a pastagem de andropogon (*Andropogon gayanus*) e algumas árvores nativas do Cerrado resistentes ao fogo.

A partir de 2011, com a mudança de proprietário, não se utilizou mais o manejo com fogo, e iniciou-se a preparação de canteiros, com foco na produção de café e banana, com plantio de hortaliças entre as linhas. Em 2013, iniciou-se a preparação da área onde está o SAF antigo, o solo apresentava pH 4,6. Neste período, foi realizada adubação da área, utilizando pó de rocha e *yoorin*.

As primeiras culturas anuais cultivadas foram arroz, milho e *Crotalaria* sp. Em 2015, iniciou-se a produção de hortaliças. Na área do SAF médio, manteve-se menor número de árvores. A área do SAF novo, inicialmente foi cultivada com adubação verde para recuperação do solo, entre as espécies havia *Crotalaria* sp, abóbora e feijão guandú, após o cultivo destas espécies a área foi transformada em horta.

A pastagem da 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. Esta área foi utilizada para a retirada de cascalho. O solo da área apresenta cascalho e lajes de rochas, e parte apresenta processo de regeneração natural do Cerrado, com estabelecimento de árvores nativas e arbustos.

Apesar de ser uma área de pastagem antiga, não há animais ruminantes na área, outro elemento importante a se levar em consideração é que o agricultor Rômulo, “roça” a pastagem todos os anos, o que pode trazer para o solo algumas características de recuperação pela disponibilização de matéria orgânica e por manter o solo coberto. A fitofisionomia atual, da área controle, é composta por pasto degradado com a presença de cupinzeiros (*Isoptera* sp.), capim andropogon (*Andropogon gayanus*) e capim elefante (*Pennisetum purpureum*).

O quadro 1 apresenta as espécies vegetais pertencentes à comunidade dos agroecossistemas no momento da coleta de solos nos SAF's de diferentes estágios de desenvolvimento, a área controle não consta no mesmo por apresentar somente duas espécies predominantes conforme citado acima.

**Quadro 1.** Espécies vegetais cultivadas encontradas no momento da coleta nos diferentes estágios sucessionais de manejo dos SAF's.

<b>Nome comum / científico</b>	<b>SAF maduro</b>	<b>SAF médio</b>	<b>SAF inicial</b>
Banana ( <i>Musa sp.</i> )	X	X	
Café ( <i>Coffea sp.</i> )	X	X	
Mamão ( <i>Carica papaya</i> )	X		
Abacate ( <i>Persea americana</i> )	X		
Inhame ( <i>Dioscorea villosa</i> )	X	X	
Eucalipto ( <i>Eucalyptus sp</i> )	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 sp.</i> )	X		
Romã ( <i>Punica granatum</i> )	X		
Jaracatiá ( <i>Jaracatia spinosa</i> )	X		
Margaridão ( <i>Sphagneticola trilobata</i> )	X	X	X
Abobora ( <i>Cucurbita sp.</i> )	X	X	X
Milho ( <i>Zea 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

Todas as espécies que foram levantadas no quadro 1, foram implementadas pelo agricultor, durante o manejo dos SAF's. O SAFma apresenta a maior diversidade de espécie de plantas, com 19 culturas cultivadas ao mesmo tempo, com a presença de espécies perenes não endêmicas, já em estágio de desenvolvimento avançado, o SAFmed apresentou 11

diferentes culturas, e é composto por algumas espécies perenes não endêmicas, mas em menor quantidade, prevalecendo às hortaliças. No SAFi, predominam as 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.

### 3.2. Propriedades químicas dos solos amostrados

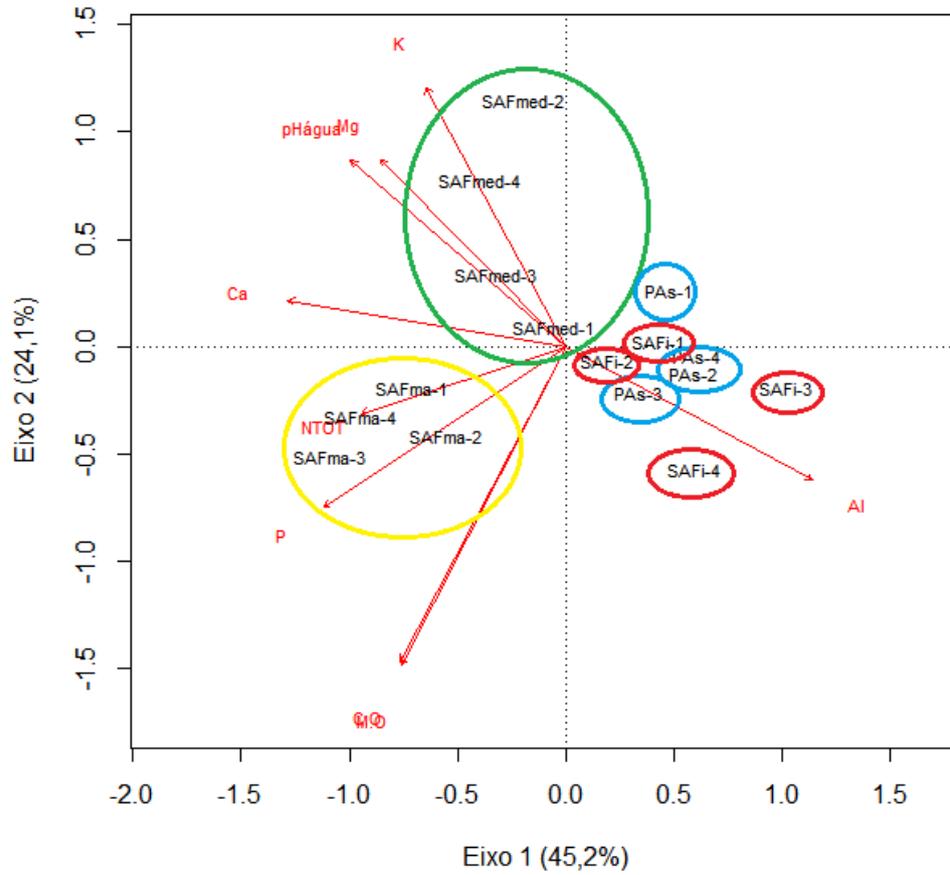
Na figura 1, observa-se a distribuição das parcelas a partir da PCA, o eixo 1 apresenta 45,2% da variabilidade dos dados, o eixo 2, 24,1%. As marcações por cores demonstram que o SAFmed tem maiores concentrações de pH, K, Mg e Ca no solo que é inversamente proporcional ao Al, bem como SAFma que tem maiores concentrações de cátions P, N, MO, C no solo (círculo em amarelo), o SAFi e PAs apresentam maiores concentrações de Al no solo (círculos vermelhos e azuis).

As mesmas tendências de agrupamento das parcelas observa-se na PCA onde as parcelas dos SAFma tendem a se agrupar se, ocupando a mesma região no gráfico de escores, da mesma forma que o SAFmed, o SAFi e o PAs, pela similaridade das suas características químicas do solo, tendem a agrupar-se próximos em uma mesma região no gráfico.

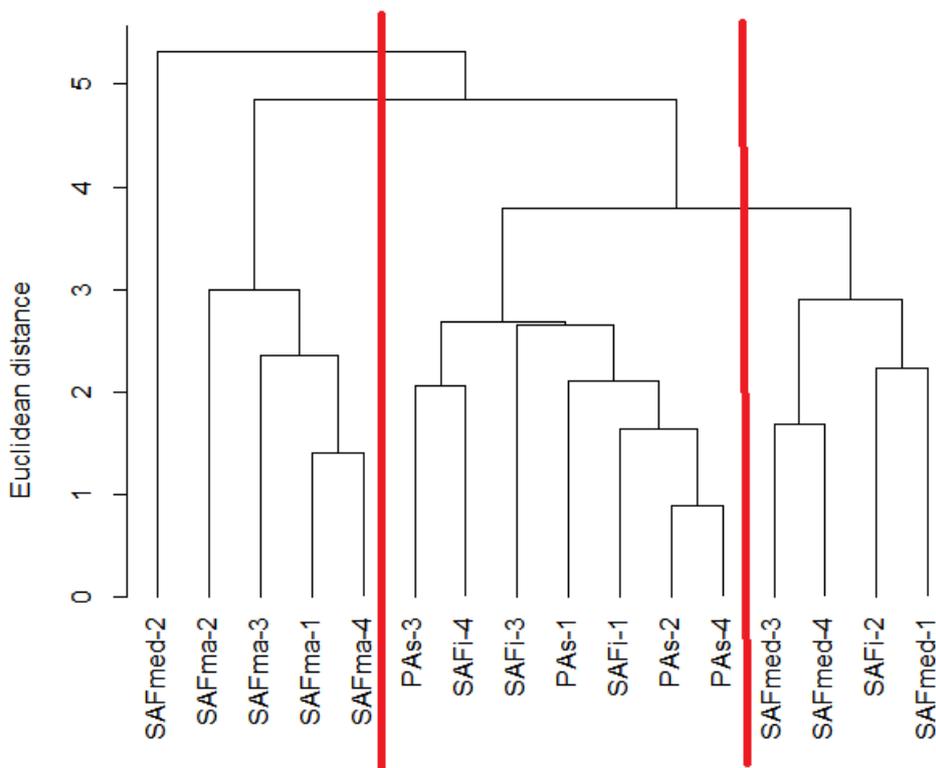
As tendências observadas através da PCA foram confirmadas através do dendograma (fig. 2), ou seja, é possível observar a formação de três grupos que estão relacionados a similaridade das parcelas dos diferentes estágios sucessionais e a área controle, seguindo a mesma orientação que foi observada na PCA.

**Figura 1:** Análise química representada em PCA, associando composição química dos solos com as unidades.

## PCA - Análises Químicas do Solo



**Figura 2:** Análise química representada em distância euclidiana (Cluster- 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.



