



UNIVERSIDAD E FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E MEIO
AMBIENTE

AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS BIODIVERSOS E
INTERAÇÕES COM A DIVERSIDADE VEGETAL.

MÁRCIO RODRIGUES SERRANO

Dourados - MS

2021

MÁRCIO RODRIGUES SERRANO

**AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM
SISTEMAS AGROFLORESTAIS BIODIVERSOS E
INTERAÇÕES COM A DIVERSIDADE VEGETAL.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados – Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Biodiversidade e Meio Ambiente.
Área de Concentração: Conservação dos Recursos Naturais

Orientador: Prof. Dr. Milton Parron Padovan

Dourados - MS

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

S187a	<p>Serrano, Márcio Rodrigues.</p> <p>Avaliação de serviços ecossistêmicos em sistemas agroflorestais biodiversos e interações com a diversidade vegetal. / Márcio Rodrigues Serrano. – Dourados, MS: UFGD, 2021.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Milton Parron Padovan</p> <p>Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Uso do solo 2. Manejo agroflorestal. 3. Tecnologias de emissão negativas. 4. NDVI. I. Título.</p>
-------	--

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

“AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS
BIODIVERSOS E INTERAÇÕES COM A DIVERSIDADE VEGETAL”

POR

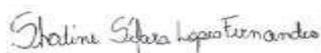
MÁRCIO RODRIGUES SERRANO

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE
DOURADOS (UFGD), COMO PARTE DOS REQUISITOS EXIGIDOS PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM BIODIVERSIDADE E MEIO AMBIENTE -
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: “CONSERVAÇÃO DOS RECURSOS NATURAIS”.



PROF. DR. MILTON PARRON PADOVAN

ORIENTADOR – EMBRAPA



PROF.^a DR.^a SHALINE SÉFARA LOPES FERNANDES

MEMBRO TITULAR – UEMS



PROF.^a DR.^a ZEFA VALDIVINA PEREIRA

MEMBRO TITULAR – UFGD

Aprovado em 28 de maio de 2021.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha mãe
Mirian e minhas filhas Carolina,
Giovanna e Isabella.

AGRADECIMENTOS

Ao meu amigo Sebastião José dos Santos, pelo suporte espiritual.

Ao meu orientador, Professor Doutor Milton Parron Padovan, pelo compartilhamento de saberes, confiança, apoio e entusiasmo para realização desta pesquisa.

Aos amigos de campo e laboratório da Embrapa agropecuária oeste.

Ao fiel irmão escoteiro Luciano Teixeira de Oliveira pela motivação e orientação.

À amiga Vivian Tieme pelas obras de arte que ilustraram esse trabalho.

À Universidade Federal da Grande Dourados.

Ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Meio Ambiente e aos professores que contribuíram em minha formação.

Aos anticorpos de gaia membro da comunidade RIHU.

Aos amigos do L.A.B.R.A.

A todos Guerreiros Regueiro.

À Embrapa Agropecuária Oeste pela estrutura laboratorial oferecida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que de alguma maneira colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

EPÍGRAFE

“Devemos SER as transformações

que desejamos VER no Mundo”

(Mahatma Gandhi)

