












Atributos da fertilidade do solo em sistemas agroflorestais no Cerrado

Thalles Oliveira MARTINS ¹, Francisco Junior Simões CALAÇA ¹, Márcio Junior PEREIRA ²,
Rafael Pereira TOKARSKI ¹, Leovigildo Aparecido Costa SANTOS ³, Bruno de Andrade MARTINS ⁴,
Francine Neves CALIL ⁵, Samantha Salomão CARAMORI ¹, Carlos de Melo e SILVA-NETO ^{*1,4}

¹ Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais do Cerrado, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Territórios e Expressões Culturais no Cerrado, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO, Brasil.

³ NEOAGRO Consultoria, Minaçu, GO, Brasil.

⁴ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Polo de Inovação, Goiânia, GO, Brasil.

⁵ Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, GO, Brasil.

*E-mail: carlos.neto@ifg.edu.br

Submetido em: 21/05/2024; Aceito em 27/10/2024; Publicado em: 13/11/2024.

RESUMO: Dentre as diversas agriculturas ecológicas, os sistemas agroflorestais (SAF's) se apresentam como promissores enquanto alternativa para a produção de alimentos através de práticas que participam dos processos naturais, conservando os solos e recuperando sua fertilidade. Foram utilizados dados de análise química e de textura de solos (0 a 20cm de profundidade) dos 20 SAF's e das áreas externas classificadas quanto ao uso do solo (pastagem ou ecossistemas naturais) em diversos municípios do estado de Goiás e no Distrito Federal. Para testar as diferenças dos solos utilizamos teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis para cada parâmetro de solo entre os diferentes agroecossistemas. Também foi realizada análises dos componentes principais para verificar quais as variáveis apresentaram maior efeito e relação entre os parâmetros de solo e os diferentes agroecossistemas. Dentre os atributos de solos em sistemas agroflorestais no Cerrado, os atributos de pH, cálcio (Ca^{2+}), H+Al, fósforo (P), matéria orgânica (MO), soma de bases (SB) e saturação de bases (V%) apresentaram diferenças entre os usos do solo (SAFs, pastagem ou ecossistemas naturais). As agroflorestas mais antigas, que já apresentam estruturas florestais, com sombreamento da área, e aporte de serrapilheira constante no solo, apresentaram maior qualidade do solo, correlacionando-se com maiores teores de P, magnésio (Mg^{2+}), (Ca^{2+}), potássio (K^+), pH e MO. Os atributos que apresentaram maior influência na análise multivariada foram Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, CTC, Areia, Silte, Argila, H+Al, Al^{3+} e MO, podendo ser variáveis importantes para entender a variação desses elementos no solo em sistemas agroflorestais e diferentes usos do solo no Cerrado. Assim, concluímos que a deposição de matéria orgânica no SAF é capaz de alterar os atributos de fertilidade do solo ao longo do seu desenvolvimento.

Palavras-chave: savana brasileira; agroecossistemas; qualidade do solo; matéria orgânica.

Soil fertility attributes in different agroforestry systems in the Cerrado

ABSTRACT: Among the various ecological agricultures, agroforestry systems (SAFs) appear promising as an alternative for food production through practices that participate in natural processes, conserving soils and recovering their fertility. Data from chemical and texture analyses of soils (0 to 20 cm deep) of the 20 AFSs and external areas classified according to land use (pasture or natural ecosystems) in several Goiás municipalities and the Federal District were used. To test the soil differences, we used the non-parametric Kruskal-Wallis test for each soil parameter among the agroecosystems. Principal component analyses were also performed to verify which variables had the greatest effect and relationship between the soil parameters and agroecosystems. Among the soil attributes in agroforestry systems in the Cerrado, the attributes of pH, calcium (Ca^{2+}), H+Al, phosphorus (P), organic matter (MO), the sum of bases (SB) and base saturation (V%) showed differences between land uses (SAFs, pasture or natural ecosystems). Older agroforests, which already have forest structures, with the shading of the area and constant contribution of litter in the soil, presented higher soil quality, correlating with higher contents of P, magnesium (Mg^{2+}), (Ca^{2+}), potassium (K^+), pH and MO. The attributes that showed the greatest influence in the multivariate analysis were Ca^{2+} , Mg^{2+} , SB, CEC, Sand, Silt, Clay, H+Al, Al^{3+} and OM, and may be important variables to understand the variation of these elements in the soil in agroforestry systems and different land uses in the Cerrado. Thus, we conclude that the deposition of organic matter in the SAF can alter soil fertility attributes throughout its development.

Keywords: Brazilian savanna; agroecosystems; soil quality; organic matter.

1. INTRODUÇÃO

Os solos têm um papel fundamental na regulação da quantidade de carbono (C) na atmosfera que contribuiu para a

mudança climática (MINASNY et al., 2017). Globalmente, os solos armazenam cerca de 2400 Pg de C, cerca de três vezes mais que na atmosfera (CROWTHER et al., 2019). A

conversão de sistemas naturais em ecossistemas agrícolas causa esgotamento do pool COS (carbono orgânico do solo) em até 60% em solos de regiões temperadas e 75% ou mais em solos cultivados do trópico (GUERRINI et al., 2024).

No maior país tropical, o Brasil, o setor agropecuário é responsável por cerca de dois terços das emissões de gases de efeito estufa (GEE) (CRIPPA et al., 2021). Essas atividades resultaram em degradação em todo o país, especialmente pastagens, a maior parte que estão em estágio avançado de degradação (DIAS-FILHO, 2014).

A degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, promovem a desestruturação, a compactação, a redução da fertilidade, a oxidação acelerada da matéria orgânica e diminuem a quantidade e diversidade de organismos do solo. Esta degradação tem relação com o uso inadequado e não conservacionista do solo, sobretudo por meio da adoção de sistemas convencionais de produção (LEITE et al., 2010).

O Cerrado é uma região de alta aptidão agrícola devido aos solos com excelentes características físicas, mas esses solos são altamente dependentes do uso de fertilizantes para bons resultados produtivos. Crescente demanda por esses fertilizantes sem aumentos correspondentes na oferta leva a preços mais altos que tornam os fertilizantes inacessíveis aos produtores. Além disso, o uso indiscriminado desses fertilizantes pode deteriorar a qualidade da ecossistemas (ALTIERI, 2002; PEREIRA et al., 2018).

Nesse cenário, o uso das terras por sistemas conservacionistas e regenerativos é amplamente promovido e tornou-se obrigatório. Os sistemas agroflorestais (SAFs) têm maior potencial do que o sistemas de monocultivos na captura e armazenamento de CO₂ atmosférico em biomassa vegetal e solos e, portanto, mitigação das mudanças climáticas, em todas as regiões ecológicas do mundo, incluindo savanas (NAIR et al., 2021).

Segundo Santos et al. (2021), os SAFs são capazes de promover a melhoria da qualidade do solo, pois a biodiversidade presente nesses sistemas, incluindo o componente arbóreo, promove, dentre outros benefícios, a ciclagem de nutrientes e o aporte continuado de material orgânico. A maior ciclagem de nutrientes se deve à estratificação das espécies que se relaciona com a ocupação e distribuição de raízes em diferentes profundidades do solo.

Vários fatores contribuem para a maior eficiência dos SAFs em sequestrar C no solo do que em monoculturas, incluindo o ciclo eficiente de C (e nutrientes) dentro do sistema solo-planta, um maior retorno de biomassa (C) ao solo e uma diminuição da decomposição da biomassa e sequestro de C do solo em áreas mais profundas camadas de solo (APOLINÁRIO et al., 2016).

Na agroecologia são estimuladas práticas agrícolas que conservam os solos, tais como: cobertura do solo, curvas de nível, plantios consorciados, plantio de árvores, não revolver o solo, entre outros. Solos vivos e agregados permitem a existência de diversos tipos de organismos, aumentando a sua produtividade. A biodiversidade vegetal é importante para promover a ciclagem de diversos nutrientes, permitindo diversas formas de vida no solo, contribuindo com sua produtividade (PRIMAVESI, 2002).

Dentre as diversas agriculturas ecológicas, os sistemas agroflorestais (SAFs) se apresentam como promissores enquanto alternativa para a produção de alimentos através de práticas que participam dos processos naturais, conservando

os solos e recuperando sua fertilidade (MICCOLIS et al., 2016). Através do plantio de diversas espécies (árvores nativas, frutíferas, arbustos, hortaliças), a energia do sol é mais bem aproveitada no tempo e no espaço, fazendo com que em pouco tempo o sistema comece a acumular biomassa viva e morta no solo.

A presença constante das podas e manejo do sistema garantem um aporte contínuo de matéria orgânica no solo. Assim, os processos naturais da decomposição da serrapilheira, com a participação da macro e microfauna do solo, começam a funcionar, trazendo vida e energia para o agroecossistema (NETO et al., 2016).

Segundo Kumar (2010), a quantificação e a avaliação dos efeitos benéficos das práticas agroflorestais são importantes para pesquisadores, formuladores de políticas agrícolas, pois contribui para auxiliar em tomadas de decisões que promovam tal prática de manejo. Diante disso, o presente trabalho objetivou avaliar a qualidade físico-química do solo em 20 SAFs no Estado de Goiás e Distrito Federal utilizando como indicadores os níveis a qualidade do solo nas áreas externas (ecossistemas naturais ou pastagem).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

Foram identificados em 11 municípios no estado de Goiás (GO) e no Distrito Federal (DF), locais onde foram plantados diferentes Agroecossistemas denominados Sistemas agroflorestais biodiversos ou SAFs multiestrata. Destes foram selecionados 20 SAFs, levando-se em consideração o tempo e recursos disponíveis para visitas a campo: 2 em Ceres, 2 em Goiânia, 2 em Cristianópolis, 2 em Aragoiânia, 2 em Brasília, 2 em Hidrolândia, 1 em Ipameri, 1 em Niquelândia, 1 em Rio Verde, 1 em Jataí, 1 em Goianira, 1 em Santo Antônio de Goiás, 2 em Piracanjuba (Figura 1).

O tempo de implantação varia entre um e doze anos, a área ocupada pelos SAFs varia entre 1.000 m² (0,1 ha) e 180.000 m² (18 ha), localizados na região Norte (Ceres e Niquelândia), Centro-Sul (Aragoiânia, Ceres, Hidrolândia, Goiânia, Piracanjuba e Santo Antônio de Goiás), sudoeste (Jataí e Rio Verde) e Sudeste (Cristianópolis e Ipameri) do estado de Goiás e no Distrito Federal (Lago Oeste) (Tabela 1). Para a classificação dos SAFs estudados foi empregado o sistema de classificação proposto por Nair (1993).