A análise de cluster padroniza os dados apresentados nas parcelas para possibilitar a comparação entre os diferentes estágios sucessionais e área controle, esses resultados são demonstrados no dendograma que apresenta o agrupamento das parcelas na distância euclidiana, que demonstra a dissimilaridade a partir das características químicas encontradas em cada solo. Em concordância com a PCA (fig. 1), a análise de cluster evidenciou agrupamento das parcelas de SAFma, que formaram um grupo com características similares. As parcelas de SAFmed formaram outro grupo, e houve formação de grupo com junção das parcelas de SAFi e PAs, com características semelhantes de estágios iniciais.

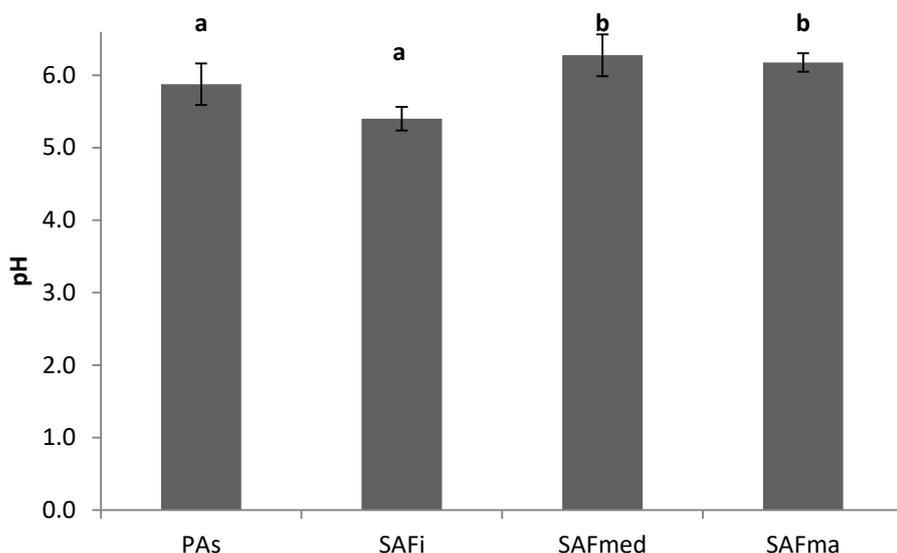
O SAFma, com maior tempo de desenvolvimento, apresentou agrupamento de todas as parcelas neste mesmo estágio, em relação ao C, MO, N, P, como demonstrado nas figuras 1 e 2.

### *pH em Água*

Os valores de pH dos solos apresentam diferenças significativas entre si ( $p < 0.005$ , F 11,9). Observa-se que há aumento de pH do solo à medida que aumenta o tempo de desenvolvimento dos SAFs, onde os solos de SAFma apresentaram pH de 6,17 (0,13), maior

que o pH do SAFmed 6,27 (0,29), SAFi 5,4 (0,30) e PAs 5,9 (0,30). O solos de SAFma e o SAFmed apresentaram maiores pH, enquanto SAFi e PAs apresentaram solo mais ácido, características presentes em solos do Cerrado. O SAFma e o SAFmed apresentam diferenças significativas em relação a SAFi e PAs (fig. 3).

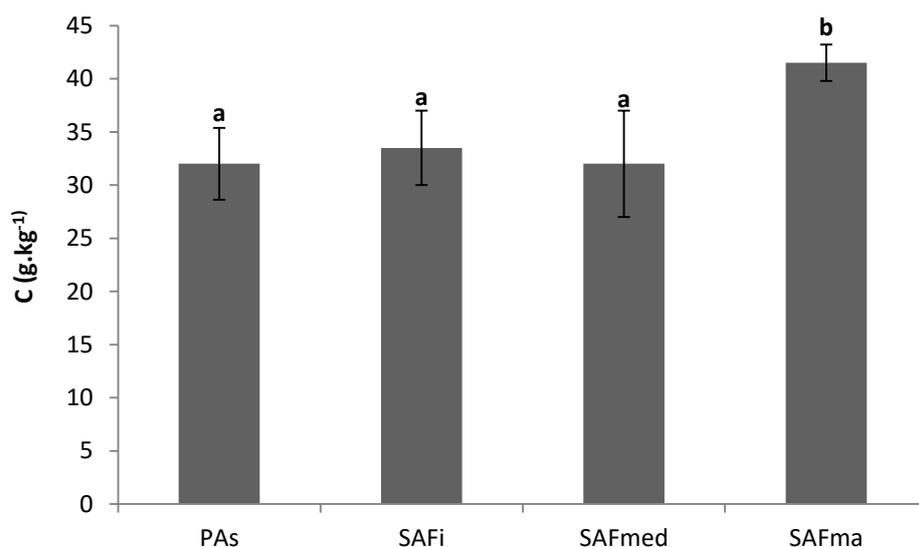
**Figura 3:** Valores médios (n=4) da concentração de pH nos solos nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFmed : SAF em estágio médio, SAF ma – SAF em estágio maduro, PAs – pastagem e área controle). As barras representam o desvio padrão da média \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância



### Carbono Orgânico

As concentrações de carbono orgânico nos solos dos SAFma apresentaram diferenças significativas em relação aos outros estágios sucessionais e área controle ( $p < 0.005$ , F 6.74). O SAFma apresentou a concentração de C orgânico no solo de  $41,25 \text{ g.kg}^{-1}$  (1,71), a maior concentração entre os tratamentos. As concentrações de C nos solos foram, PAs com  $32 \text{ g.kg}^{-1}$  (3,43), SAFi com  $33,7 \text{ g/kg}$  (3,50) e SAFmed com  $30,7 \text{ g.kg}^{-1}$  (4,99), como apresentado na figura 4.

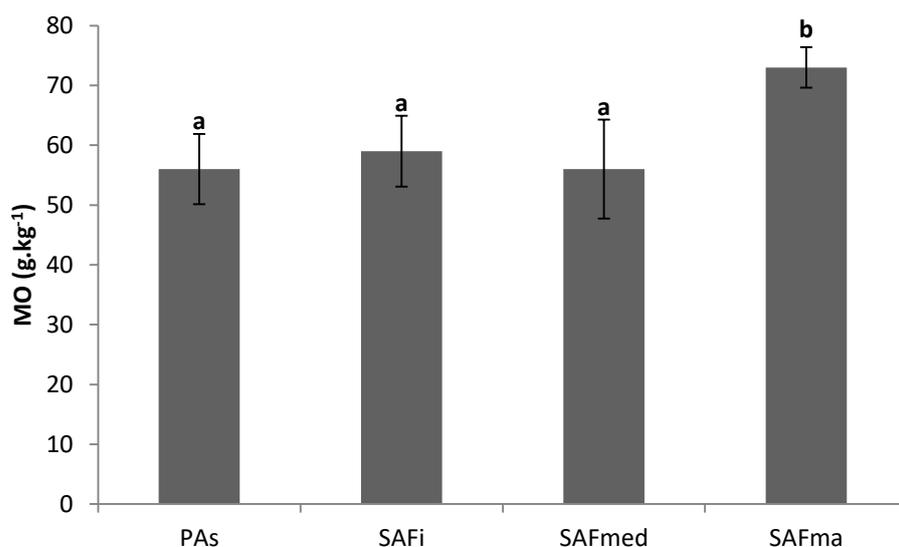
**Figura 4:** Valores médios (n=4) da concentração de C Carbono Orgânico nos solos nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFmed : SAF em estágio médio, SAF ma – SAF em estágio maduro, PAs – pastagem e área controle). As barras representam o desvio padrão da média \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.



### *Matéria Orgânica*

A concentração de MO nos solos dos tratamentos apresentou diferenças significativas em relação aos diferentes estágios sucessionais e a área controle ( $p < 0.005$ , F 7,15). As concentrações de MO nos solos, em PAs de  $55.5 \text{ g.kg}^{-1}$  (5,90), seguido do SAFi valor de  $58 \text{ g.kg}^{-1}$  (5,91), SAFmed com  $56 \text{ g.kg}^{-1}$  (8,27) e SAFma com  $72.5 \text{ g.kg}^{-1}$  (3,40). Destacou-se o SAFma com maior concentração de MO, por ser este o estágio sucessional com maior tempo de manejo e maior diversidade vegetal, portanto, maior deposição de matéria (fig. 5).

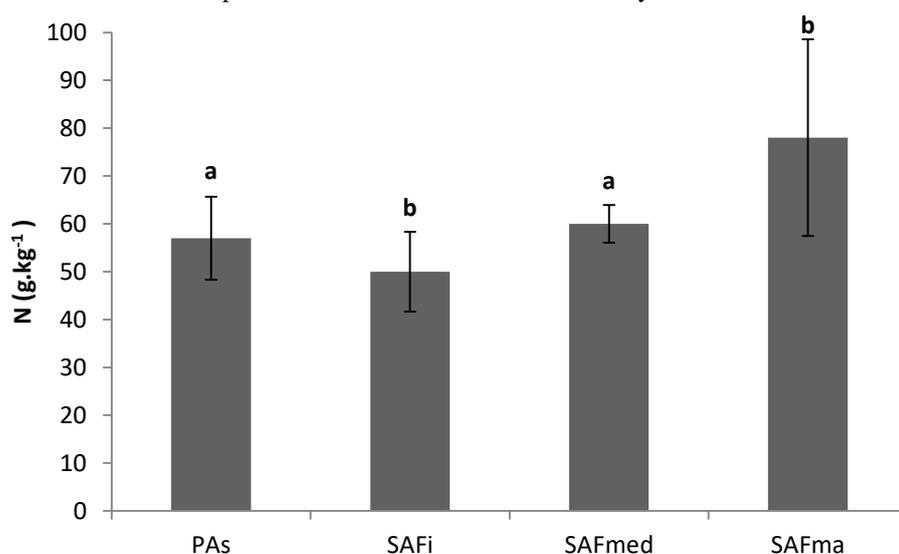
**Figura 5:** Valores médios ( $n=4$ ) da concentração de Matéria Orgânica (MO) nos solos nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFmed : SAF em estágio médio, SAF ma – SAF em estágio maduro, PAs – pastagem e área controle). As barras representam o desvio padrão da média \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.