গোমতিবন্দিত্তি

RESUMO

A janela de tempo para limitar o aquecimento global em até 2°C está acabando. Já é consenso que sistemas agroflorestais (SAF) são alternativas viáveis para a mitigação do clima, pois produzem uma gama de serviços ecossistêmicos (SE). Quantificar esses serviços pode auxiliar a tomada de decisões em manejo e formulação de políticas públicas de incentivo para o emprego em larga escala do SAF. Este estudo avaliou os serviços de regulação e suporte em três SAFs biodiversos, um fragmento de mata nativa (MN) e um plantio convencional (PC) como referências. A partir de coletas de campo, foram estimados os estoques de carbono na serapilheira e carbono orgânico do solo (COS) até um metro de profundidade, avaliada a microbiologia do solo como indicador de qualidade e proposto um modelo alométrico para estimativas não destrutivas da biomassa microbiana do solo (C-BMS) através de geoprocessamento empregando o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI). O SAF3 produziu um estoque anual médio de 5,21 tC/ha na serapilheira, 1,4 tC/ha a mais que a MN. No SAF2, a cobertura do solo com restos de podas urbanas e *biochar* (matéria orgânica vegetal pirolisada), contribuiu para o estoque de 479,44 tC/ha no solo com maior concentração entre 0 e 15cm de profundidade. O SAF1 ($p=0,03$) e o SAF2 ($p=0,04$) diferiram estatisticamente da MN com valores mais altos de COS na profundidade de 50-100cm. O SAF3 ($p=0,5809$) foi o que apresentou os valores de C-BMS mais próximos aos da MN, sugerindo que o aproveitamento do estrato herbáceo nas entrelinhas das árvores tenha garantido o aporte de matéria orgânica de qualidade no solo. Com o coeficiente de correlação de Pearson de 0,44 entre NDVI e C-BMS, o modelo alométrico ($C-BMS = -180 + 640 \cdot NDVI$) para predição do C-BMS apresentou $R^2_{ajustado}=0,18$. Os resultados deste estudo revelam que os SAFs biodiversos podem produzir SE de regulação e suporte tanto quanto ecossistemas naturais. Os resultados podem apoiar a tomadas de decisão na escolha do tipo de manejo em SAF e formulação de política públicas para acelerar o processo de transição agroecológica.

Palavras-chave: Uso do solo, manejo agroflorestal, tecnologias de emissão negativas, NDVI.

Evaluation of ecosystem services in biodiverse agroforestry systems and interactions with plant diversity.

ABSTRACT

The time window for limiting global warming to 2°C is running out. There is already a consensus that agroforestry systems (SAF) are viable alternatives for climate mitigation, as they produce a range of ecosystem services (SE). Quantifying these services can help decision-making in management and the formulation of public policies to encourage large-scale employment of the SAF. This study evaluated the regulation and support services in three biodiverse AFSs, a native forest fragment (MN), and a conventional plantation (PC) as references. From field collections, litter carbon stocks and soil organic carbon (COS) were estimated up to one meter deep, soil microbiology was evaluated as a quality indicator and an allometric model was proposed for non-destructive estimates of microbial biomass (C-BMS) through geoprocessing using the normalized difference vegetation index (NDVI). SAF3 produced an average annual stock of 5.21 tC/ha in the litter, 1.4 tC/ha more than MN. In SAF2, the soil cover with remnants of urban pruning and biochar (pyrolysed vegetable organic matter), contributed to the stock of 479.44 tC/ha in the soil with the highest concentration between 0 and 15 cm in depth. SAF1 ($p=0.03$) and SAF2 ($p=0.04$) differed statistically from MN with higher COS values at depths of 50-100cm. SAF3 ($p=0.5809$) was the one with the closest C-BMS values to those of MN, suggesting that the use of the herbaceous layer between the rows of trees has ensured the contribution of quality organic matter to the soil. With Pearson's correlation coefficient of 0.44 between NDVI and C-BMS, the allometric model ($C-BMS = -180 + 640 \cdot NDVI$) for prediction of C-BMS had adjusted $R^2=0.18$. This study reveals that biodiverse SAFs can produce regulatory and support SEs as well as natural ecosystems. The results can support decision-making in choosing the type of management in SAF and the formulation of public policies to accelerate the agroecological transition process.