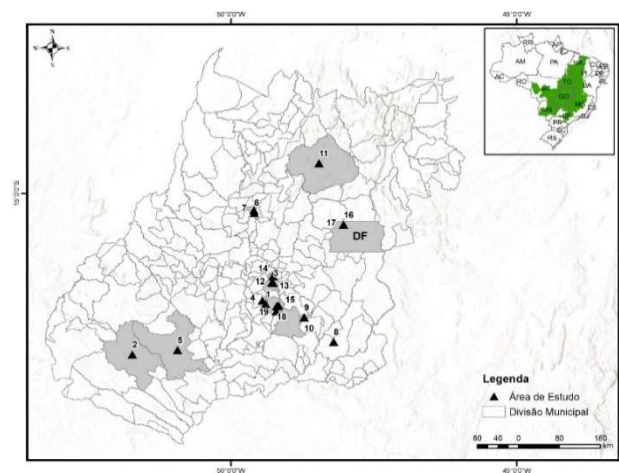


Figura 1. Localização dos diferentes agroecossistemas (SAFs) no estado de Goiás e Distrito Federal.

Figure 1. Location of different agroecosystems (SAFs) in the state of Goiás and Distrito Federal.

Com base na natureza dos componentes dos SAFs, de forma generalista eles foram classificados em uma das três categorias: sistema agrosilvicultural (Agroflorestas biodiversas), quando há a associação somente dos componentes arbóreo e culturas agrícolas; silvipastoril, onde há a combinação somente de árvores e plantas forrageiras para alimentação animal ou com a criação de animais; agrossilvipastoril, quando ocorre a combinação entre o componente arbóreo, culturas agrícolas e criação de animais.

Com base nos arranjos temporais de seus componentes, os SAFs foram classificados em: sistemas coincidentes (simultâneos), quando ao mesmo tempo, as culturas anuais e

perenes convivem com espécies madeireiras ou de uso múltiplo e/ou pecuária; sequenciais, quando os cultivos agrícolas anuais e as plantações de árvores se sucedem no tempo; complementares, quando há o plantio de arbóreas ou culturas agrícolas que exercem uma função auxiliar de proteção do SAF, como as cercas-vivas e cortinas quebra-vento, normalmente estando associadas aos sistemas coincidentes e os sequenciais. Quanto a função foi classificada em: SAFs de produção (Alimentos, fibras e madeira); SAFs de proteção (Recuperação de áreas degradadas, erosões, cobertura do solo, etc.); SAFs multifuncionais que desempenham várias funções.

Tabela 1. Localização, área total, idade nos diferentes sistemas agroflorestais e respectivas áreas externas no estado de Goiás e Distrito Federal.

Table 1. Location, total area, age in the different agroforestry systems and respective external areas in the state of Goiás and Distrito Federal.

SAFs	Município/UF	Área (m ²)	Idade (anos)	Áreas externas	Classificação do solo
01	Aragoiânia – GO	18.000	03	Ecossistema Natural	Latossolo Vermelho ácido
02	Rio Verde - GO	180.000	01	Ecossistema Natural	Nitossolo Vermelho eutrófico
03	Jataí - GO	80.000	10	Ecossistema Natural	Latossolo Vermelho ácido
04	Aragoiânia – GO	1.350	01	Ecossistema Natural	Latossolo Vermelho ácido
05	Goianira - GO	12.000	02	Ecossistema Natural	Latossolo Vermelho-ácido
06	Ceres – GO	800	12	Pastagem	Nitossolo Vermelho eutrófico
07	Ceres – GO	12.000	04	Pastagem	Latossolo Vermelho distrófico
08	Ipameri - GO	5.000	02	Pastagem	Cambissolo Háplico distrófico
09	Cristianópolis – GO	800	02	Pastagem	Latossolo Vermelho ácido
10	Cristianópolis – GO	800	09	Pastagem	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico
11	Niquelândia - GO	15.000	04	Pastagem	Cambissolo Háplico distrófico
12	Goiania – GO (1)	16.000	02	Pastagem	Latossolo Vermelho ácido
13	Goiania – GO	1.200	11	Pastagem	Latossolo Vermelho ácido
14	Santo Antônio de Goiás - GO	1.200	03	Ecossistema Natural	Latossolo vermelho-ácido
15	Hidrolândia – GO	2.000	05	Ecossistema Natural	Latossolo Vermelho distrófico
16	Brasília – DF	2.000	06	Ecossistema Natural	Latossolo Vermelho distrófico
17	Brasília – DF	2.000	08	Ecossistema Natural	Latossolo Vermelho distrófico
18	Hidrolândia – GO	4.900	04	Pastagem	Latossolo vermelho-Amarelo
19	Piracanjuba – GO	1.000	01	Ecossistema Natural	Cambissolo Háplico distrófico
20	Piracanjuba – GO	3.000	03	Ecossistema Natural	Neossolo Litólico distrófico

2.2. Caracterização química da qualidade dos solos nos SAF's e Áreas externas

Para avaliação dos aspectos de fertilidade e textura dos solos foram coletadas amostras de 0 a 20 cm de profundidade, abrindo-se trincheiras de aproximadamente 20 x 25 x 25 cm. As amostras foram somadas em uma única amostra composta por parcela, misturadas, homogeneizadas e acondicionadas em saco plástico lacrado.

Em laboratório, as amostras foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de malha 2 mm, as composições granulométricas dos solos foram determinadas pelo método da pipeta (DONAGEMMA et al., 2011). As análises químicas também seguiram os métodos descritos por Donagemma et al. (2011). A classe dos solos de cada área foi determinada através do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2018).

A qualidade do solo nas áreas externas (ecossistemas naturais ou pastagem) e o impacto dos sistemas de manejo sobre a qualidade do solo foi medido pelas seguintes variáveis: pH em H₂O, fósforo disponível/extraível (P), potássio trocável (K⁺), cálcio trocável (Ca²⁺), magnésio trocável (Mg²⁺), acidez potencial (H⁺+Al³⁺), alumínio trocável (Al³⁺), matéria orgânica (MO), areia (Areia), silte (Silte), argila (Argila), soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e Zinco (Zn²⁺).

2.3. Análises Estatísticas

Foi realizada a análise de componentes principais (Principal Component Analysis - PCA), para visualizar como os diferentes SAFs se destacam quanto as variáveis do solo coletadas. E foi realizada a PCA para visualizar com os SAFs e os diferentes usos do solo (Pastagem, Ecossistema naturais). A seleção do número de componentes empregados na interpretação de dados de uma PCA é um critério empírico na literatura, e é comum indicarem que se devem utilizar aqueles componentes que juntos acumulam pelo menos 70% da variação total dos dados, informação dada pelos autovalores de cada componente (HONGYU et al., 2015). Portanto no presente estudo utilizamos quantos componentes fossem necessários para acumular ao menos 70% da variação total.

Para facilitar a elaboração das análises estatísticas e texto foram elaboradas legendas de acordo com a sequência das agroflorestas: SAF01, SAF02, SAF03, SAF04, SAF05, SAF06, SAF07, SAF08, SAF09, SAF10, SAF11, SAF12, SAF13, SAF14, SAF15, SAF16, SAF17, SAF18, SAF19 e SAF20. Também seguindo esse raciocínio foram elaboradas legendas para os ecossistemas naturais: NAT01, NAT02, NAT03, NAT04, NAT05, NAT06, NAT07, NAT08, NAT09, NAT10, NAT11 e NAT12. E legendas para as pastagens: PAS01, PAS02, PAS03, PAS04, PAS05, PAS06, PAS07, PAS08.

Análises de correlação (coeficiente de correlação de Pearson) foram executadas entre os parâmetros do solo, sistemas agroflorestais e em uma análise geral envolvendo a vegetação nativa e a pastagem, com o objetivo de verificar possíveis relações entre as variáveis físico-químicas do solo.

A normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias foram testadas pelo teste de Shapiro-Wilk e Levene ao nível de 5% de probabilidade, não apresentaram distribuição normal e homogeneidade das variâncias, mesmo com a realização das transformações logarítmica dos mesmos. O teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ao nível de 5% de probabilidade foi utilizado para comparar os conjuntos de dados, que são os atributos químicos e de textura do solo dos saf's, ecossistemas naturais e pastagem. Os resultados encontrados na análise química do solo nos SAFs, ecossistemas naturais e pastagens na camada superficial de 0-20cm foram interpretados (SOUZA; LOBATO, 2004), sendo esta interpretação dos níveis de nutrientes da análise química do solo para as culturas agrícolas.

Foi realizada a análise de regressão múltipla, onde a variável dependente (matéria orgânica – MO) apresenta mais de uma variável explicativa (pH em H₂O, fósforo disponível/extraível (P⁻), potássio trocável (K⁺), cálcio trocável (Ca²⁺), magnésio trocável (Mg²⁺), acidez potencial

(H⁺+Al³⁺), alumínio trocável (Al³⁺), areia, argila, capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases (V%) e Zinco (Zn²⁺) conforme Chein (2019). Todos os testes foram executados pelos programas PAST4.03@ (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001).

3. RESULTADOS

3.1. Análise de Componentes Principais (PCA) dos SAFs

Os três componentes explicam a 75,5% da variância total do conjunto de dados, sendo o primeiro componente responsável por explicar 42,3%, o segundo 21,6% e, o terceiro explicando 11,6% (Figura 2). As variáveis edáficas, assim como a idade dos SAFs, apresentaram maiores correlações com o primeiro e o segundo componente principal. O componente 1 se correlacionou com os atributos físicos silte, argila e areia. E o componente 1 se correlacionou com os teores de nutrientes como fósforo (P⁻), magnésio (Mg²⁺), cálcio (Ca²⁺), potássio (K⁺), pH, CTC, MO, soma de bases e a idade do SAFs e com os SAF11, SAF7, SAF14, SAF16, SAF15, SAF17, SAF6, SAF4 e SAF5. O componente 2 se correlacionou com o alumínio (Al³⁺) e acidez potencial (H+Al³⁺) em conjunto com os SAF3, SAF19, SAF20, SAF18, SAF1, SAF12, SAF8, SAF9 e SAF10.

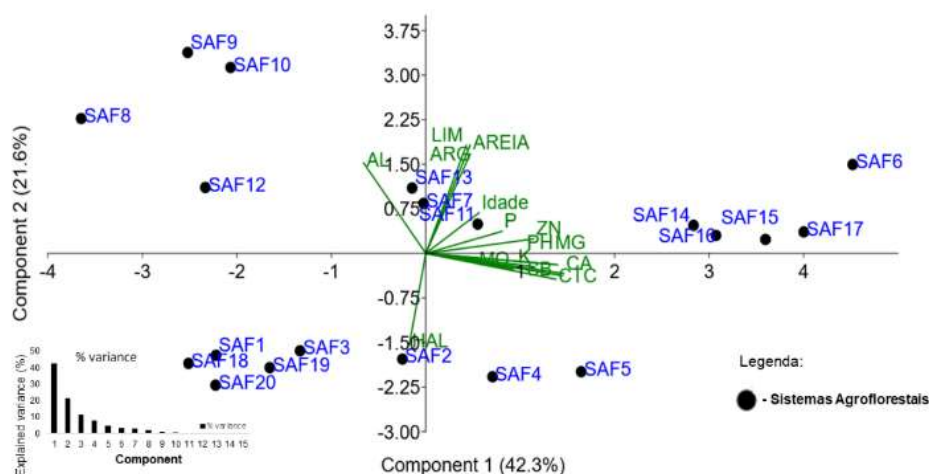


Figura 2. Análise dos componentes principais 1 e 2 dos atributos do solo, na profundidade de 0-20 cm, para diferentes sistemas agroflorestais no estado de Goiás e Distrito Federal.