### Nitrogênio Total

As concentrações de N total apresentaram diferenças significativas entre os estágios sucessionais e a área controle ( $p < 0.005$ , F 3.55), onde os maiores valores da concentração de N total no solo foram encontrados no estágio de maior tempo de manejo o SAFma com  $0,86\text{g.kg}^{-1}$  (0,78), seguidos de SAFmed com  $0,62\text{g.kg}^{-1}$  (0,04), SAFi com  $0,50\text{g.kg}^{-1}$  (0,08) e PAs com  $0,60\text{g.kg}^{-1}$  (0,09), como apresentado na figura 6.

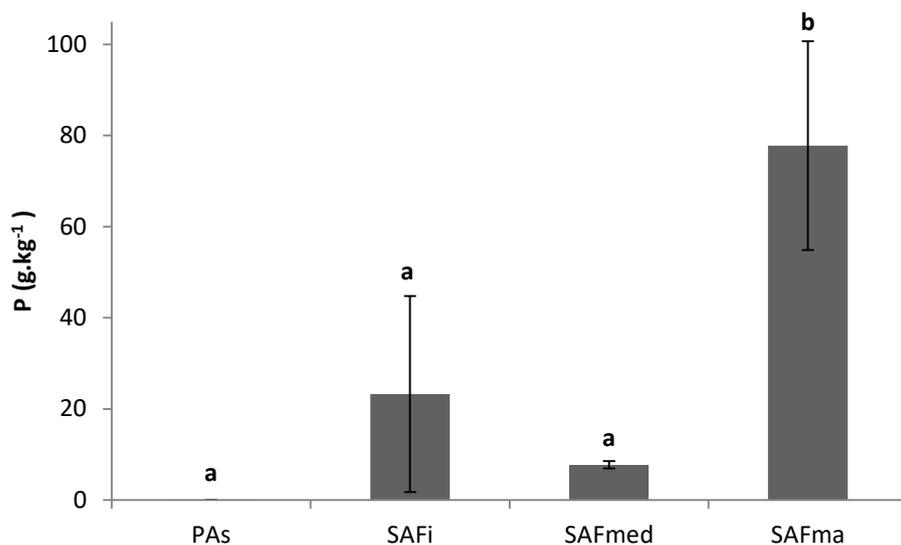
**Figura 6:** Valores médios (n=4) da concentração de Nitrogênio Total nos solos nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFmed : SAF em estágio médio, SAF ma – SAF em estágio maduro, PAs – pastagem e área controle). As barras representam o desvio padrão da média \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.



### Fósforo

A concentração de fósforo apresentou diferenças significativas no SAFma em relação aos outros SAFs e área controle ( $p < 0.005$ , F 7.15). Os solos de SAFma apresentaram concentração de  $77,8 \text{g.kg}^{-1}$  (22,93), os solos de PAs,  $0,11 \text{g.kg}^{-1}$  (0,001), SAFi,  $23,3 \text{g.kg}^{-1}$  (21,50) e SAFmed,  $7,7 \text{g.kg}^{-1}$  (0,82) (fig. 7).

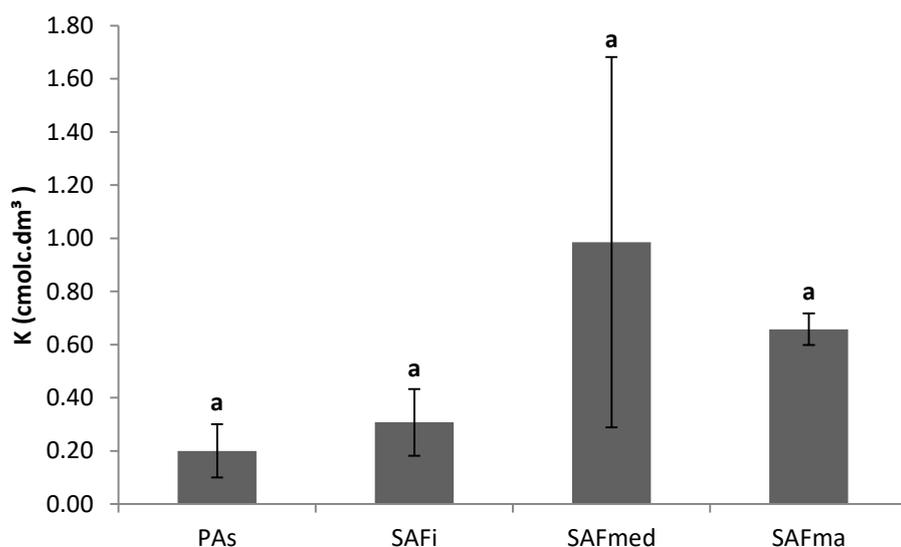
**Figura 7:** Valores médios ( $n=4$ ) da concentração de Fósforo nos solos nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFmed : SAF em estágio médio, SAF ma – SAF em estágio maduro, PAs – pastagem e área controle). As barras representam o desvio padrão da média \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.



### Potássio

Os valores de concentração de potássio no solo não apresentaram diferenças significativas entre si ( $p < 0.005$ , F 2,47). Maiores concentrações de K nos solos foram encontradas em SAFmed com  $0,93 \text{cmolc.dm}^3$  (0,56), seguido de SAFma com  $0,68 \text{cmolc.dm}^3$  (0,06), SAFi com  $0,27 \text{cmolc.dm}^3$  (0,13) e PAs com  $0,24 \text{cmolc.dm}^3$  (0,30), como apresentado na figura 8.

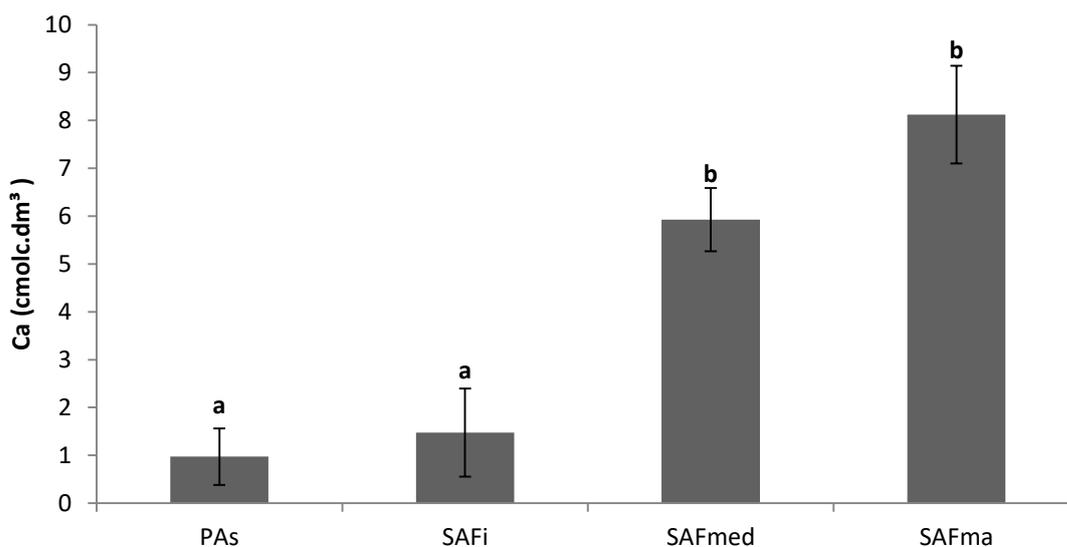
**Figura 8:** Valores médios ( $n=4$ ) da concentração de Potássio nos solos nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFmed : SAF em estágio médio, SAF ma – SAF em estágio maduro, PAs – pastagem e área controle). As barras representam o desvio padrão da média \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.



### Cálcio

Houve diferenças significativas na concentração de Ca no solo em relação ao estágio sucessional dos SAF's e a área controle ( $p < 0.005$ , F 72.1). Onde, SAFma com  $8,12 \text{ cmolc.dm}^3$  (1,02), PAs com  $1,02 \text{ cmolc.dm}^3$  (0,60), SAFi com  $1,47 \text{ cmolc.dm}^3$  (0,92) e SAFmed com  $5,92 \text{ cmolc.dm}^3$  (0,66), como apresentado na figura 9.

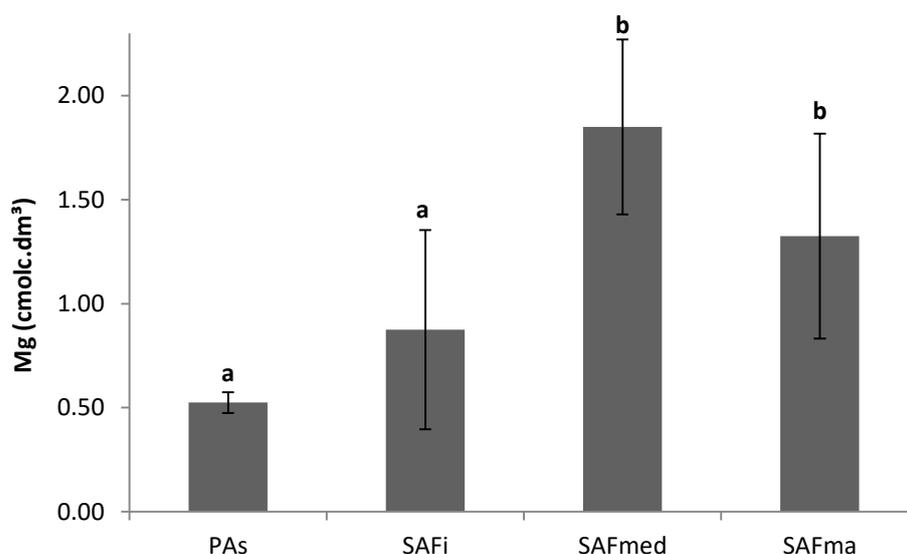
**Figura 9:** Valores médios ( $n=4$ ) da concentração de Cálcio nos solos nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFmed : SAF em estágio médio, SAF ma – SAF em estágio maduro, PAs – pastagem e área controle). As barras representam o desvio padrão da média \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.