Keywords: Land use, agroforestry management, negative emission technologies, NDVI.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	FUNÇÕES E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS.	17
2.2	SISTEMAS AGROFLORESTAIS: ALTERNATIVA PARA MITIGAÇÃO CLIMÁTICA.	20
2.3	CARBONO O ELEMENTO DA VIDA E “VILÃO” DA CRISE CLIMÁTICA.	24
2.4	MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS).	26
2.5	SENSORIAMENTO REMOTO E APLICAÇÕES NA INVESTIGAÇÃO DE SAF.	28
3	OBJETIVOS	30
3.1	OBJETIVO GERAL	30
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	30
4	REFERÊNCIAS	30
5	ARTIGO 1 - Estoque de carbono em sistemas agroflorestais biodiversos: da serapilheira ao solo profundo.	36
5.1	INTRODUÇÃO	38
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	40
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.4	CONCLUSÕES	58
5.5	REFERÊNCIAS	59
6	ARTIGO 2 – Os micróbios do solo gostam de ervas: alimentar a vida do solo sequestra carbono.	64
6.1	INTRODUÇÃO	65
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	66
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
6.4	CONCLUSÕES	79
6.5	REFERÊNCIAS	80
7	ARTIGO 3 – Quantificação da biomassa microbiana do solo por imagens multiespectrais: uma proposta de modelo alométrico.	83
7.1	INTRODUÇÃO	84

7.2	MATERIAL E MÉTODOS	86
7.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	94
7.4	CONCLUSÕES	103
7.5	REFERÊNCIAS	103
8	CONCLUSÃO GERAL	104
9	ANEXOS	10
9.1	LISTA DAS ESPÉCIES ARBUSTIVA E ARBÓREA ENCONTRADAS NAS ÁREAS DE ESTUDO.	105
9.2	META DADOS DAS IMAGENS LANDSAT8.	112
9.3	LISTA DOS ODS.	121
9.4	METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE C-BMS E ATIVIDADE MICROBIANA (C-CO ₂).	122

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os caminhos escolhidos pela humanidade desde a industrialização no fim do século XVIII, onde a mecanização de processos produtivos substituiu a mão de obra humana, visando o lucro, aumentaram as pressões sobre os recursos naturais (STANZIANI, 2013). Inicialmente na Inglaterra e logo depois por toda a Europa, a industrialização possibilitou a consolidação do capitalismo, que com a promessa de riqueza, provocou o êxodo rural e consequentemente a expansão urbana (MARQUES, 2018).

Com expansão das cidades, os impactos em emissões de poluentes nos solos, mares, rios e atmosfera, assim como a alteração da paisagem natural para o avanço agropecuário baseado na produção de *commodities*, mostrou que a capacidade de suportar a vida humana no planeta está no fim, pois existem limites na natureza para a sustentação da produtividade, adaptabilidade e capacidade de renovação dos recursos naturais (RICKLEFS, 2003; BEGON et al., 2007).

Em 1962, Rachel Carson (1907-1964), escritora norte americana, publicou o livro intitulado Primavera Silenciosa, que em linhas gerais foi um alerta ao uso de agrotóxicos e de como estavam fluindo pela cadeia alimentar, provocando danos à saúde humana. Esta publicação teve forte impacto mundial e questionou a humanidade sobre um problema que convivemos e enfrentamos até hoje.

A percepção dos impactos ambientais, principalmente de seus efeitos nas mudanças climáticas, iniciou uma corrida mundial para reverter o cenário atual. Em 1972, a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou na cidade de Estocolmo, Suécia, a primeira conferência sobre o meio ambiente.

Em 1988, criou-se o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), que em 1990 lançou seu primeiro relatório sobre o clima, já recomendando que se limite em 2°C a elevação da temperatura do planeta até 2050 (GIDDENS, 2009).

Realizada no Brasil em 1992, a Convenção da Diversidade Biológica (CDB), assinada por 154 países, apontou que se até 2030 nada fosse feito, existir-se-ia grandes chances de extinção em massa. Outras convenções também ocorreram, como a Rio+10, em Johannesburgo na África do Sul, e novamente no Rio de Janeiro, em 2012, a Rio +20.

Todas as convenções foram norteadas por três principais objetivos: conservação da diversidade biológica (ou biodiversidade), o seu uso sustentável e a distribuição justa e equitativa dos benefícios advindos do uso econômico dos recursos genéticos, respeitada a soberania de cada nação sobre o patrimônio existente em seu território (HOBAN et al., 2020).

Em 2010, a ONU anunciou que a biodiversidade deve ser valorizada, conservada, restaurada e utilizada com sabedoria, mantendo os serviços ecossistêmicos, sustentando um planeta saudável e proporcionando benefícios essenciais para todas as pessoas, tentando sensibilizar as pessoas para a emergência de mudanças para preservar a vida (KOK et al., 2018).