Figure 2. Analysis of main components 1 and 2 of soil attributes, at a depth of 0-20 cm, for different agroforestry systems in the state of Goiás and Distrito Federal.

As agroflorestas com idade superior aos 3 anos apresentando estrutura florestal, com sombreamento da área e maior quantidade de matéria orgânica com a diversificação da serrapilheira contribuem com a melhoria da qualidade do solo, garantindo maior proteção à superfície do solo e criando diferentes nichos a serem ocupados pelos organismos edáficos influenciando positivamente na ciclagem de nutrientes. As agroflorestas mais antigas, que já apresentam estruturas florestais, com sombreamento da área, e aporte de serrapilheira constante no solo, apresentaram maior qualidade do solo, correlacionando-se com maiores teores de fósforo (P⁻), magnésio (Mg²⁺), cálcio (Ca²⁺), potássio (K⁺), pH e MO.

3.2. Relação entre os atributos do solo com os SAFs

Os atributos físicos e químicos do solo para os diferentes SAFs e a idade, mostrou uma correlação positiva ($r = 0,670$,

$p < 0,001$) com relação a argila, silte ($r = 0,750$, $p < 0,001$) e areia ($r = 0,750$, $p < 0,001$), respectivamente (Tabela 2). Por outro lado, os atributos físicos e químicos para os diferentes SAFs e a idade apresentou correlação negativa com a acidez potencial no solo ($r = -0,570$, $p < 0,001$).

3.3. Análise de Componentes Principais (PCA) dos SAFs, Ecossistemas Naturais e Pastagens

A ordenação dos parâmetros físico-químicos do solo por meio da análise de componentes principais mostrou uma separação em função dos diferentes usos do solo (SAF – sistemas agroflorestais; NAT – ecossistemas naturais e PAS – Pastagens). Os três primeiros componentes da ordenação explicaram, juntos, 73,0% da variância dos dados, sendo 39,1% no eixo I e 23,6% no eixo II e 10,3% no eixo III (Figura 3).

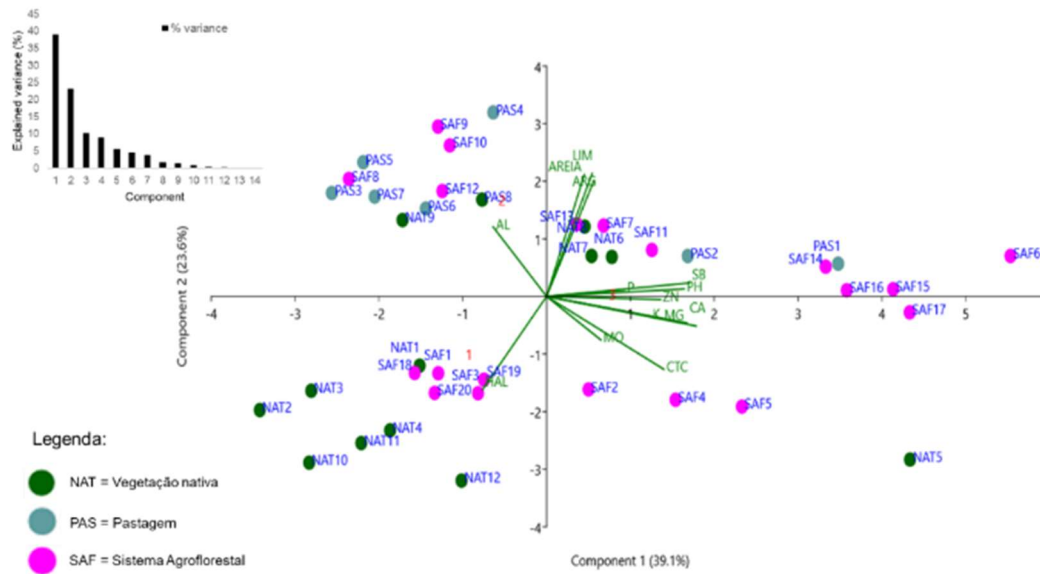


Figura 3. Análise dos componentes principais 1 e 2 dos atributos do solo, na profundidade de 0-20 cm, para diferentes sistemas agroflorestais, pastagem no estado de Goiás e Distrito Federal.

Figure 3. Analysis of principal components 1 and 2 of soil attributes, at a depth of 0-20 cm, for different agroforestry systems and pastures in the state of Goiás and Federal District.

Tabela 2. Relação entre parâmetros do solo e a idade para os diferentes de sistemas agroflorestais biodiversos (agroflorestas) no estado de Goiás e no Distrito Federal.

Table 2. Relationship between soil parameters and age for different biodiverse agroforestry systems (agroforestry) in the state of Goiás and Federal District.

	r (Pearson)	p-valor
Idade	0,410	0,074
Al ³⁺ (alumínio)	0,320	0,176
K (potássio)	0,190	0,424
P (fósforo)	0,280	0,231
Zn (Zinco)	0,310	0,187
pH	0,210	0,341
Argila	0,670	<0,001
Silte	0,750	<0,001
Areia	0,750	<0,001
H ⁺ +Al ³⁺	-0,570	<0,001

A ordenação no eixo I mostra a correlação entre os parâmetros físicos do solo: areia, silte e argila, respectivamente. No eixo I também é observada a correlação entre os atributos da química do solo como: soma de bases, fósforo (P), Zn, Ca, Mg, CTC e a matéria orgânica (MO) com os usos do solo do SAF13 (Goiânia), SAF7 (Ceres), SAF11 (Niquelândia), SAF16 (DFSAF15 (Hidrolândia), SAF17 (DF), SAF6 (Ceres), SAF2 (Jataí), SAF4 (Aragoiânia), SAF5 (Rio Verde). Juntamente com os ecossistemas naturais, NAT8 (DF), NAT7 (Hidrolândia), NAT6 (Santo Antônio) e NAT5 (Rio Verde) e as pastagens PAS2 (Ceres), PAS1 (Ceres).

A ordenação do eixo II correlacionou com a acidez potencial (H+Al) e o alumínio (Al), o SAF9 (Cristianópolis), SAF10 (Cristianópolis), SAF8 (Ipameri), SAF12 (Goiânia), SAF18 (Hidrolândia), SAF3 (Goiânia), SAF10 (Cristianópolis), SAF19 (Piracanjuba) e SAF20 (Piracanjuba). Em correlação com os ecossistemas naturais: NAT9 (DF), NAT3 (Goiânia), NAT2 (Jataí), NAT10 (Hidrolândia), NAT11 (Piracanjuba), NAT4 (Aragoiânia) e NAT12

(Piracanjuba). E correlação com as pastagens: PAS4 (Cristianópolis), PAS5 (Cristianópolis), PAS3 (Ipameri), PAS7 (Goiânia), PAS6 (Niquelândia) e PAS8 (Goiânia).

Novamente, as agroflorestas mais antigas, que já apresentam estruturas florestais, com sombreamento da área, e aporte de serrapilheira constante no solo, apresentaram maior qualidade do solo, correlacionando-se com maiores teores de fósforo (P), magnésio (Mg²⁺), cálcio (Ca²⁺), potássio (K⁺), pH e MO. A vegetação nativa NAT5 (Goianira) apresentou forte correlação com a capacidade de troca de cátions potencial (CTC), porém, os demais ecossistemas nativos apresentaram maior correlação com a acidez potencial. As pastagens demonstraram maior acúmulo de alumínio (Al³⁺), demonstrada no componente 2, porém, as pastagens PAS2 (Ceres), PAS1 (Ceres) se correlacionam com maiores teores de soma de bases e pH. Os SAFs que se correlacionaram com uma maior acidez potencial, SAF19 (Piracanjuba 1) estabelecido sobre Cambissolo Háplico distrófico e SAF20 (Piracanjuba) sobre Neossolo Litólico distrófico.

3.4. Relação entre os atributos do solo com os usos do solo

Os atributos físicos e químicos do solo para os diferentes SAFs, ecossistemas naturais e pastagem, apresentou correlação negativa com a acidez potencial no solo ($r = -0,540$, $p < 0,001$). E demonstrou correlação positiva ($r = 0,953$, $p < 0,001$) com relação ao cálcio, silte ($r = 0,790$, $p < 0,001$) e argila ($r = 0,730$, $p < 0,001$), respectivamente (Tabela 3).

3.5. Características edáficas entre os diferentes usos do solo

As classes de solos variaram entre as agroflorestas, em que, o Latossolo Vermelho ácrico se encontra sobre os SAF1, SAF2, SAF3, SAF4, SAF5, SAF9, SAF 12, SAF13 e SAF14. O Latossolo Vermelho distrófico está sobre os SAF6, SAF15, SAF16, SAF17. O Cambissolo háplico distrófico sobre os

SAF8, SAF11 e SAF19, seguido por Neossolo Litólico distrófico SAF20, Latossolo Vermelho amarelo SAF18, Argissolo Vermelho-amarelo distrófico SAF10 e Nitossolo Vermelho eutrófico no SAF5 e SAF7.

Tabela 3. Relação entre parâmetros do solo de Sistemas Agroflorestais Biodiversos (agroflorestas), pastagem e ecossistemas naturais no estado de Goiás e Distrito Federal.

Table 3. Relationship between soil parameters of Biodiverse Agroforestry Systems (agroforests), pasture and natural ecosystems in the state of Goiás and Federal District.

Atributos do solo	r (Pearson)	p-valor
Al ³⁺	0,220	0,170
H ⁺ +Al ³⁺	-0,540	<0,001
Capacidade de troca catiônica	-0,240	0,146
Matéria Orgânica	-0,150	0,355
Areia	0,260	0,418
Saturação por bases	0,200	0,221
pH	0,210	0,175
Ca ²⁺	0,953	0,010
Argila	0,730	<0,001
Silte	0,790	<0,001
P (fósforo)	0,210	0,142

Os teores de cálcio (Ca²⁺) nos SAFs variaram de nível baixo à alto, igual a 0,9 cmolc dm⁻³ (SAF8) e 8,7 cmolc dm⁻³ (SAF17), e os níveis de magnésio (Mg²⁺) variaram de baixo igual a 0,5 cmolc dm⁻³ (SAF8) à um nível alto de 3,7 cmolc dm⁻³ (SAF14), o potássio (K⁺) os níveis também variaram de níveis médios 42,0 mg dm⁻³ (SAF10) à nível alto 482,8 mg dm⁻³ (SAF15), o fósforo (P), os níveis variaram à muito baixo 0,5 mg dm⁻³ (SAF9) à nível alto 1540 mg dm⁻³ (SAF6). A soma de bases (SB) máxima foi de 11,70 cmolc.dm⁻³ (SAF17) o que é considerada alta.