### Magnésio

A concentração de magnésio no solo apresentou diferenças significativas em relação aos estágios sucessionais e área controle ( $p < 0.005$ , F 8.08). A maior concentração de Mg nos solos se deu em SAFmed com  $1.8 \text{ cmolc./dm}^3$  (0,42), seguido de SAFma com  $1.3 \text{ cmolc./dm}^3$  (0,49), SAFi com  $0.75 \text{ cmolc./dm}^3$  (0,48) e PAs com  $0.50 \text{ cmolc./dm}^3$  (0,11), como apresentado na figura 10 .

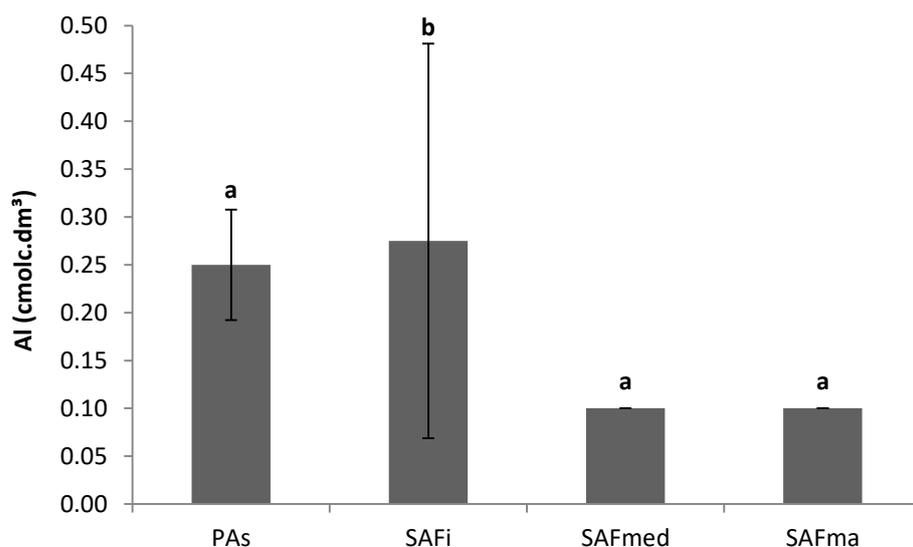
**Figura 10:** Valores médios ( $n=4$ ) da concentração de Magnésio nos solos nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFmed : SAF em estágio médio, SAF ma – SAF em estágio maduro, PAs – pastagem e área controle). As barras representam o desvio padrão da média \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.



### Alumínio

A concentração de Alumínio no solo apresentou diferenças significativas em relação aos estágios sucessionais e a área controle ( $p < 0.005$ , F 2.99). No SAFma foi de  $0.11 \text{ cmolc./dm}^3$  (0,001) e SAFmed com  $0.10 \text{ cmolc./dm}^3$  (0,00) com concentração de Al quase nula, as maiores concentração se deram em SAFi com  $0.27 \text{ cmolc./dm}^3$  (0,21) e PAs com  $0.30 \text{ cmolc./dm}^3$  (0,12), como apresentado na figura 11.

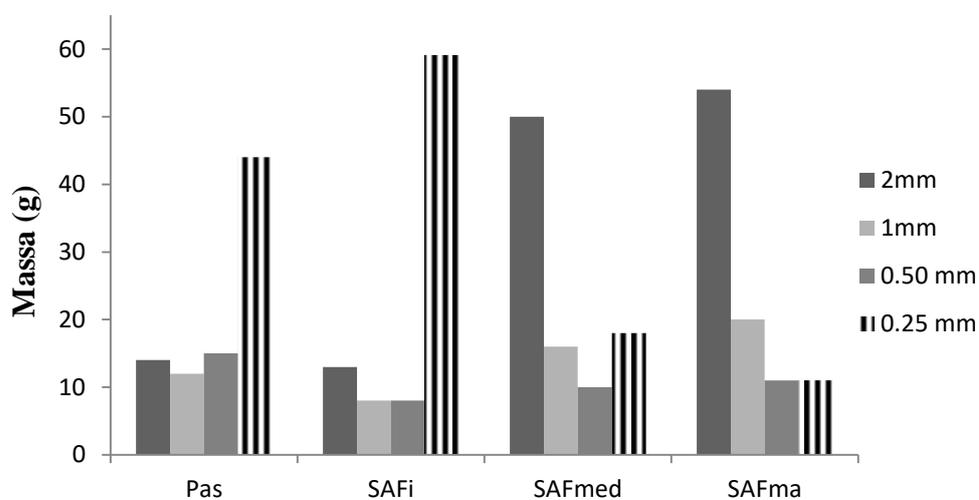
**Figura 11:** Valores médios ( $n=4$ ) da concentração de Alumínio nos solos nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFmed : SAF em estágio médio, SAF ma – SAF em estágio maduro, PAs – pastagem e área controle). As barras representam o desvio padrão da média \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.



### 3.3. Caracterização física dos solos amostrados

Em referência as características físicas do solo, houve diferença significativa da composição da massa dos agregados do solo nos diferentes estágios sucessionais. No SAFma e SAFmed, predominando os agregados de 2 mm, SAFma com massa de 53,5g e SAFmed de 50,4g, enquanto, PAs com massa de 13,6g e SAFi com 12,9g (figura 13).

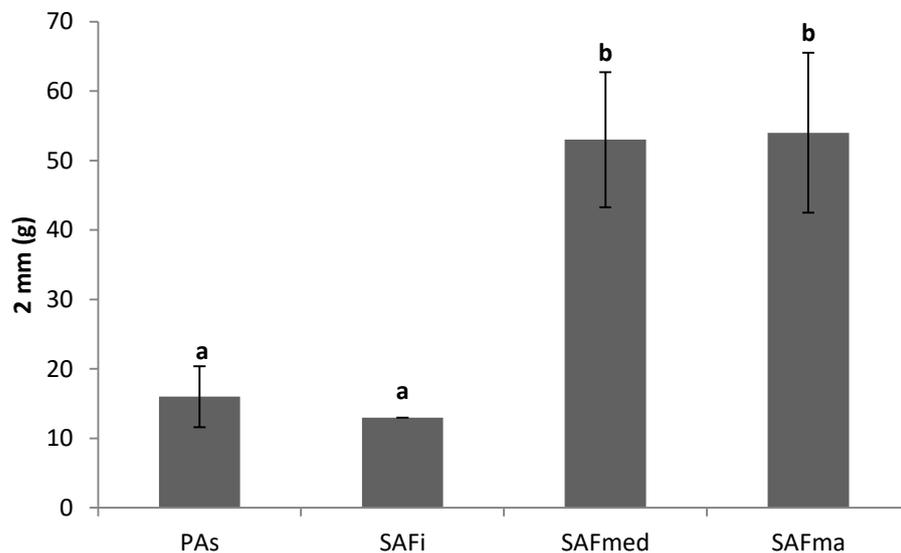
**Figura 13:** Classificação dos agregados de solo (média) por tamanho dos agregados em solos de SAFs em diferentes estágios sucessionais e área controle nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFmed : SAF em estágio médio, SAF ma – SAF em estágio maduro), PAs – pastagem e área controle).



### 3.3.1. Granulometria 2 mm

Os agregados do solo de tamanho de 2 mm apresentaram diferenças significativas em relação a maior massa nos diferentes estágios sucessionais e na área controle ( $p < 0.0002$ ,  $F = 24.58$ ). No SAFma a massa de agregados de 2 mm foi de 53.56g (11,50), seguido por SAFmed com 50.49g (9,71), SAFi com 12.91g (0,06) e PAs com 13.67g (4,43), como apresentado na figura 14.

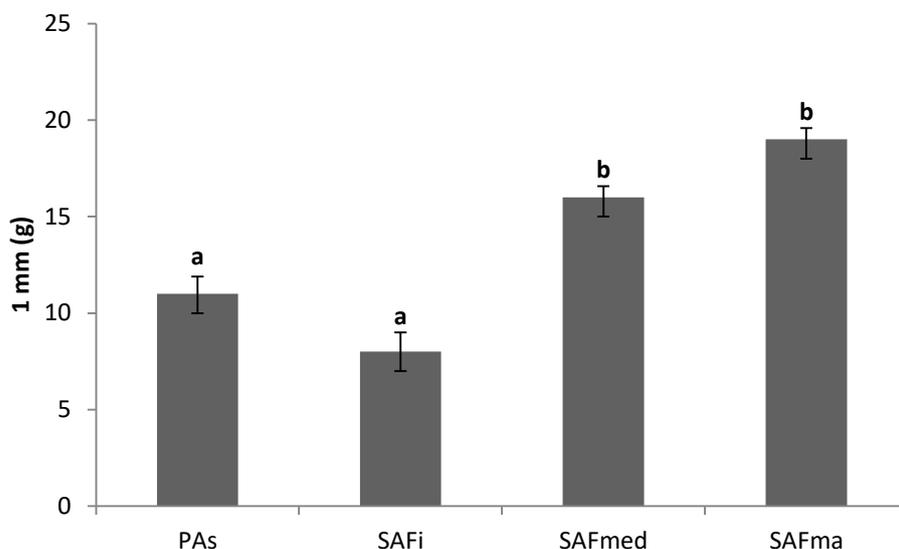
**Figura 14:** Massa dos agregados no tamanho 2 mm nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFmed : SAF em estágio médio, SAF ma – SAF em estágio maduro), PAs – pastagem e área controle). \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.



### 3.3.2. Granulometria 1 mm

Os agregados em tamanho 1 mm apresentaram diferenças significativas nos diferentes estágios sucessionais e área controle ( $p > 0.005$ ,  $F = 112.2$ ). A maior massa de agregados de 1 mm nos solos foi no SAFma com 19,53g (0,58), seguido de SAFmed com 16,09g (0,59). Nos solos do estágio inicial e área controle houve menores massas de agregados, em SAFi com 8,03g (1,05) e PAs com 11,55g (0,93). A massa de agregados se apresentou em maior peso nos estágios mais avançados de SAFma e SAFmed, como apresentado na figura 15.