O esforço ambientalista não parou, em 2015 foram lançados os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) com 169 metas (Anexo 9.3) a serem cumpridas até 2030.

A atenção do mundo agora está sobre os países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, pois ainda restam recursos naturais disponíveis que devem ser preservados, este é o caso do Brasil, que além de abrigar o bioma Amazônia, abriga também os remanescentes do bioma Mata Atlântica e do bioma Cerrado, ambos *hotspot* de biodiversidade e conservação (MYERS et al., 2000).

O processo transitório atual, causado pela mudança de paradigma filosófico, tem provocado mudanças nos modelos mentais de percepção da realidade, levando a estruturas sistêmicas na realidade, que por sua vez, alteram padrões de comportamento, fazendo emergir novos eventos (ANDRADE et al., 2006).

Foi o pensamento sistêmico que impulsionou as ciências, especialmente a ecologia, que demonstrou a importância da conservação dos ecossistemas para o bem estar humano, avaliou as consequências da degradação ambiental e elencou diferentes serviços que os ecossistemas prestam à vida humana. Isso só foi possível pelo fato deste modelo de pensamento primar em observar as relações entre as partes e os fenômenos que emergem a partir destas, o que para uma abordagem atomista e mecanicista do modelo cartesiano seria impossível (KAPRA & LUISI, 2014).

Hierarquicamente, os sistemas ecológicos reúnem diferentes tipos de processos: os organismos sobrevivem e se reproduzem, sendo portanto a unidade da seleção natural; as populações são a unidade da evolução; as comunidades representam a interrelação entre as populações e os ecossistemas, que reúnem processos como: o fluxo de energia e ciclo de nutrientes, que são formados pelos componentes bióticos e abióticos do meio ambiente e da biosfera, expressando os processos globais, os quais se encontram em grande desequilíbrio (RICKLEFES, 2001).

Os agroecossistemas (AE) são ecossistemas de produção com manejo humano capazes de produzir serviços ecossistêmicos (SE), combater a fome, mitigar os efeitos das mudanças climáticas, recuperar funções e processos ecossistêmicos, gerar renda e promover a equidade

social, um exemplo de AE é o sistema agroflorestral (SAF), considerado uma alternativa perfeita para se atingir a sustentabilidade (MONTTOYA & MAZUCHOWSKI, 1994).

Portanto, avaliar a produção de SE em SAFs, principalmente os relacionados ao sequestro e estocagem de carbono, recursos hídricos e fertilidade do solo, e como os diferentes tipos de manejo interferem nesses processos, é fundamental para tornar essa forma de produção mais atrativa ao agronegócio, já que esses serviços podem ser monetizados através de pagamentos por serviços ambientais (PSA).

Muitos já investem em SAFs e comercializam créditos de carbono. Contudo, pequenos agricultores que optam por esse modelo de uso do solo são pouco assistidos com relação a PSA, por não conseguirem acessar o mercado de sequestro de carbono, provisão de habitat, proteção de paisagens, funções hidrológicas e redução de desmatamento (PADOVAN & CARDOSO, 2013).

Sendo assim, estudos que avaliam SE produzidos por SAFs, em especial os que auxiliam na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas na vida humana, são fundamentais para aprimorar os processos de PSA e tornar mais atraente o emprego desses sistemas produtivos.

Várias questões ainda precisam ser respondidas, tais como: (i) como acessar créditos de carbono num SAF recém implantado, onde o componente arbóreo ainda é jovem e com pouca biomassa?; (ii) qual tipo de manejo pode acelerar a estocagem de carbono em solo de um SAF?; (iii) como a microbiologia do solo responde aos diferentes tipos de manejo?; (iv) como as plantas de estrato herbáceo contribuem para o incremento de carbono orgânico no solo e na atividade microbiana? e (v) se é possível investigar a fertilidade e microbiologia do solo através de análises não destrutivas e mais acessíveis, como o sensoriamento remoto ?