Os maiores teores de matéria orgânica (MO) no solo foi de 76,5 g kg⁻¹ (SAF17), 56 g kg⁻¹ (SAF16), 51 g kg⁻¹ (SAF2), e os menores teores foram 16 g kg⁻¹ (SAF18) e 18 g kg⁻¹ (SAF12). Os níveis do pH em H₂O variaram de baixo à alto de 4,4 (SAF8) 6,5 (SAF16). Os resultados das análises químicas para micronutrientes, os níveis de zinco (Zn²⁺) variam de entre teores baixos 0,3 mg dm⁻³ (SAF12) à alto 63 mg dm⁻³ (SAF6). O maior teor de argila é de 580 g kg⁻¹ (SAF14) e o menor 26 g kg⁻¹ (SAF2), o teor de silte maior foi de 120 g kg⁻¹ (SAF14) e menor 6,5 g kg⁻¹ (SAF19) e os teores de areia menor 24 g kg⁻¹ (SAF3) e maior 780 g kg⁻¹.

Nos ecossistemas naturais os teores de cálcio (Ca²⁺) variaram de nível baixo à alto, igual a 0,7 cmolc dm⁻³ (NAT2) e 12 cmolc dm⁻³ (NAT5), e os níveis de magnésio (Mg²⁺) variaram de baixo igual a 0, cmolc dm⁻³ (NAT9) à um nível adequado de 4,7 cmolc dm⁻³ (NAT5), o potássio (K⁺), os níveis também variaram de níveis médios 50,8 mg dm⁻³ (NAT9) à nível alto 180 mg dm⁻³ (NAT10), o fósforo (P) os níveis variaram de muito baixo 1,2 mg dm⁻³ (NAT10) à nível muito alto 108 mg dm⁻³ (NAT7). A soma de bases (SB) máxima foi de 16,9 cmolc dm⁻³.

Os teores médios matéria orgânica (MO) no solo dos ecossistemas naturais na camada superficial (0-20 cm) foi de 36,5 g kg⁻¹. Os resultados das análises químicas para micronutrientes do solo nos ecossistemas naturais na profundidade de 0-20cm, os níveis de zinco (Zn²⁺) são considerados elevados estando entre 1,1 mg dm⁻³ (NAT2) à 0,9 mg dm⁻³ (NAT7). Os níveis do pH em H₂O variaram de baixo à alto de 3,8 (NAT2) e 6,7 (NAT5). Na análise

granulométrica do solo a maior quantidade de argila no solo foi observada no NAT6 com 530 g kg⁻¹ e menor no NAT11 com 23 g kg⁻¹. O silte em maior quantidade é observado no NAT6 com 110 g kg⁻¹ e a menor no NAT11 6 g kg⁻¹. A maior quantidade de areia é de 640 g/kg (NAT8) e a menor 24 g kg⁻¹ (NAT3).

Na camada superficial das pastagens os níveis do pH em H₂O variaram de médio à alto de 4,6 (PAS3) à 5,9 (PAS1). A acidez potencial (H⁺+Al³⁺), máximos foram 0,1 cmolc dm⁻³ 3,0 cmolc dm⁻³, respectivamente. A fertilidade das amostras, com nível baixo à alto, respectivamente, de cálcio (Ca²⁺) igual a 0,6 cmolc dm⁻³ (PAS3) e 7,3 cmolc dm⁻³ (PAS1), e os níveis de magnésio (Mg²⁺) variaram de baixo igual a 0,4 cmolc dm⁻³ (PAS3) à um nível adequado de 2,2 cmolc dm⁻³ (PAS1), o potássio (K⁺) os níveis também variaram de níveis baixos 27,4 mg dm⁻³ à nível alto 486,8 mg dm⁻³, o fósforo (P) os níveis variaram à muito baixo 0,5 mg dm⁻³ (PAS4) à nível muito alto 116 mg dm⁻³ (PAS1). A soma de bases (SB) máxima foi de 10,6 cmolc dm⁻³ (PAS1) o que é considerada alta, e a 1,1 cmolc dm⁻³ (PAS3) é interpretada como baixa.

O teor de matéria orgânica (MO) do solo nas pastagens variou de 13 g kg⁻¹ (PAS8) à 30 g kg⁻¹ (PAS2). Os resultados das análises químicas para micronutrientes do solo nos ecossistemas naturais na profundidade de 0-20cm, os níveis de zinco (Zn²⁺) são considerados baixos e elevados estando entre 0,4 mg dm⁻³ (PAS7) à 16,6 mg dm⁻³ (PAS1), respectivamente.

Na análise granulométrica do solo a maior quantidade de argila no solo foi observada no PAS2 com 410 g kg⁻¹ e menor no PAS3 com 190 g kg⁻¹. O silte em maior quantidade é observado na PAS2 com 100 g kg⁻¹ e a menor em 50 g kg⁻¹ (PAS3). A maior quantidade de areia é de 760 g kg⁻¹ (PAS3) e a menor 490 g kg⁻¹ (PAS4). No geral, as médias das variáveis de solo analisadas foram maiores para os SAFs que para as áreas de pastagem, porém, apresentando bastante variação entre os locais (Tabela 4).

A normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias foram testadas pelo teste de Shapiro-Wilk e Levene ao nível de 5% de probabilidade, não apresentaram distribuição normal e homogeneidade das variâncias, mesmo com a realização das transformações logarítmica dos mesmos. O teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ao nível de 5% de probabilidade foi utilizado para comparar os dois conjuntos de dados, que são os atributos químicos do solo nos SAFs, ecossistemas naturais e pastagens.

O teste estatístico não-paramétrico de Kruskal-Wallis evidenciou haver diferença significativa ao nível de 5% de significância estatística entre os resultados das análises químicas e granulométricas dos solos dos SAFs, em comparação com o ecossistema natural e/ou pastagens adjacentes a cada um. No geral, as médias das variáveis de solo analisadas foram maiores para os SAFs que para as áreas dos ecossistemas naturais e pastagem, porém, apresentando bastante variação entre os locais.

Os principais atributos que se diferenciaram foram o pH, Ca²⁺, H+Al, K⁺, P-, MO, Zn e V% (Figura 3). No geral, as médias das variáveis de solo analisadas foram maiores para os SAFs (agroflorestas) para as áreas de ecossistema naturais e pastagens, porém, apresenta bastante variação entre os locais. O pH médio foi mais elevado para os solos sob agroflorestas (5,7), seguidos por pastagem (5,2) e ecossistemas naturais (5,1).

Os valores cálcio médio do cálcio (Ca²⁺) foi maior para

os solos dos SAFs (4,4 cmolc dm⁻³) sendo o maior observado no SAF17 (Brasília – DF / Raiz) com 8,7 cmolc dm⁻³. Seguido por ecossistemas naturais com média de 3,1 cmolc

dm⁻³, onde a NAT5 (Goianira) com 12 cmolc dm⁻³. E as pastagens com média de 2,7 cmolc dm⁻³, onde a PAS1 (Ceres – IFG 1) com 7,3 cmolc dm⁻³.

Tabela 4. Teores do elementos físico-químicos para a camada superficial dos solos (0-20cm) amostradas nas agroflorestas, ecossistemas naturais e pastagens avaliadas no Estado de Goiás e Distrito Federal.

Table 4. Contents of physicochemical elements for the surface layer of soils (0-20cm) sampled in agroforests, natural ecosystems and pastures evaluated in the State of Goiás and Federal District.