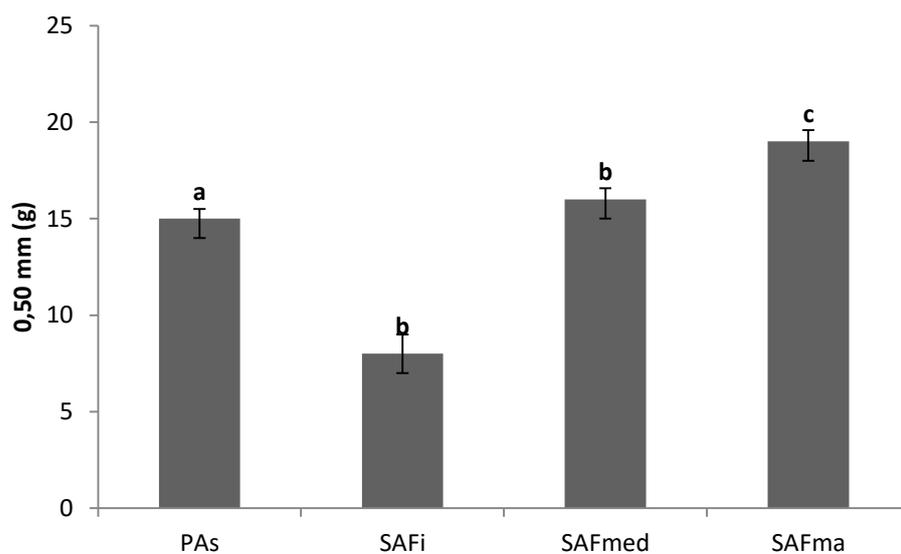
**Figura 15:** Massa dos agregados no tamanho 1 mm nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFmed : SAF em estágio médio, SAF ma – SAF em estágio maduro), PAs – pastagem e área controle). \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.



### 3.3.3. Granulometria 0,50 mm

Os agregados de tamanho 0,50 mm nos solos apresentaram diferenças significativas entre os diferentes estágios sucessionais e a área controle ( $p < 0.005$ , F 8.62). A maior concentração de massa de agregados de 0,50mm nos solos se deu em PAs com 14,57g (0,53), seguido de SAFma com 10,96g (0,58) e, posteriormente, SAFmed com 9,81g (0,59) e SAFi com 7,79g (1,04). As maiores massas de agregados deste diâmetro se deram na área controle e no SAF maduro, como apresentado na figura 16.

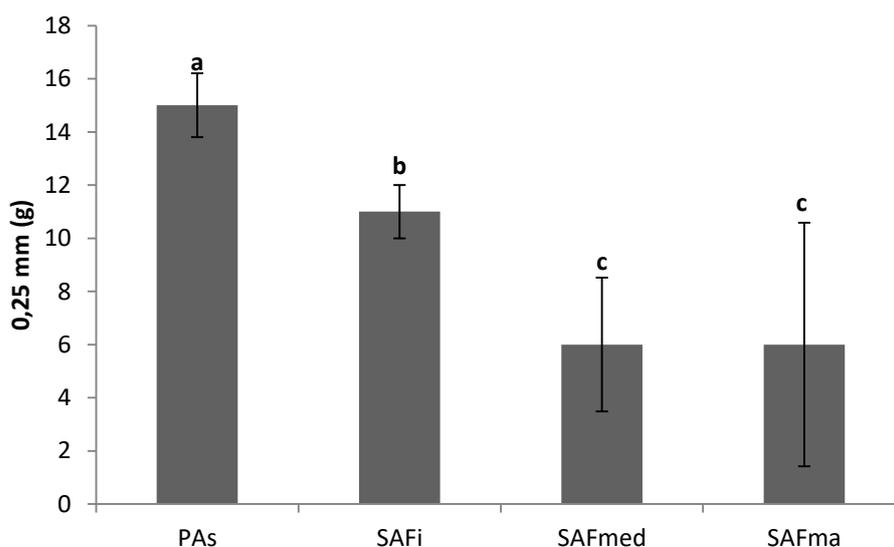
**Figura 16:** Massa dos agregados no tamanho 0.50 mm nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFmed : SAF em estágio médio, SAF ma – SAF em estágio maduro), PAs – pastagem e área controle). \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.



#### 3.3.4. Granulometria 0,25 mm

Os agregados nos tamanhos de 0,25 mm nos solos apresentaram massas que apresentam diferenças significativas nos estágios sucessionais e a área controle ( $p < 0.005$ ,  $F = 11.67$ ). A maior massa de agregados de tamanho 0,25 mm nos solos foi encontrada em PAs com 15,34g (1,23) e SAFi com 10,98g (1,03), seguido de SAFma com 5,77g (4,48) e SAFmed com 6,22g (2,51), (Fig. 16). O passante da peneira 0,25 mm apresentou massa de 44,56g em PAs, seguido de SAFi com 59,28g, SAFma com 10,15g e SAFmed com 17,06g.

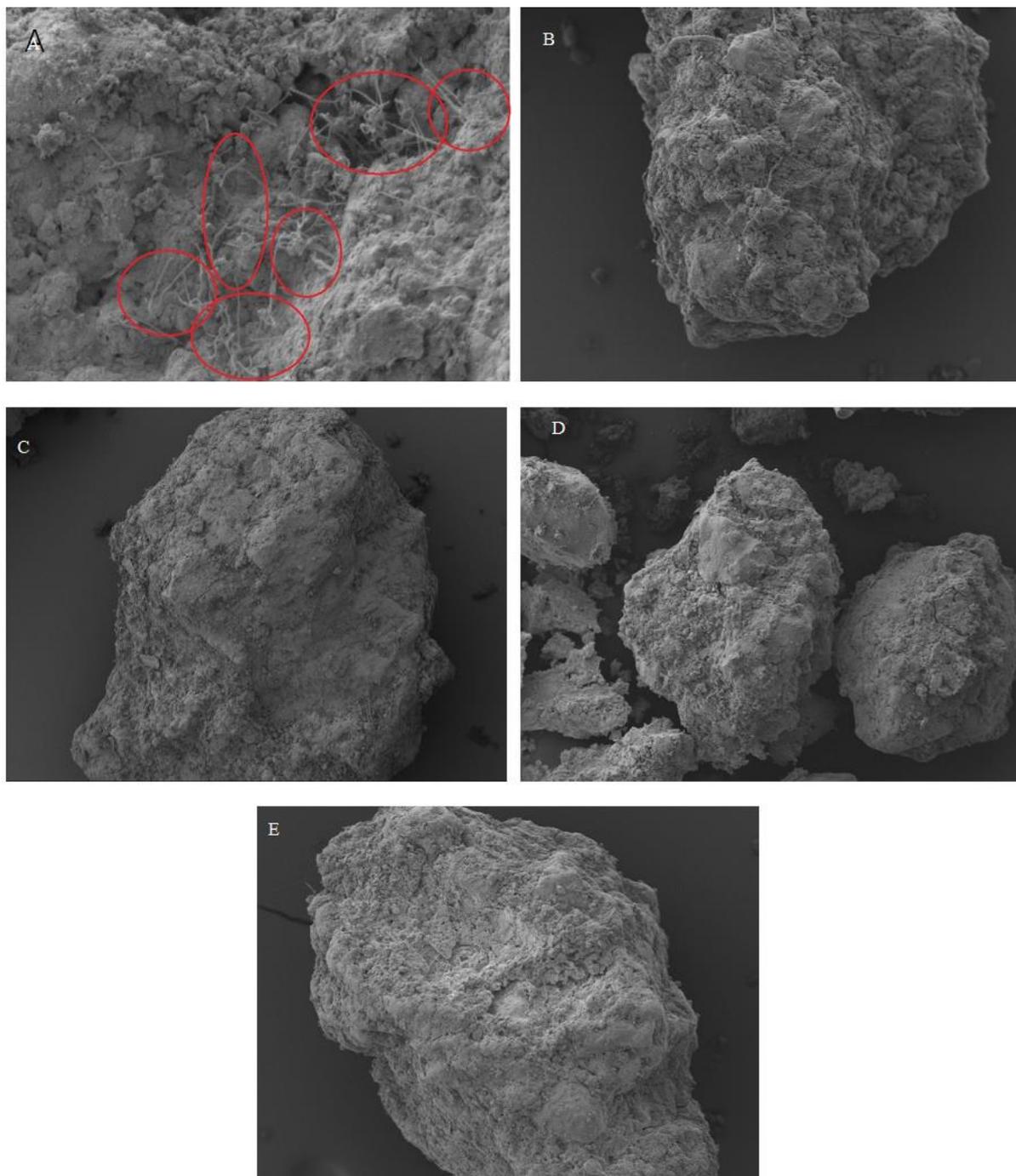
**Figura 17:** Massa dos agregados no tamanho 0,25 mm nos diferentes tratamentos (SAFi: SAF inicial, SAFmed : SAF em estágio médio, SAF ma – SAF em estágio maduro), PAs – pastagem e área controle). \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.



#### 3.4. *Imagens de microscopia eletrônica de agregados do solo*

A partir dos agregados do solo analisados através da Microscopia Eletrônica de Varredura, não foi possível determinar com certeza se as estruturas encontradas nos agregados são micorrizas, a intenção inicial da análise. Porém, foi possível identificar a presença de hifas de fungos, que pela estrutura dos agregados, que podem ser interpretadas como fungos micorrízicos arbusculares (fig. 17A). As imagens obtidas (figs 17B, 17C, 17D e 17E) demonstram a agregação do solo em diferentes estágios sucessionais e na área controle.

**Figura 17:** Imagens de elétrons secundários obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Agregados no tamanho de 0,25 mm, com magnificação de 250x. A) Agregados do SAFma onde é possível visualizar hifas de fungos com maior facilidade de visualização sinalizadas com círculos vermelhos; B) Agregado de pastagem; C) Agregado de SAF maduro; D) Agregado de SAF médio e; E) Agregado de SAF inicial.



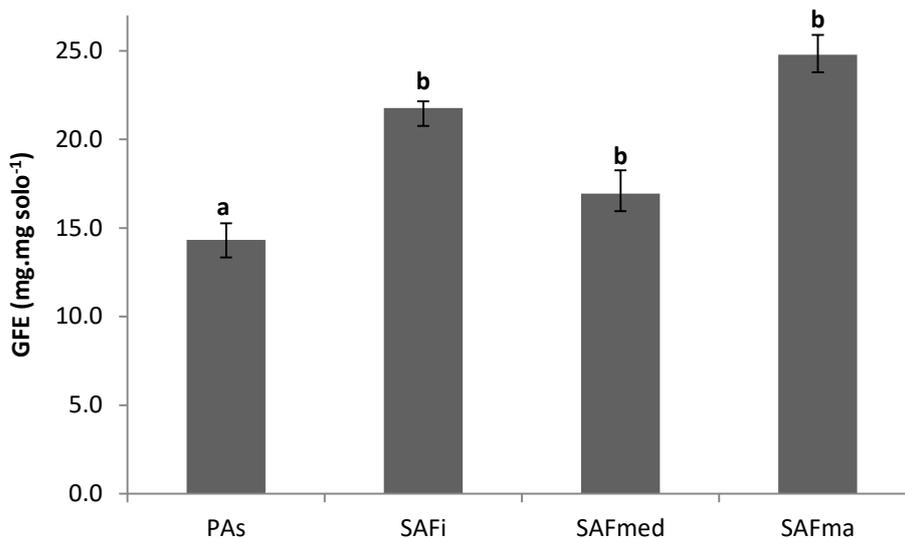
### 3.5. Microbiologia dos solos amostrados

#### 3.5.1. *Glomalina Facilmente Extraível (GFE) - PSGR*

As concentrações de glomalina facilmente extraível (GFE) no solo apresentaram diferenças significativas nos diferentes estágios sucessionais e área controle ( $p < 0,001$  e  $F = 56,96$ ). As maiores concentrações de GFE nos solos se deram em SAFma com 24,7 mg.mg

solo<sup>-1</sup> (1,10), seguido de SAFi com 21,7 mg.mg solo<sup>-1</sup> (0,37), SAFmed com 16,9 mg.mg solo<sup>-1</sup> (1,31) e PAs com 14,3 mg.mg solo<sup>-1</sup> (0,92) (fig.18).

**Figura 18:** Concentração média em mg.mg solo<sup>-1</sup> de glomalina facilmente extraível em solos de diferentes estágios sucessionais de SAFs (SAFi SAF inicial, SAFmed SAF estágio médio, SAF ma – saf em estágio maduro), Pa - pastagem área controle PA – pastagem). As barras indicam o desvio padrão da média. \*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.



### 3.5.2. Microrganismos no solo

Os fungos identificados em diferentes substratos foram: *Fusarium moniliforme*, *Histoplasma capsulatum*, *Trichoderma* sp. e *Rhizopus* sp. Também foram observados exsudato bacteriano e numerosos ácaros (tabela 2). Estes fungos identificados são fitopatogênicos como o *Fusarium moniliforme* e patogênicos como *Histoplasma capsulatum*, *Trichoderma* sp. e *Rhizopus* sp., que transmitem doenças para as vias respiratórias de animais. O fungo *Fusarium moniliforme* foi amostrado em solos de todos os estágios sucessionais e na área controle, enquanto *Histoplasma capsulatum* só foi verificado no SAFmad, e *Rhizopus* sp., que só foi amostrado em solos de SAFi.

**Tabela 2:** Microorganismos presentes nos solos dos diferentes estágios sucessionais de SAF e área controle (SAFi- SAF inicial, SAFmed- SAF estágio médio, SAFma –SAF em estágio maduro, PAs – pastagem e área controle) em diferentes meios de cultura (BDA – batata, dextrose, ágar) e ST (suco de tomate).

	<b>BDA</b>	<b>ST</b>
PAs	<i>Fusarium moniliforme</i>	<i>Fusarium moniliforme</i>
SAFma	<i>Fusarium moniliforme</i> e <i>Histoplasma capsulatum</i>	<i>Fusarium moniliforme</i> e <i>Histoplasma capsulatum</i>
SAFmed	<i>Fusarium moniliforme</i> e bactéria	<i>Fusarium moniliforme</i> e ácaros
SAFi	<i>Fusarium moniliforme</i> e <i>Trichoderma</i> sp.	<i>Rhizopus</i> sp., ácaros e bactérias

## **4. DISCUSSÃO**

Os resultados desta pesquisa apontam que as características químicas, físicas e microbiológicas do solo apresentam melhoria em relação aos estágios de desenvolvimento dos SAFs. Isto pode ser resultante da interação entre os micro organismos, associações com as raízes das plantas, diversidade e riqueza de plantas cultivadas e elevada quantidade de biomassa, proporcionando aumento nos padrões de ciclagem e disponibilidade de nutrientes para o desenvolvimento vegetal. Estes padrões se assemelham as características de ecossistemas naturais biodiversos, por serem capazes de ciclar matéria e garantir o fluxo de energia no sistema. Assim, o cultivo de SAFs é uma intervenção humana nos ecossistemas que propicia a produção de alimentos, fibras e fitofármacos, aliada aos princípios ecológicos, considerando a dinâmica da biodiversidade, o ciclo de matéria e o fluxo de energia do sistema.

Observamos que há relação entre o aumento da qualidade química do solo com o estágio de desenvolvimento/maturidade dos SAF's. Essas características influenciam positivamente na qualidade e diversidade microbiológica e, conseqüentemente, na qualidade física dos solos. Essas relações são mais intensas na medida em que ocorre o aumento da complexidade, biomassa e biodiversidade do sistema. Quanto mais maduro o SAF, maior é o desenvolvimento das características relacionadas à qualidade dos solos, a disponibilidade e a ciclagem de nutrientes. Isto, de certa forma, está relacionado a um processo de formação e "produção" de solos a partir do manejo do SAF's, visto que ocorreu aumento da qualidade química, da atividade microbiológica, com aumento do grau de agregação de solo e conseqüente diminuição de frações mais finas.

### **4.1. Características químicas dos solos de SAF's em diferentes estágios sucessionais e área controle**

Os resultados demonstram o aumento dos atributos químicos nos SAFs com maior estágio sucessional, como observado para pH, C, MO, P, N, K, Ca em estágios mais avançados de desenvolvimento, biodiversidade e biomassa em relação ao SAFi e a área controle. O aumento progressivo de nutrientes nos estágios sucessionais mais avançados dos

SAFs demonstram a relação de eficiência destes sistemas para o aumento da qualidade dos solos.

O observado neste estudo vai de encontro com o observado por outros autores em outros ecossistemas, que relatam que o tempo progressivo de desenvolvimento do sistema 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. Trabalhos com os de IWATA *et al.*, 2012; JUNQUEIRA, *et al.*, 2013; SCHWAB *et al.*, 2015, demonstram, a partir da visão e da narrativa dos agricultores associados as análises técnico/científicas, que esse tipo de manejo atua em relação a descompactação do solo, no controle da erosão, aumento da presença de plantas indicadoras de boa qualidade do solo, melhoria no crescimento das plantas, aumento da diversidade de micro e macro invertebrados, aumento na qualidade química e física dos solos.

O aumento de biomassa do sistema levou ao aumento do teor de M.O a medida que os estágios sucessionais foram ocorrendo (SAFma > SAFmed > SAFi > PAs) (Fig.5). Quanto maior diversidade vegetal nos sistema, maior incremento de matéria. Isso foi observada no SAF maduro (19 espécies cultivadas) e no SAF médio (11 espécies cultivadas). Isto ocorreu devido ao acúmulo de biomassa pelo incremento constante de matéria vegetal, advinda das podas e manejo do próprio sistema. Essa característica deste tipo de manejo imita o retorno de matéria e nutrientes via serapilheira de ecossistemas naturais (CÔRREIA *et al.*, 2015).

O aumento de M.O pode ter desencadeado consequente aumento nos nutrientes disponíveis para a comunidade vegetal. Observou-se que com o aumento do tempo de manejo houve aumento na concentração de C, N, P, K, Ca e Mg no solo (figs. 1 e 2) do SAF maduro e do SAF médio, estágios sucessionais com maior desenvolvimento. Observou-se, também, progressiva diminuição do Al diminuí ao longo do tempo (fig. 11).

Existe uma relação entre aumento de M.O no solo e disponibilidade de nutrientes no ecossistema. É a adição de M.O no solo que 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 (PRIMAVESI & PRIMAVESI, 2018).

A adição de MO traz resultados em uma relação complexa de diversos benefícios para o solo, para as plantas e para o ambiente. A partir do húmus produzido que 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, conseqüentemente, libera nutrientes para o consumo vegetal (BRADY & WEIL, 2013). Essas características são apresentadas a partir das propriedades químicas nos solos de SAFs em estágios mais avançados de desenvolvimento e manejo em relação ao SAF inicial e a área controle (figs. 1 e 2).

As características relacionadas ao aumento da biomassa e, conseqüentemente, 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. O SAF maduro e o SAF médio, que apresentam maior tempo de manejo, são compostos por uma maior biodiversidade vegetal em relação ao SAF inicial e a área controle. O SAF inicial teve um intenso processo de adubação verde na preparação do solo para a iniciação do sistema, e carrega características químicas e microbiológicas que são conseqüências deste processo. A biodiversidade vegetal determina a abundância de biomassa disponível para ciclagem dos nutrientes no sistema, aumento da atividade de micro e macro organismos proporcionando a biocenose do solo (PRIMAVESI & PRIMAVESI, 2018).

A relação C:N nos solos apresentou valores elevados, e não se diferenciou estatisticamente em relação ao tempo de manejo. Sendo assim, tanto os SAFs e a pastagem apresentam decomposição mais lenta (IWATA *et. al.*, 2012). A relação C:N alta demonstra que a taxa de mineralização de M.O é baixa, conservando o C no solo (RIBEIRO *et. al.*, 2019). Observa-se, aumento progressivo da concentração de N nos solos de SAFs ao longo do tempo de manejo. Isto se deve, possivelmente, pelo aumento da biodiversidade presente nesse SAF, em que tem presença de árvores perenes e a presença de micorrizas que facilitam o processo formação de agregados no solo e desenvolvem a vida de micro organismos, favorecendo o aumento de N pela fixação biológica do N<sub>2</sub> (STEFANOSKI, 2013).