Usos	Ca ²⁺	Mg	Al	H+Al	K	P	MO	Zn	CTC (T)	SB	V%	pH	ARG	LIM	AREIA
NAT1	1,40	0,90	0,00	2,10	155,00	2,10	27,00	4,60	4,80	2,70	56,22	5,20	32,00	8,00	60,00
NAT2	0,70	0,60	1,60	6,40	90,10	3,40	46,00	1,10	7,93	1,53	19,30	3,80	42,00	11,00	47,00
NAT3	0,80	0,70	0,30	4,10	79,80	1,50	40,00	2,00	5,80	1,70	29,36	4,30	63,00	13,00	24,00
NAT4	2,40	1,10	0,40	5,50	55,40	1,50	46,00	1,60	9,14	3,64	39,84	4,70	37,00	9,00	54,00
NAT5	12,00	4,70	0,00	0,90	86,20	4,70	33,00	7,60	17,82	16,92	94,95	6,70	42,00	11,00	47,00
NAT6	3,90	2,00	0,00	3,00	92,00	2,40	57,00	1,90	9,14	6,14	67,16	5,40	530,00	110,00	360,00
NAT7	4,00	1,30	0,00	3,00	176,40	108,00	26,00	13,10	8,75	5,75	65,72	5,30	340,00	80,00	580,00
NAT8	3,50	0,90	0,00	1,60	131,20	8,50	31,00	3,00	6,34	4,74	74,75	6,40	280,00	80,00	640,00
NAT9	1,50	0,30	0,20	2,60	50,80	2,40	43,00	3,90	4,53	1,93	42,60	4,80	370,00	90,00	540,00
NAT10	1,30	0,50	0,20	8,80	180,00	1,20	23,00	2,60	11,06	2,26	20,44	4,20	31,00	9,00	60,00
NAT11	1,80	0,40	0,20	7,20	130,00	14,00	31,00	3,30	9,73	2,53	26,02	5,20	23,00	6,00	71,00
NAT12	3,60	1,30	0,10	7,80	176,00	9,00	35,00	3,60	13,15	5,35	40,68	4,90	29,00	7,00	64,00
Média	3,08	1,23	0,25	4,42	116,91	13,23	36,50	4,03	9,02	4,60	48,09	5,08	151,58	36,17	212,25
Pastagem1	7,30	2,20	0,00	1,30	486,80	116,00	26,00	16,60	12,00	10,75	89,21	5,90	400,00	100,00	500,00
Pastagem2	6,00	2,00	0,00	2,10	239,40	2,10	30,00	6,60	10,71	8,61	80,40	5,40	410,00	100,00	490,00
Pastagem3	0,60	0,40	1,00	0,40	64,70	3,70	19,00	1,90	3,87	1,17	74,45	4,60	190,00	50,00	760,00
Pastagem4	2,90	1,10	4,00	0,00	46,10	0,50	21,00	2,90	5,62	4,12	50,73	5,90	410,00	100,00	490,00
Pastagem5	0,70	0,50	1,20	0,30	64,70	0,80	22,00	2,40	3,57	1,37	81,99	4,70	320,00	90,00	590,00
Pastagem6	1,40	1,10	0,50	3,00	125,70	3,70	19,00	0,70	5,82	2,82	48,47	4,70	400,00	100,00	500,00
Pastagem7	0,90	0,70	0,20	2,50	27,40	0,80	23,00	0,40	4,17	1,67	40,05	4,80	400,00	100,00	500,00
Pastagem8	2,10	1,00	0,00	1,80	88,90	0,80	13,00	0,90	5,13	3,33	64,89	5,50	370,00	90,00	540,00
Média	2,74	1,13	0,86	1,43	142,96	16,05	21,63	4,05	6,36	4,23	66,27	5,19	362,50	91,25	546,25
SAF1	2,40	1,10	0,00	2,30	58,30	2,40	29,00	5,50	5,95	3,65	61,34	5,20	37,00	9,00	54,00
SAF2	4,50	1,60	0,00	1,10	77,90	30,80	51,00	3,10	7,40	6,30	85,13	6,00	26,00	7,00	67,00
SAF3	3,00	1,50	0,00	2,70	64,00	4,70	40,00	5,00	7,36	4,66	63,33	5,10	63,00	13,00	24,00
SAF4	5,00	2,20	0,00	1,70	204,80	53,00	30,00	15,10	9,42	7,72	81,96	6,40	34,00	8,00	58,00
SAF5	8,00	2,20	0,00	1,20	216,20	108,00	23,00	11,80	11,95	10,75	89,96	6,40	44,00	11,00	45,00
SAF6	7,80	2,40	0,00	1,10	207,90	1540,00	20,00	63,00	11,83	10,73	90,70	6,40	280,00	80,00	640,00
SAF7	6,00	1,50	0,00	2,10	74,30	2,10	25,00	3,00	9,79	7,69	78,55	5,00	480,00	120,00	400,00
SAF8	0,90	0,50	1,40	0,80	81,80	7,00	20,00	2,30	5,11	1,61	66,79	4,40	300,00	80,00	620,00
SAF9	2,10	0,90	3,00	0,00	42,40	0,50	23,00	3,10	5,71	3,11	50,89	5,20	420,00	110,00	470,00
SAF10	1,60	0,80	2,40	0,00	42,00	4,70	22,00	4,00	4,11	2,51	51,09	5,80	290,00	80,00	630,00
SAF11	4,50	1,90	0,00	1,00	127,30	36,40	24,00	5,80	7,73	6,73	87,06	6,30	170,00	50,00	780,00
SAF12	1,70	0,80	0,00	2,20	48,80	7,70	18,00	0,30	4,82	2,62	54,40	5,30	420,00	110,00	470,00
SAF13	3,60	1,60	0,00	1,90	110,70	3,70	21,00	3,00	7,38	5,48	74,27	5,70	370,00	90,00	540,00
SAF14	6,05	3,70	0,00	1,80	246,55	3,55	51,00	6,35	12,19	10,38	85,22	6,15	580,00	120,00	300,00
SAF15	7,00	2,80	0,00	1,80	482,80	236,50	42,50	14,95	12,84	11,03	85,98	6,45	385,00	95,00	520,00
SAF16	6,30	2,00	0,00	1,50	448,65	92,00	56,00	18,60	10,94	9,45	86,30	6,55	305,00	80,00	615,00
SAF17	8,70	2,55	0,00	1,55	175,20	70,50	76,50	35,95	13,25	11,70	88,30	6,35	350,00	85,00	565,00
SAF18	2,45	0,70	0,00	2,85	130,00	2,50	16,00	3,70	6,34	3,48	54,99	5,20	42,00	8,00	50,00
SAF19	3,35	1,10	0,00	2,25	142,00	28,00	23,00	2,05	7,07	4,81	68,14	5,45	27,00	6,50	66,50
SAF20	3,00	0,90	0,00	3,35	102,00	21,00	25,00	5,00	7,51	4,16	55,40	5,05	27,00	7,50	65,50
Média	4,40	1,64	0,34	1,66	154,18	112,75	31,80	10,58	8,43	6,43	72,99	5,72	232,50	58,50	349,00

Ca²⁺ = Cálcio (cmolc.dm⁻³); Mg²⁺ = Magnésio (cmolc.dm⁻³); Al³⁺ = Alumínio (cmolc.dm⁻³); H⁺ = Hidrogênio; K⁺ = Potássio (mg.dm⁻³); P = Fósforo (mg.dm⁻³); MO = Matéria orgânica (g kg⁻¹); Zn = Zinco (mg.dm⁻³); CTC(t) = Capacidade de troca de cátions efetiva (cmolc.dm⁻³); SB = Soma de bases (cmolc.dm⁻³); pH = potencial hidrogeniônico (em H₂O); ARG = argila (g kg⁻¹); LIM = silte (g kg⁻¹); e areia (g kg⁻¹).

O magnésio (Mg²⁺) não apresentou diferença significativas através do teste estatístico, porém, a média nas agroflorestas (1,64 cmolc dm⁻³) foi maior em relação aos ecossistemas naturais (1,2 cmolc dm⁻³) e as pastagens (1,1 cmolc dm⁻³). Os teores de alumínio não difeririam entre si, em média o teor nas pastagens (0,86 cmolc dm⁻³), foi maior em relação à agrofloresta (0,34 cmolc dm⁻³) e ecossistemas

naturais (0,25 cmolc dm⁻³), respectivamente.

A acidez potencial (H⁺+Al³⁺) média foi maior nos ecossistemas naturais (4,4 cmolc dm⁻³), onde NAT10 (Piracanjuba) representa o alto nível encontrado com 8,8 cmolc dm⁻³. Os SAFs apresentaram média de 1,7 cmolc dm⁻³, com o maior nível 3,3 cmolc dm⁻³ no SAF20 (Piracanjuba – 2). As pastagens com média de 1,4 cmolc dm⁻³, onde a

PAS6 (Niquelândia).

O potássio (K^+) em média foi maior nos SAFs com $154,2 \text{ mg dm}^{-3}$, onde o nível mais alto foi de $482,8 \text{ mg dm}^{-3}$ (SAF15 – Hidrolândia). Seguido pelas pastagens com média de $143,0 \text{ mg dm}^{-3}$, e a pastagem 1 com $486,8 \text{ mg dm}^{-3}$ (Ceres - GO) com maior teor de potássio em todos os usos do solo. Os ecossistemas naturais em média $116,9 \text{ mg dm}^{-3}$, onde a NAT10 (Piracanjuba) apresentou $180,0 \text{ mg dm}^{-3}$. O fósforo (P-) em média foi maior nos SAFs com $112,8 \text{ mg dm}^{-3}$, onde o nível alto 1540 mg dm^{-3} (SAF6 – Ceres - GO). Seguido pelas pastagens com $16,1 \text{ mg dm}^{-3}$, à nível muito alto 116 mg dm^{-3} (PAS1 - Ceres - GO). E por fim, os ecossistemas naturais com média de $13,2 \text{ mg dm}^{-3}$, onde (NAT7 – Hidrolândia) apresentou nível muito alto 108 mg dm^{-3} .

Os ecossistemas naturais em média de matéria orgânica (MO) foram bem superiores com $36,5 \text{ g kg}^{-1}$, onde o NAT6 (Santo Antônio de Goiás) com 57 g kg^{-1} . Seguido os SAFs com os maiores teores de matéria orgânica (MO) no solo de $76,5 \text{ g kg}^{-1}$ (SAF17), 56 g kg^{-1} (SAF16), 51 g kg^{-1} (SAF2). A matéria orgânica média nas pastagens foi de $21,6 \text{ g kg}^{-1}$, onde a maior quantidade foi na PAS2 (Ceres – GO) com 30 g kg^{-1} .

Os resultados das médias dos níveis de zinco (Zn^{2+}) não diferiram, mas foram superiores nos SAFs com $10,6 \text{ cmolc dm}^{-3}$. Seguidos pela média das pastagens com $4,1 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e ecossistema nativo $4,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$, respectivamente. Os valores da soma de bases (SB) diferiram entre os usos do solo,

onde nas agroflorestas à média foi superior ($6,4 \text{ cmolc dm}^{-3}$), em relação ao ecossistema natural ($4,6 \text{ cmolc dm}^{-3}$) e pastagem ($4,2 \text{ cmolc dm}^{-3}$).

A capacidade de troca de cátions potencial (CTC) apresentou maior média de $9,02 \text{ cmolc dm}^{-3}$ no ecossistema natural, com a NAT5 (Goianira) apresentando $17,8 \text{ cmolc dm}^{-3}$. Seguido por agroflorestas (SAFs) com média de $8,43 \text{ cmolc dm}^{-3}$, onde a maior CTC potencial foi encontrado no SAF17 (Brasília / Raiz) com $13,3 \text{ cmolc dm}^{-3}$. A saturação por bases (V%) com maiores médias nos SAFs com $77,9\%$, onde o SAF6 (Ceres – GO) com $90,7\%$, seguido por pastagens média de $72,4\%$, com a PAS1 (Ceres – GO) com $89,1\%$, e os ecossistemas naturais com média de $48,1\%$, onde a NAT5 (Goianira - GO) com $94,5\%$.

Os resultados das médias dos atributos físicos não mostraram diferenças estatísticas, os teores de argila foram superiores nas pastagens com $362,5 \text{ g kg}^{-1}$, onde as pastagens PAS2 (Ceres) e PAS4 (Cristianópolis) com 410 g kg^{-1} , respectivamente. Seguido por agroflorestas com média de $362,5 \text{ g kg}^{-1}$, o SAF7 (Ceres) apresentou maior quantidade de argila com $480,0 \text{ g kg}^{-1}$. E os ecossistemas naturais com média de $151,5 \text{ g kg}^{-1}$, onde a vegetação nativa (NAT6 - Santo Antônio de Goiás) apresentou $530,0 \text{ g kg}^{-1}$. Os resultados das médias da areia não mostraram diferenças significativas, os valores foram superiores foram nas pastagens com $546,3 \text{ g kg}^{-1}$, seguidos por agroflorestas com $349,0 \text{ g kg}^{-1}$ e ecossistemas naturais $212,3 \text{ g kg}^{-1}$.

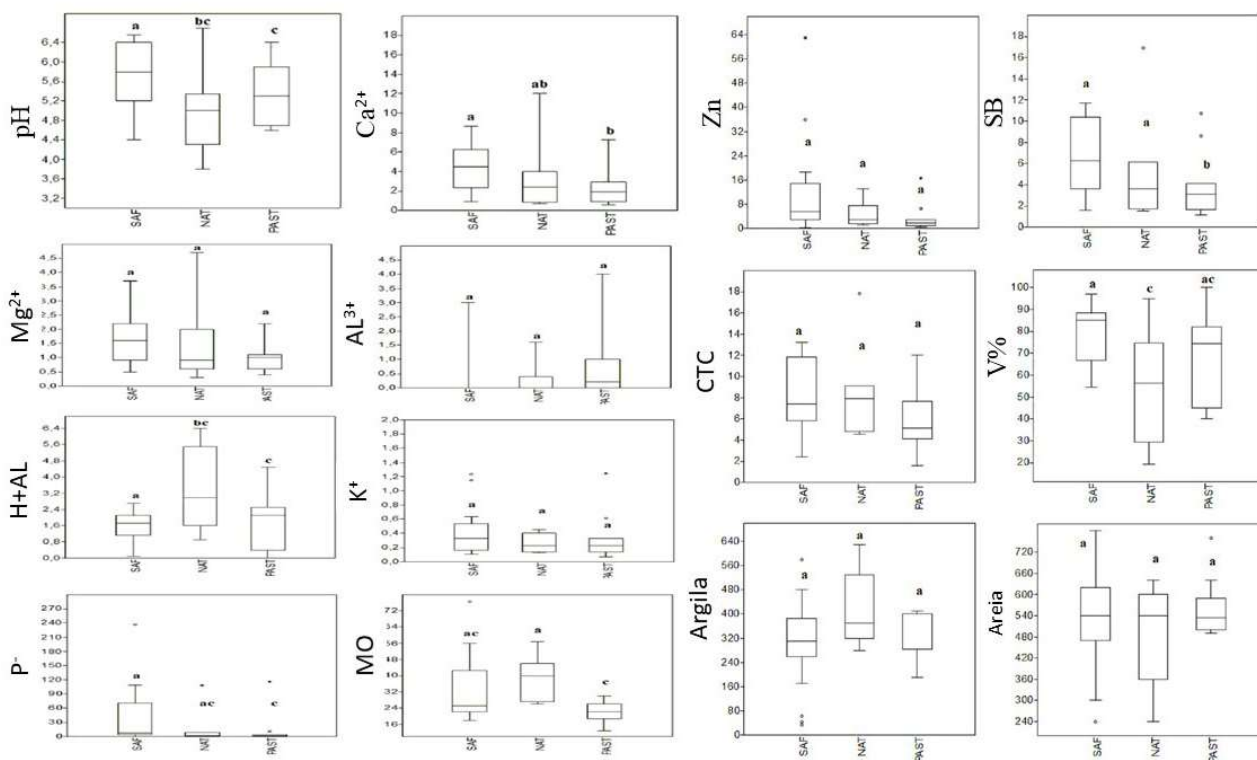


Figura 4. Box-plots das variáveis (pH em H_2O ; Ca; Mg; Al; $H^+ + Al^{3+}$ em cmolc/dm^{-3} ; K; P e MO, Zn, SB, CTC, V%, argila e areia) que indicam diferenças significativas estatisticamente entre os teores de todos os atributos do solo dos SAFs da ecossistemas naturais e a pastagem, pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis ($p < 0,05$).

Figure 4. Box-plots of the variables (pH in H_2O ; Ca; Mg; Al; $H^+ + Al^{3+}$ in cmolc dm^{-3} ; K; P and MO, Zn, SB, CTC, V%, clay and sand) that indicate statistically significant differences between the contents of all soil attributes of the SafSAFs of natural ecosystems and pasture, by the non-parametric Kruskal-Wallis test ($p < 0.05$).

3.6. Análise de regressão

A primeira função estatística de regressão linear múltipla,

utilizou todas as 13 covariáveis (pH em H_2O , fósforo (P), potássio trocável (K^+), cálcio trocável (Ca^{2+}), magnésio

trocável (Mg^{2+}), acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$), alumínio trocável (Al^{3+}), areia, argila, capacidade de troca catiônica (CTC), soma de bases (SB), saturação por bases ($V\%$) e Zinco (Zn^{2+}) em relação a variável dependente matéria orgânica (MO). Para o cálcio (Ca^{2+}), o valor do coeficiente de

determinação (R^2) de ajuste do modelo foi de 0,53 ($p < 0,05$). O magnésio (Mg^{2+}), o valor de R^2 apresentou ajuste do modelo de 0,53 ($p < 0,05$). As funções da soma de bases (SB) e capacidade de troca catiônica potencial (CTC) apresentaram valores 0,56 ($p < 0,05$) e 0,59 ($p < 0,05$) (Figura 5).

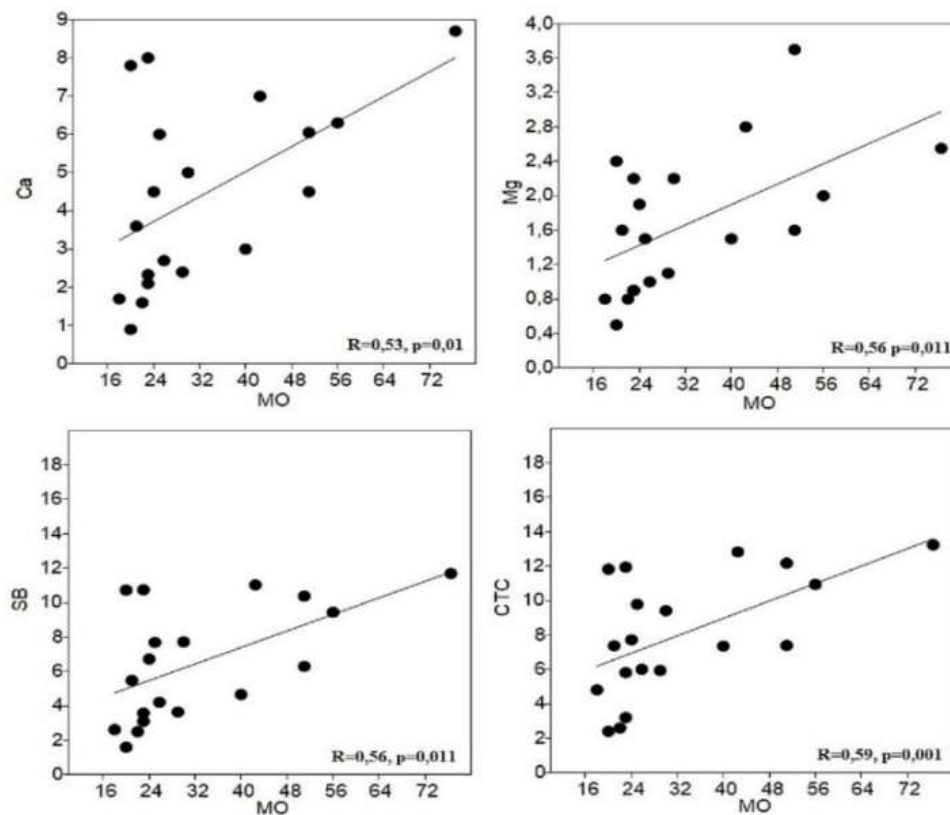


Figura 5. Dispersão entre os valores estimados e observados, para os modelos com melhor R^2 da validação.
Figure 5. Dispersion between estimated and observed values, for the models with the best validation R^2 .

4. DISCUSSÃO

Conforme Ewert et al. (2016) todos podem ser descritos como SAFs multistrata ou agroflorestas, os sistemas de cultivo mais estabelecido em regiões tropicais, que apresentam como principal característica a configuração do dossel em múltiplos andares, ou estratos, como ocorre nos ecossistemas de florestas naturais, onde as plantas tolerantes à sombra ocupam estratos inferiores e, as mais dependentes da incidência direta de luz solar, emergem aos estratos superiores (Figura 6).

Vários são fatores que influenciam o desenvolvimento de um agroecossistema, adubação, calagem, manejo, as classes de solos, certamente são exemplos, porém, neste estudo observamos que as agroflorestas mais antigas, com idades superiores aos 3 anos, estão correlacionadas com maiores teores de fósforo (P), magnésio (Mg^{2+}), cálcio (Ca^{2+}), potássio (K^+), pH e MO (matéria orgânica). Com o aumento da quantidade e qualidade da serrapilheira nas agroflorestas, os resíduos orgânicos são transformados pela ação da microbiota até a matéria orgânica coloidal e amorfa, que compreende as substâncias húmicas, que apresentam de 100 a 1000 vezes mais carga negativa que a parte mineral do solo, e assim esta carga líquida é influenciada pelo pH do solo, que, por sua vez, é influenciado pelo tampão exercido pela matéria orgânica (KERBAUY, 2008).

As substâncias húmicas, representam a maior fonte de

cargas negativas, devido ao grau elevado de decomposição dos minerais, os metais alcalinos terrosos são lixiviados, restando como remanescentes os óxidos de ferro e o alumínio quase sem cargas, é assim que a matéria orgânica condiciona a CTC (capacidade de troca de cátions) através da dissociação dos grupos COOH e OH (KERBAUY, 2008).

Estes efeitos positivos nos teores de nutrientes, elevação do pH, como decréscimo nos teores de alumínio (Al^{3+}) e acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) nos SAFs, estão ligados a mineralização da matéria orgânica no solo. Esta auxilia no incremento da capacidade de troca catiônica (CTC) e soma de bases, causando assim, maior liberação de cátions e ânions trocáveis que são adsorvidos pelos coloides do solo. Tal explicação deste comportamento foi abordada por Da Ros et al. (2017), ao mencionarem que os minerais secundários e as frações da matéria orgânica apresentam-se, normalmente, como coloides, e são os principais responsáveis pela atividade química dos solos.

A ausência de perturbação do solo, cobertura com de material orgânico e o tempo relativamente curto (3 anos) de implantação de agrofloresta resulta no acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo e o acúmulo de nutrientes em superfície, é também, em decorrência da deposição de grande quantidade, de resíduos provenientes da parte aérea das frutíferas, e outras espécies vegetais que são manejadas na poda, nos sistemas agroflorestais (DA SILVA et al., 2011).

Por isso é necessária a manutenção da matéria orgânica no solo (Figura 7), pois, além dos benefícios para a estrutura, ela

atua na ciclagem dos nutrientes do solo (DA SILVA et al., 2020).