Segundo Bernardes *et. al.* (2009), as árvores contribuem com o aumento da taxa de infiltração da água no solo e atuam para o escoamento na sua superfície, retendo os sedimentos. Essa característica pode ser observada nos SAF's, que por serem manejos agrícolas compostos por árvores e outras culturas. Isso influencia na conservação da água, na qualidade e na quantidade armazenada, influenciando o ciclo hidrológico (BEER *et al.*, 2003).

#### **4.1. Características microbiológicas e físicas dos solos de SAFs em diferentes estágios**

## sucessionais e área controle

A estabilidade dos agregados no solo requer a presença de elemento biológica, 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). A glomalina é uma substância hidrofóbica, termoestável, que é produzida pela decomposição das hifas de fungos micorrízicos, nos esporos e nas raízes das plantas colonizadas, é um estoque importante de C e N (RILLIG & MUMMEY, 2006; SOUSA *et al.*, 2012), também chamada de proteína do solo relacionada a glomalina (PSRG), termo que designa proteína resultante da extração de citrato, reservando o nome glomalina somente para a proteína purificada (RILLIG, 2004).

Observa-se a presença de hifas de fungo e radículas (não identificados taxonomicamente), que associados aos resultados da quantificação da glomalina nos diferentes estágios sucessionais é possível supor que nos solos há presença de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), houve maior concentração de glomalina na forma no SAF maduro e no SAF inicial.

Segundo Rillig *et al.* (2003), a mudança no uso da terra pode influenciar significativamente na concentração de glomalina e C no solo. Considerando o estágio sucessional dos SAFs, observou-se maior concentração de nos estágios iniciais e tardios. Nos estágios iniciais, isto pode ser devido ao cultivo de espécies vegetais de adubação verde como fava (*Vicia faba*), guandu (*Cjanus cajan*) e margaridão (*Sphagneticola trilobata*). Estas espécies apresentam uma forte associação com FMA, por se tratar de espécies de leguminosas fixadoras de N atmosférico (ESPINDOLA *et al.*, 1997; MIRANDA & MIRANDA, 2004; CÔRREA *et al.*, 2015).

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

Observou se que em solos de SAF's e pastagem houve concentração próxima de glomalina. Na área de pastagem a relação deve estar associada à presença de *Andropogon sp.*, que apresenta uma dependência micorrízica alta. Nos SAF inicial, possivelmente, pelo

processo de cultivo de adubação verde (procedimento realizado para iniciar o cultivo no sistema), as espécies utilizadas para adubação verde, normalmente fazem fixação biológica de N e tem alta dependência micorrízica. Nos sistemas com maior tempo de desenvolvimento, há maior associação, especialmente, as espécies de plantas perenes que estão presentes nos sistemas.

Foram identificadas algumas espécies de fungos e bactérias, em sua maioria fitopatogênica. Em todos os estágios sucessionais e na área controle, foi identificada a presença do fungo *Fusarium moniliforme*, que libera as toxinas fumosinas e tricocenos que infectam algumas culturas vegetais como espécies de milho. No SAF maduro, detectou-se, além da presença de *Fusarium* sp., a espécie *Histoplasma capsulatum*, que é encontrado em solos enriquecidos com *guano* de aves ou com presença de fezes de morcegos e em locais onde as aves se empoleiram (AMORIN *et.al.*, 2018), possivelmente, por se tratar de um sistema com a presença de estratos arbóreos mais evoluídos, com presença de frutíferas.

No SAFi no estágio inicial identificou-se a espécies *Trichoderma* sp., que libera tricotecenos, uma toxina capaz de produzir sintomas respiratórios ou hemorragias em animais e aves domésticas. Este fungo pode atuar como bioagente capaz de auxiliar no controle de fitopatógenos e contribuir no crescimento das plantas (MACHADO *et.al.*, 2012). Observou-se neste mesmo estágio sucessional, a espécie *Rhizopus* sp. que é um patógeno que se manifesta em frutos pós-colheita e outras bactérias e ácaros não identificados. Pelo relato do agricultor, o produto final dos SAF's não tem apresentado nenhum tipo de doença que possa ser causada por esses fungos, ácaros e bactérias.

Observa-se que, mesmo com a presença de fungos, ácaros e bactérias fitopatogênicos no solo, o agricultor não relatou problemas relacionados a doenças fúngicas ou bacterianas nos seus agroecossistemas. Isto pode ser devido à alta biodiversidade temporal e espacial em sistemas de policultivo. A alta diversidade dificulta e “confunde” os microrganismos, que acabam não apresentando alta fitopatogenicidade, não causando infecções significativas, o que ocorre comumente em sistemas de monocultivo.

Em relação as características físicas do solo relacionam-se com à elevada biomassa pela adição constante de MO nos SAF's proporciona a qualidade física do solo, a estabilidade dos agregados está relacionada à diversidade vegetal, ao teor de C orgânico e as culturas vegetais permanentes (SALTON *et. al.*, 2008). A umidade também apresenta relação direta com a

capacidade de infiltração da água da chuva, da transpiração e da M.O em decomposição. A predominância de macro agregados de tamanho de 2 mm no SAF maduro e no SAF médio (fig. 14), demonstram um intenso fluxo de energia e ciclagem da matéria no sistema, com maior atividade microbiológica e maior agregação de particulados, enquanto no SAF inicial e na área controle houve maior concentração dos micro agregados de 0,25 mm e do passante.

Observou-se que quanto maior o tempo do estágio sucessional do SAF, maior é o grau de agregação e maior a distribuição dos agregados, predominando agregados em diâmetros maiores, quanto menor o tempo de estágio sucessional maior a predominância de agregados de frações menores e mais pulverizadas, em relação aos solos que prevalecem as frações menores, maior será a propensão para a erosão do solo.

Segundo Vezzani (2001), a distribuição dos agregados no solo nas diferentes classes de diâmetro proporcionam a capacidade de fluxo de energia e ciclagem da matéria, e consequentemente, o desenvolvimento da biocenose, a interação entre a porosidade, os micro organismos e as raízes das plantas, algumas das características que são responsáveis pela estrutura do solo.

É a partir dos processos abióticos e biológicos que se dão os processos que influenciam a formação dos agregados no solo, a M.O é um dos principais agentes na formação e na estabilidade de agregados. Esta fornece substrato energético que proporciona as atividades biológicas no solo. As micorrizas associadas às raízes das plantas secretam a glomalina, que é uma proteína responsável pela formação de agregados maiores, por terem uma capacidade cimentante (VASCONCELLOS *et.al.*, 2016). A relação entre o tempo de manejo dos SAFs, a presença de microorganismos, aumento da biodiversidade vegetal, estabelece um processo onde os atributos químicos e as características microbiológicas influenciam as características físicas no solo e são retroalimentados por elas.

#### **4.2. SAF's e a formação de solos: interação humana no ambiente**

Por fim, observa-se, que há produção de solos à medida que a maturidade e complexidade do sistema aumentam, devido ao incremento da biodiversidade vegetal, ao incremento de M.O no solo, que possibilita a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia. Esta pesquisa demonstrou que os SAF's tem essa capacidade a partir do manejo realizado,

umentando a biodiversidade e complexidade de interações do agroecossistema, produzindo alimentos saudáveis e limpos, ambientalmente e socialmente.

Os manejos agroecológicos proporcionam aos meios urbanos alimentos de qualidade, saudáveis e fruto de interações sociais e ambientais com menor grau de impacto sobre a natureza (SEVILLA-GUZMÁN, 2001), contribuindo ainda com a diminuição dos gases de efeito estufa.

Apesar de todos os benefícios da agricultura ecológica, a produção de alimentos através da agroecologia, não teve cobertura governamental, financiamentos e políticas públicas nesses últimos anos, apesar da aprovação da Política Nacional de Agroecologia e Produção de Orgânicos (PLANAPO), que demanda da governança para se efetivar. Considerando que a agroecologia é uma agricultura capaz de garantir a soberania e segurança alimentar do país (MACHADO FILHO *et al.*, 2014), há urgente necessidade da efetivação de políticas públicas coerentes com esta proposta, que leve em consideração a biodiversidade, a interação ser humano / natureza, as relações sociais, a reconfiguração da estrutura agrária no país e a segurança e a soberania alimentar.

O manejo de SAFs complexos é um exemplo de como a interação humana com os agroecossistemas contribui para os ciclos biogeoquímicos do P, N, C e da água, a forma de manejo potencializa o retorno dos elementos químicos para o solo, especialmente no processo de absorção da água, além de eliminar a necessidade de aplicações de NPK industrial.

A agricultura agroecológica, baseada em relações harmônicas e holísticas com a natureza diferencia-se da produção orgânica, por se tratar de manejos que imitam os ciclos naturais, esse tipo de manejo requer uma dedicação essencial do agricultor, na observação, na poda, no controle da sucessão de espécies e na qualidade do solo.

A produção agroecológica de alimentos não carrega junto com o produto final os serviços ecossistêmicos proporcionados pela interação e intervenção do ser humano na natureza. São esses serviços, entre outros, como a formação de solos férteis química, física e biologicamente, o aumento da biodiversidade e biomassa, no tempo e espaço, a potencialização e manutenção do o ciclo hídrico e de outros ciclos biogeoquímicos (C, N, P, rochas), entre tantos outros fatores associados a esse tipo de manejo e uso da terra.

Estes serviços ecossistêmicos decorrentes das particularidades de manejo dos SAFs não ocorrem, ou dificilmente ocorrem, em outros tipos de agroecossistemas, mesmo os

agroecológicos. No entanto, o labor, a dificuldade e a complexidade do manejo de SAFs podem desencorajar o agricultor, que encontra o seu produto no mesmo patamar que os produtos advindos de outros cultivos agroecológicos, menos exigentes em mão de obra, e que não realizam serviços ecossistêmicos em mesmo grau que os SAFs.

## 5. CONCLUSÕES

Os estágios sucessionais mais maduros de SAFs apresentaram maior biodiversidade e complexidade em relação às características químicas, físicas e microbiológicas de solo. Há diferenças consideráveis nos solos de SAF maduro, SAF médio, SAF inicial e a área controle. Estas diferenças são expressas nas características dos agregados, que no SAF maduro prevalecem agregados de 2 mm, enquanto na área controle e SAF inicial prevalecem agregados de 0,25 mm. O SAF médio é intermediário no tempo e no desenvolvimento. A maior presença de micorrizas em SAF inicial e SAF maduro constatadas pela quantificação de glomalina e são consequências, além de outros fatores, da forma de manejo.

Assim, sistemas agroflorestais, considerando o tempo de manejo, formam e “produzem” solos ao longo do tempo, intensificando a ciclagem de nutrientes, aumentando a qualidade física, química e microbiológica dos solos, o que gera serviços ecossistêmicos que não são reconhecidos pelos comerciantes e consumidores.

Os SAFs demandam maior manejo, com as podas, seleção das plantas no sistema, entre outros. A maioria dos agricultores optam por sistemas orgânicos de policultivos, sem multi estratos, na forma de canteiros e hortas, por apresentarem manejo menos complexo e laboroso. A produção orgânica, geralmente, não produz solos nos mesmos níveis que os SAFs. Portanto, não produz serviços ecossistêmicos como os SAFs. Ao longo do estágio sucessional dos sistemas, há aumento na necessidade e na intensidade de manejo, porém, há aumento na disponibilidade dos serviços ecossistêmicos, como a produção de solos a partir do incremento de MO (com conseqüente incremento nos ciclos biogeoquímicos, manutenção e disponibilidade de nutrientes), aumentando a qualidade química, física e microbiológica dos solos em SAF's, quanto maior o tempo de manejo.

## 6. 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*, UFPR, v. 26, p. 143-160, 2012.

AMORIN, A.; BERGAMIN FILHO, A.; REZENDE, J. A. M. *Manual de Fitopatologia: princípios e conceitos*. 5ª edição, v.1, Viçosa-MG: Ed. Ceres, 2018.

BEER, J; HARVEY, C; IBRAHIM, M; HARMAND, J.M; SOMARRIBA, E; JIMÉNEZ, F. Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. *Agroforesteria en las Américas*, v. 10, n. 37, p. 80-87, 2003.

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.

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*. v. 31. p. 205-218, 2015.

BOCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. *Numerical Ecology with R*. 2 ed. Besançon-France: Springer, 2018.

BOOTH, C. *Fusarium: Laboratory Guide to the Identification of the Major Species*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, England: Surrey, 1977.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for mycorrhizal association with barley on sewage-amended plots. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 20, p. 945-948, 1976.

BRADY, N. C. & WEIL, R. R. *Elementos da natureza e propriedade dos solos*. Tradução técnica: Igor F. Lepsch. 3 edição. Porto Alegre: Brookman, 2013.

BUSSAB, W. O. & MORETTIN, P. A. *Estatística Básica*, 4 Edição, Atual, São Paulo, 1987.

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*, v. 43. p. 443-466, 2000.

CARDOSO, I. M. & FÁVERO, C. (editores técnicos). *Solos e Agroecologia*. v. 4. Brasília: Embrapa / ABA, 2018.

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.

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*, v. 31, n.1, 2001.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. *Microscopia Eletrônica de Varredura: aplicação e preparo de amostras*. Porto Alegre: EDPUCRS, 2007.

EMBRAPA. *Manual de Métodos de Análise de Solos*. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Embrapa Solo, 2011.

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. Acesso 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*. Fortalecimento de um ambiente favorável para a segurança alimentar e nutrição. Relatório. Roma, 2014.

FISCHLER, C. *El (h) omnívoro: el gusto, la cocina y el cuerpo*. Barcelona: Anagrama., 1995.

FOSTER, J. B. *A ecologia em Marx: materialismo e natureza*. 3 ed. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2011.

FOSTER, J. B. & CLARCK, B. Imperialismo ecológico: a maldição do capitalismo. IN: *Socialist register 2004: O novo desafio imperial*. Buenos Aires: Ed. Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales - CLACSO, 2006.

GARCÍA-ORENES, Fuensanta; MORUGÁN-CORONADO, Alicia; ZORNOZA, Raul; SCOW, Kate. Changes in Soil Microbial Community Structure Influenced by Agricultural Management Practices in a Mediterranean Agro-Ecosystem. *Microbial Structure of Managed Mediterranean Soils*. v. 8. p. 10-21, 2013.

GOLDSTEIN, J. I.; NEWBURY, D. E.; ECHLIN, P.; JOY, D. C.; LYMAN, C. E.; LIFSHIN, E.; SAWYER, L.; MICHAEL, J. R. *Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis*. 3 ed. New York: Kluwer Academic / Plenum Publishers, 2003.

GREENTEC, tecnologia ambiental. Estudo de Impacto Ambiental - EIA, complementações. Relatório. Brasília, 2014.

GUHUR, D. M. P. & TONÁ, N. Agroecologia. IN: Dicionário da Educação do Campo. Org. CALDART, Roseli S.; PEREIRA, Isabel B.; ALENTEJANO, Paulo e FRIGOTTO, Gaudêncio. São Paulo: Expressão Popular. p. 57-64, 2012.

GUZMÁN, E. Sevilla. Uma estratégia de sustentabilidade a partir da Agroecologia. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*. Porto Alegre, v.2, n.1, p. 35-45, 2001.

HUNTINGTON, H. P. Using traditional ecological knowledge in science: methods and applications. *Ecological Applications*. v. 10, p. 1270–1274, 2000.

IWATA, B. de F.; LEITE, L. F. C.; ARAUJO, A. S. F; NUNES, L. A. L.; GEHRING, C.; CAMPOS, L. P. Sistemas agrofloreais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. *Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental*. v.16, n.7, p.730-738, 2012.

JUNQUEIRA, A. da C.; SCHLINDWEIN, M.; CANUTO, J. C.; NOBRE, H. G.; SOUZA, T. de J. M. Sistemas agrofloreais e mudanças na qualidade do solo em assentamento de reforma agrária. *Revista Brasileira De Agroecologia*. v. 1, n. 8, p. 102-115, 2013.

KÜSTERMANN, B.; MUNCH, J. C. HÜLSBERGEN, K. Effects of soil tillage and fertilization on resource efficiency and greenhouse gas emissions in a long-term field experiment in Southern Germany. *European Journal of Agronomy*. v. 49, p. 61-73, 2013.

MACHADO FILHO, Luiz C. Pinheiro; Hötzel, MACHADO, Luiz C.; RIBAS, Clarilton C. Transição para uma agropecuária agroecológica. Disponível em file:///C:/Users/Sec.MST/Downloads/Machado10TransicaoParaAgropecAgroecol\_SIMBRAS%20(1).pdf. Acesso em: 05/11/2019 (2014).

MACHADO, D. F. M.; PARZIANELLO, F. R.; SILVA, A. C. F. da; ANTONIOLLI, Z. I. *Trichoderma* no Brasil: o fungo e o bioagente. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 35 n.1, p. 274-288, 2012.

MARINARI, S.; MANCINELLI, R.; CAMPIGLIA, E.; GREGO, E. Chemical and biological indicators of soil quality in organic and conventional farming systems in Central Italy. *Ecological Indicators*, v. 6, p. 701–711, 2006.

MELO Jr, 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, v.7, n.12, 2011.

MARX, K; ENGELS, F. *A ideologia Alemã*. Tradução: Pina, A. São Paulo: Expressão Popular, 2009.

MBOW, C.; NEUFELDT, H.; MINANG, P. A.; LUEDELING, E; KOWERO, G. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. v. 6, p.8–14, 2014.

MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L. M.; ARCOVERDE, 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.

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.

NEUMAN, W. Lawrence. *Social Research Methods: qualitative and quantitative approaches*. New York: Pearson, 2006.

PETERSEN, P.; WEID, J. M.; FERNANDES, G. B. Agroecologia: reconciliando agricultura e natureza. *Informe Agropecuário*, v. 30, n. 252, p. 7-15, 2009.

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.

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*, v. 29, n. 2, p. 913-923, 2019.

RILLIG, M.C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science* v.84, p. 355-363, 2004.

RILLIG, M. C.; MUMMEY, D. L. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist*, v.171, p.41-56, 2006.

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*, v. 32, p.11-21, 2008.

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.

SCHWAB, N.; SCHICKHOFF, U.; FISCHER, E. Transition to agroforestry significantly improves soil quality: A case study in the central mid-hills of Nepal. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 205, p. 57–69, 2015.

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.

SILVA, S. G. Interações entre lenhosas e comunidades de fungos micorrízicos em uma área de cerrado sentido restrito no Distrito Federal. 2017. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas. Universidade de Brasília, Brasília-DF.

SILVA, J. C.; WENDLING, B.; CAMARGO, R.; MENDONÇA, L. B. P.; FREITAS, M. C. M. Análise Comparativa Entre Os Sistemas De Preparo Do Solo: Aspectos Técnicos E Econômicos. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer, v.7, n.12, 2011.

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*. v. 336, p. 3033-3044, 2012.

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*. v.17 n.12, 2013.

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.

TOTSCHKE, K. U.; AMELUNG, W.; GERZABEK, M. H.; GUGGENBERGER, G.; KLUMPP, E.; KNIEF, C.; LEHNDORFF, E.; MIKUTTA, R.; PETH, S.; PRECHTEL, A.; RAY, N.; KÖGEL-KNABNER, I. Microaggregates in soils. *Journal Plant Nutrients Soil Science*, v. 181, p. 104–136, 2018.

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*, v. 53, p. 313– 320, 2013.

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*, v. 27, p. 325–334, 2016.

VEZZANI, F.M. Qualidade Do Sistema Solo Na Produção agrícola. 2001. 184p. (Tese de Doutorado em Ciências do Solo) Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2001.

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*, v. 10, 2009.

WRIGHT, S. F. & UPADHYAYA, A. Extraction of na abundant and unusual protein from soil and comparison withhyphal protein or arbuscular mycorrhizal fungo. *Soil Science*, v. 9, n. 161, p.575-586, 1996.

WOOD, S. & EHUI, S. Food. IN: BALISACAN, A. M. & GARDINER, P. Millenium Ecosystem Assessment. Washigton, Island: DC, p. 209-241, 2005.