Figura 6. Estratificação vertical de um SAF multiestrata (agrofloresta biodiversa) com dois anos no Cisco da Felicidade em Piracanjuba, Goiás. a – vista externa da agrofloresta, com estrato baixo por culturas agrícolas herbáceas e gramíneas (açafraão), café, citrus. Estrato médio ocupado por culturas como a banana, mamão e amora. Estrato e emergente alto ocupado pela mangueira, goiaba, guapuruvu e Eucalipto. b – vista interna do SAF, com culturas agrícolas ocupando o estrato baixo (inhame), café e açaí. Estrato médio: banana e mamão.
 Figure 6. Vertical stratification of a multi-strata AFS (biodiverse agroforest) with two years at Cisco da Felicidade in Piracanjuba, Goiás. a – External view of the agroforestry, with a low layer of herbaceous and grassy crops (saffron), coffee, citrus. Medium stratum occupied by crops such as bananas, papaya and blackberry. Upper stratum and emergent occupied by mango, guava, guapuruvu and eucalyptus. b – internal view of the AFS, with agricultural crops occupying the lower stratum (yam), coffee and açai. Medium layer: banana and papaya.

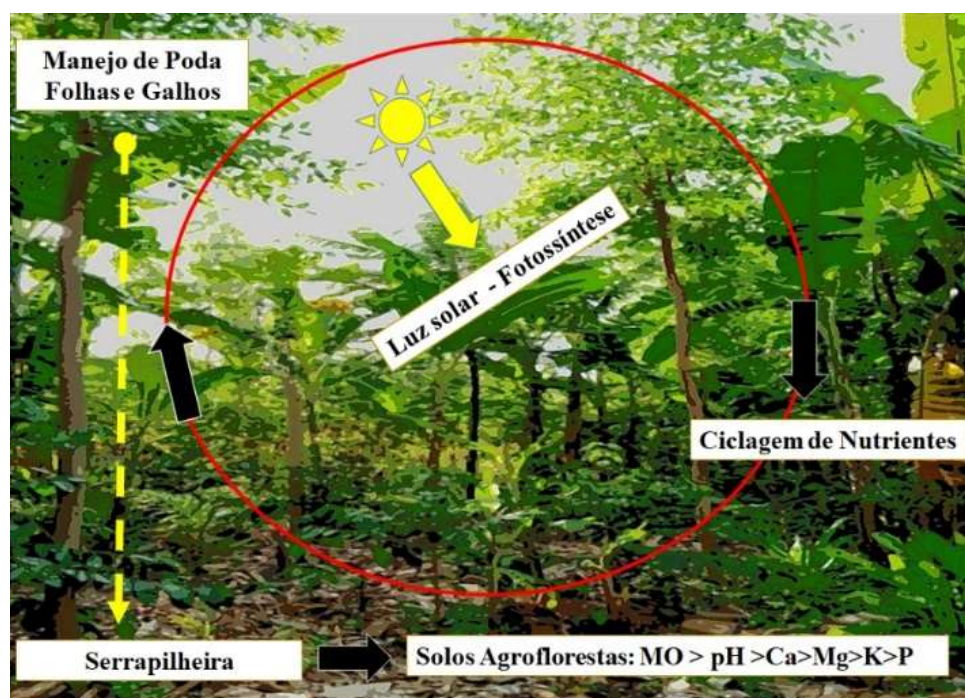


Figura 7. A contínua manutenção da cobertura do solo com matéria orgânica promove a intensificação da ciclagem de nutrientes.
 Figure 7. The continuous maintenance of soil cover with organic matter promotes the intensification of nutrient cycling.

Avaliando os teores dos elementos físico-químicos para a camada superficial dos solos (0-20cm) amostradas nas agroflorestas, ecossistemas naturais e pastagens, pode ser observado que os SAFs apresentaram maiores níveis de fertilidade das áreas avaliadas. Em sistemas agroflorestais de Rondônia, Menezes et al. (2008) observaram maiores valores

de pH, Ca^{2+} e Mg^{2+} , quando comparados aos solos das vegetações nativas remanescentes adjacentes, atribuídos ao aporte de nutrientes que restaram da queima anterior da floresta.

As condições edáficas são fortemente influenciadas pelo manejo dos SAFs e pela composição e arranjo das espécies

inseridas. Os teores de P⁻ foram considerados altos para os SAF's, sendo que, este mineral é adicionado na solução da adubação orgânica, via rochas fosfatadas moídas (termofosfato). Nas vegetações nativas e nas pastagens apresentaram teores adequados, em função da sua baixa mobilidade no solo (DALCHIAVON et al., 2017).

Em plantio com *Acacia mangium*, em solos degradados Schiavo, Martins & Rodrigues (2009), também encontrou o aumento do P⁻ disponível em um período relativamente curto (3 anos), devido a um efeito combinado de ciclagem de nutrientes e fixação reduzido de P resultante de um maior incremento de matéria orgânica.

Os maiores teores de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) das agroflorestas e da vegetação nativa (ecossistemas naturais), são influenciados diretamente pela deposição da matéria orgânica (MO) na camada superficial do solo (0-20cm), devido a liberação desses nutrientes pela ação de organismos decompositores que usam os restos orgânicos como alimento, também pelo fato da MO aumentar a capacidade de troca catiônica, e consequentemente, uma maior adsorção desses nutrientes quando disponíveis no solo (Santos, 2018).

Conforme Martins et al. (2021) em estudo com estoque de nutrientes na biomassa e no solo em formações florestais no Cerrado, a quantidade e qualidade da serrapilheira é a principal fonte de transferência de nitrogênio (N), cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺) para o solo, assim como o fósforo (P⁻), já que mais de 90% da transferência desse elemento tem origem da mesma fonte.

Os altos teores de nutrientes (as bases trocáveis Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺) verificados nos solos sob os SAF's e ecossistemas naturais, em relação as pastagens (Figura 4), estão associados à alta atividade de decomposição realizada pela biota do solo que este ambiente proporciona, conforme Lima (2008). Além disso, a presença do componente arbóreo nesses sistemas promove maior deposição de material vegetal (raízes, galhos, folhas) que é mineralizado, influenciando as reações químicas no solo e contribuindo para a melhoria dos parâmetros de fertilidade do solo sob SAF e vegetação nativa (CAMPANHA et al., 2007).

Em estudo sobre o estoque de nutrientes na serrapilheira acumulada em quatro tipos de vegetação no Cerrado em Goiás, De Sousa Carvalho et al. (2019) encontrou maiores estoque de nutrientes de cálcio (176,8 kg ha⁻¹), magnésio (28,4 kg ha⁻¹), potássio (11,9 kg ha⁻¹) e fósforo (3,9 kg ha⁻¹) em Área de Preservação Permanente em comparação com Cerrado Sentido Restrito, povoamentos de Eucalyptus e Pinus. Tais resultados, corroboram os resultados obtidos neste estudo, onde em usos do solo com maior quantidade e qualidade (SAFs e Ecossistemas naturais) de material orgânico sobre o solo apresentam maiores teores de macronutrientes (MO, pH, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e P⁻) em relação a formações abertas.

As formações mais abertas, como pastagem, por exemplo, podem sofrer também o processo de foto decomposição, a partir da queima da matéria orgânica pela luz solar, reduzindo assim os componentes estocados, ou pelo menos modificando o perfil dos componentes a serem estocado. De acordo com Cavalcante et al. (2007), as áreas com maiores teores de matéria orgânica, fósforo, potássio e capacidade de troca de cátions, foram áreas sob diferentes manejos (agroecossistemas), ecossistemas naturais (Cerrado), em relação a áreas cultivadas (pastagens e monoculturas).

Isso se deve ao acúmulo de serapilheira que ocorre em quantidade mais elevadas nas áreas mais conservadas quando comparado aos outros sistemas. No referido estudo, quando

realizado o plantio direto e convencional, os valores de P⁻, K⁺ e capacidade de troca catiônica eram maiores, onde os teores de fósforo e potássio aumentam na superfície e diminuem em camadas mais profundas, conforme De Sousa Carvalho et al. (2019), e observado nesse estudo, onde as agroflorestas acumulam maiores teores de nutrientes no solo, em relação aos ecossistemas naturais e pastagens.

O entendimento de como a matéria orgânica (MO) influencia positivamente agroecossistemas agrícolas é chave para modificação da forma de produção agrícola atual. O aumento da MO está diretamente ligado ao estoque nutricional que será disponibilizado para o solo. Os agroecossistemas que se baseiam nessa orientação como pomares, sistemas agroflorestais, assim como sistemas agrícolas tradicionais como de populações indígenas brasileiras, são agroecossistemas que persistem por muitos anos e melhoram suas características de fertilidade de solo, conciliado a produção agrícola (DE SOUSA CARVALHO et al., 2019).

Em relação à vegetação nativa (ecossistemas naturais), apresentarem teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ inferiores (Tabela 4, Figura 4) comparados aos SAFs, uma vez que o ecossistema natural, um ambiente em equilíbrio, o que está disponível no solo é provável que esteja sendo absorvido pela vegetação sem promover maior disponibilização desses nutrientes para a solução do solo, corroborado por Barreto et al. (2006).

A análise de regressão linear (Figura 5) confirmou os resultados apontados pela PCA, mostrando que a matéria orgânica dos SAFs se correlaciona com maiores teores de cálcio (Ca²⁺), (Mg²⁺), capacidade de troca de cátions potencial (CTC) e soma de bases (SB). Na prática, significa que os nutrientes inorgânicos uma vez não absorvidos pelas espécies agroflorestais cultivadas, são então devolvidos na forma orgânica através da poda e deposição de biomassa fresca ao redor das espécies agroflorestais (SANTOS et al., 2021).

A maximização da matéria orgânica também pode reduzir as necessidades externas de fósforo. A intensificação das atividades microbianas e da fauna pode aumentar a imobilização do P⁻ na massa microbiana e, subsequentemente, as taxas de mineralização do P orgânico (ZAGO et al., 2020).

Conforme observado por Vieira et al. (2006), o fornecimento contínuo da matéria orgânica no solo pelos sistemas agroflorestais, corrobora os resultados obtidos na regressão linear, onde observou-se uma correlação com o aumento da capacidade de troca de cátions (CTC). Além disso, os autores ainda acrescentam, que esse aporte implica também em melhorias das qualidades físicas (densidade, formação de agregados, macro e microporosidade, retenção de água, proteção contra erosão etc.), químicas (liberação e ciclagem de nutrientes, redução da lixiviação) e biológicas do solo.

5. CONCLUSÕES

As agroflorestas com idade superior aos 3 anos apresentando estrutura florestal, com sombreamento da área e maior quantidade de matéria orgânica com a diversificação da serrapilheira contribuem com a melhoria da qualidade do solo. As agroflorestas mais antigas, que já apresentam estruturas florestais, com sombreamento da área, e aporte de serrapilheira constante no solo, apresentaram maior qualidade do solo, correlacionando-se com maiores teores de fósforo (P⁻), magnésio (Mg²⁺), cálcio (Ca²⁺), potássio (K⁺), pH e MO.

A vegetação nativa apresentou forte correlação com a acidez potencial. Já as pastagens demonstraram maior acúmulo de alumínio (Al^{3+}). Os principais atributos de solo que se diferenciaram em Sistemas Agroflorestais no Cerrado foram o pH, Ca^{2+} , H+Al, K^+ , P, MO, Zn e V%. No geral, as médias das variáveis de solo analisadas foram maiores para os SAFs (agroflorestas) para as áreas de ecossistema naturais e pastagens, porém, apresenta bastante variação entre os locais.

O fósforo (P) foi o nutriente que mais teve variação nos diferentes tipos de cobertura, sendo influenciado pela quantidade de matéria orgânica no solo e o manejo dos diferentes usos do solo (SAFs, pastagem e vegetação nativa).

6. REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M. A. Agroecologia: a ciência do manejo de recursos naturais para agricultores pobres em ambientes marginais. **Agricultura, Ecossistemas e Meio ambiente**, v. 93, n. 1-3, p. 1-24, 2002. Acesso: https://arca.furg.br/images/stories/producao/agroecologia_short_port.pdf
- APOLINÁRIO, V. X.; DUBEUX JR, J. C.; LIRA, M. A.; FERREIRA, R. L.; MELLO, A. C.; COELHO, D. L.; SAMPAIO, E. V. Decomposition of arboreal legume fractions in a silvopastoral system. **Crop Science**, v. 56, n. 3, p. 1356-1363, 2016. <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci2015.09.0588>
- BARRETO, A. C.; LIMA, F. H. S.; DOS SANTOS FREIRE, M. B. G.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, F. J. Características químicas e físicas de um solo sob floresta, sistema agroflorestal e pastagem no sul da Bahia. **Revista Caatinga**, v. 19, n. 4, p. 415-425, 2006.
- CAMPANHA, M. M.; SANTOS, R. H. S.; FREITAS, G. B. D.; MARTINEZ, H. E. P.; JARAMILLO-BOTERO, C.; GARCIA, S. Análise comparativa das características da serrapilheira e do solo em cafezais (*Coffea arabica* L.) cultivados em sistema agroflorestal e em monocultura, na Zona da Mata MG. **Revista Árvore**, v. 31, p. 805-812, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000500004>
- CAVALCANTE, E. G. S.; ALVES, M. C.; SOUZA, Z. M. D.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1329-1339, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600012>
- CHEIN, F. **Introdução aos modelos de regressão linear: um passo inicial para compreensão da econometria como uma ferramenta de avaliação de políticas públicas**. Brasília: Escola Nacional de Administração Pública - ENAP, 2019. 77p.
- CRIPPA, M.; SOLAZZO, E.; GUIZZARDI, D.; MONFORTI-FERRARIO, F.; TUBIELLO, F. N.; LEIP, A. J. N. F. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. **Nature Food**, v. 2, n. 3, p. 198-209, 2021.
- CROWTHER, T. W.; VAN DEN HOOGEN, J.; WAN, J.; MAYES, M. A.; KEISER, A. D.; MO, L.; MAYNARD, D. S. The global soil community and its influence on biogeochemistry. **Science**, v. 365, n. 6455, e550, 2019. <http://dx.doi.org/10.1126/science.aav0550>
- DA ROS, C. O.; DA SILVA, V. R.; SILVESTREIN, T. B.; DA SILVA, R. F.; PESSOTTO, P. P. Disponibilidade de nutrientes e acidez do solo após aplicações sucessivas de água residuária de suinocultura. **Revista Brasileira de Tecnologia Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 35-44, 2017.
- DA SILVA, D. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; DE SOUZA, F. S.; MARTINS, S. G.; MACEDO, R. L. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011. <https://doi.org/10.7867/1983-1501.2011v13n1p77-86>
- DA SILVA, G. R.; PAULETTO, D.; SILVA, A. R. Dinâmica sazonal de nutrientes e atributos físicos do solo em sistemas agroflorestais. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 63, e3198, p. 1-9, 2020. <https://doi.org/10.22491/rca.2020.3198>
- DALCHIAVON, F. C.; DAL BEM, E. A.; DE PASSOS, M.; SARTO, M. D.; MONTANARI, R.; KANEKO, F. H. Relações da produtividade de cana-de-açúcar com atributos químicos de um Argissolo. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 756-769, 2017. <https://doi.org/10.19084/RCA17061>
- DE SOUSA CARVALHO, H. C.; FERREIRA, J. L. S.; CALIL, F. N.; DE MELO, C. S. Estoque de nutrientes na serrapilheira acumulada em quatro tipos de vegetação no Cerrado em Goiás, Brasil. **Ecologia e Nutrição Florestal**, v. 7, e06, 2019. <http://dx.doi.org/10.5902/2316980X37296>
- DE SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. 416p.
- DIAS-FILHO, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2014. 36p. (Documentos, 402)
- DONAGEMMA, G. K.; CAMPOS, D. V. B. de; CALDERANO, S. B.; TEIXEIRA, W. G.; VIANA, J. H. M. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p. (Documentos, 132)
- EWERT, M.; VENTURIERI, G. A.; STEENBOCK, W.; SEOANE, C. E. S. Sistemas agroflorestais multiestrata e legislação ambiental brasileira: desafios e soluções. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 36, p. 95-114, 2016.
- GUERRINI, I. A.; DA SILVA, J. P.; LOZANO SIVISACA, D. C.; DE MORAES, F. G.; PUGLLA, C. A. Y.; DE MELO SILVA NETO, C.; GANGA, A. Evaluating carbon stocks in soils of fragmented Brazilian Atlantic Forests (BAF) based on soil features and different methodologies. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, e10007, 2024. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60629-y>
- HAMMER, Ø.; HARPER, D. A.; RYAN, P. D. Past: Paleontological statistics software package for education and data analysis. **Palaeontologia Electronica**, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.
- HONGYU, K.; SILVA, F. D. L.; OLIVEIRA, A. D.; SARTI, D. A.; ARAÚJO, L. D.; DIAS, C. D. S. Comparação entre os modelos AMMI e GGE-Biplot para os dados de ensaios multi-ambientais. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 33, n. 2, p. 139-155, 2015.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 2 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 470p.
- KUMAR, S.; ANDERSON, S. H.; UDAWATTA, R. P. Agroforestry and grass buffer influences on macropores measured by computed tomography under grazed pasture systems. **Soil Science Society of America Journal**, v.

- 74, n. 1, p. 203-212, 2010. <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0409>
- LEITE, E. M.; DINIZ, A. A.; CAVALCANTE, L. F.; GHEYI, H. R.; CAMPOS, V. B. Redução da sodicidade em solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 2, p. 110-116, 2010.
- MARTINS, T. O.; SILVA-NETO, C. M.; SIQUEIRA, K. N.; CARVALHO, H. C. S.; MORAES, D. C.; SILVA, P. H. F.; CALIL, F. Accumulated litter and nutrient stock in biomass and in soil in forest formations in the Cerrado. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 129, p. 1-8, 2021. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n129.18>
- MENEZES, J. M. T.; VAN LEEUWEN, J.; VALERI, S. V.; CRUZ, M. C. P. D.; LEANDRO, R. C. Comparação entre solos sob uso agroflorestal e em florestas remanescentes adjacentes, no norte de Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 893-898, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000200043>
- MICCOLIS, A.; PENEIREIRO, F. M.; MARQUES, H. R.; VIEIRA, D. L.; ARCO-VERDE, M. F.; HOFFMANN, M. R.; PEREIRA, A. V. **Restauração Ecológica com Sistemas Agroflorestais: como conciliar conservação com produção**. Brasília, DF: Instituto Sociedade, População e Natureza, 2016. 266p.
- MINASNY, B. et al. Soil carbon 4 per mille. **Geoderma**, v. 292, p. 59-86, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>
- NAIR, P. K. R.; KUMAR, B. M.; NAIR, V. D. **An Introduction to Agroforestry: Four Decades of Scientific Developments**. 2 ed. Dordrecht, The Netherlands Cham: Springer. 2021. p. 3-20. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-75358-0>
- NETO, N. E. C.; MESSERSCHMIDT, N. M.; STEENBOCK, W.; MONNERAT, P. **F. Agroflorestando o mundo de facão a trator**. Petróbrás Ambiental. Barra do Turvo, 2016. 91p.
- PEREIRA, O.; FERREIRA, L.; PINTO, F.; BAUMGARTEN, L. Assessing pasture degradation in the Brazilian Cerrado based on the analysis of MODIS NDVI time-series. **Remote Sensing**, v. 10, e1761, 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10111761>
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel Editora, 2002. 552p.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. rev. amp. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2018. 356p.
- SANTOS, L. A. C.; DE SOUZA, W. G.; DE SOUZA, M. M. O.; NETO, C. D. M. SIndicadores socioambientais em sistemas agroflorestais no Cerrado goiano. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 1, p. 54-65, 2021. <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0006>
- SCHIAVO, J. A.; MARTINS, M. A.; RODRIGUES, L. A. Avaliação nutricional de mudas de *Acacia mangium*, *Sesbania virgata* e *Eucalyptus camaldulensis* inoculadas com fungos micorrízicos, em casa-de-vegetação e em cava de extração de argila. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, p. 701-707, 2009. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i4.1364>
- ZAGO, L. M. S.; RAMALHO, W. P.; DE MELO SILVA-NETO, C.; CARAMORI, S. S. Biochemical indicators drive soil quality in integrated crop–livestock–forestry systems. **Agroforestry Systems**, v. 94, p. 2249-2260, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00547-w>

Agradecimentos: O primeiro autor deste trabalho agradece a FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás) pela concessão da bolsa de doutorado. O mesmo autor agradece ao PPG em Recursos Naturais do Cerrado (RENAC) da Universidade Estadual de Goiás. O autor orientador agradece também a continuidade da bolsa de produtividade em Pesquisa do CNPq.

Contribuição dos autores: 1) T.O.M. – metodologia, investigação ou coleta de dados, redação (original), redação (revisão e edição); F.J.S.C. – metodologia, investigação ou coleta de dados, redação (original), redação (revisão e edição); M.J.P. - metodologia, investigação ou coleta de dados, redação (original); L.A.C.S. - metodologia, investigação ou coleta de dados, redação (original); R.P.T. - metodologia, investigação ou coleta de dados, redação (original); B.A.M. - conceitualização, redação (original), redação (revisão e edição), F.N.C. - conceitualização, metodologia, investigação, S.S.C. – conceitualização, metodologia, investigação ou coleta de dados, C.M.S.N. – conceitualização, metodologia, investigação ou coleta de dados, administração ou supervisão, redação (original), redação (revisão e edição).

Financiamento: Não aplicável.

Revisão por comitê institucional: Não aplicável.

Comitê de Ética: Não aplicável.

Disponibilidade de dados: Os dados desta pesquisa poderão ser obtidos mediante solicitação ao autor correspondente via e-mail.

Conflito de interesses: Os autores declaram não haver conflito de interesses.