Para responder estas questões, este estudo comparou o desempenho de três sistemas agroflorestrais biodiversos de base agroecológica (SAF1, SAF2 e SAF3) entre si, tendo como referencial um fragmento de mata nativa (MN) e um plantio convencional (PC), em duas épocas do ano (seca e chuvosa), obtendo dados de estoque de carbono em serapilheira, estoque de carbono no solo (ECS) até um metro de profundidade, biomassa e atividade microbiana e dados de reflectância, transformados em index de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

Desta forma, este estudo visa, também, auxiliar agricultores que almejam acessar o mercado dos SE, garantindo relevantes informações sobre o estoque de carbono da serapilheira até o solo profundo e desenvolver metodologias não destrutivas através de geoprocessamento para avaliação de SE de suporte.

A hipótese é de que os SAFs biodiversos podem assumir, em pouco tempo, características semelhantes aos ecossistemas florestais naturais, e produzirem SE tanto quanto eles.

Para confirmar a hipótese e responder as perguntas formuladas, o estudo foi dividido em três artigos:

- ✓ No artigo 1, foi avaliado o SE de regulação por meio da quantificação do estoque de carbono na serapilheira e no solo até um metro de profundidade dos diferentes sistemas;
- ✓ No artigo 2, foi avaliado o SE de suporte, empregando com indicador de qualidade do solo, o carbono da biomassa microbiana, atividade microbiana e índices derivados em áreas sem plantas de estrato herbáceo e áreas com herbáceas;
- ✓ No artigo 3, apresentamos uma nova metodologia de avaliação da fertilidade do solo por meio do desenvolvimento de um modelo alométrico para predição do carbono da biomassa microbiana do solo de SAFs biodiversos, formulada a partir da correlação do carbono da biomassa microbiana (C-BMS) e o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 FUNÇÕES E SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS.

O interesse pelos ecossistemas aumentou expressivamente após a publicação do relatório da Avaliação Ecosistêmica do Milênio (MEA), em 2005, principalmente porque o relatório aponta que o aumento populacional tem sido a causa principal da diminuição das funções dos ecossistemas em garantir a vida no planeta (MEA, 2005).

A complexidade dos ecossistemas envolve a biocenose e o biótopo, nos quais o ser humano é um dos componentes (RICKLEFS, 2003). Assim, sendo um ecossistema natural ou um agroecossistema (AE), as funções ecosistêmicas as quais intrinsecamente os constituem, formam a estrutura básica de sustento à vida (DALY & FARLEY, 2004; TURNER & DAILY, 2008).

De Groot et al. (2002), motivados em contribuir com a melhor avaliação entre bens e serviços ecosistêmicos, organizaram as funções ecosistêmicas em quatro grandes grupos:

1- Funções de regulação: capacidade dos ecossistemas naturais e seminaturais de regular processos ecológicos essenciais e sistemas de suporte de vida por meio de ciclos biogeoquímicos e outros processos biosféricos. Além de manter a saúde do ecossistema (e da

biosfera), essas funções de regulação fornecem muitos serviços que têm benefícios diretos e indiretos para os humanos (como ar, água e solo limpos e serviços de controle biológico);

2- Funções de habitat: os ecossistemas naturais fornecem refúgio e habitat de reprodução para plantas e animais selvagens e, assim, contribuem para a conservação (*in situ*) da diversidade biológica e genética e dos processos evolutivos;

3- Funções de produção: A fotossíntese e absorção de nutrientes por autótrofos converte energia, dióxido de carbono, água e nutrientes em uma ampla variedade de estruturas de carboidratos que são então usados por produtores secundários para criar uma variedade ainda maior de biomassa viva. Essa ampla diversidade em estruturas de carboidratos fornece muitos bens do ecossistema para consumo humano, variando de alimentos e matérias-primas a recursos energéticos e material genético;

4- Funções de informação: como a maior parte da evolução humana ocorreu dentro do contexto de habitat não domesticado, os ecossistemas naturais fornecem uma função de referência essencial e contribuem para a manutenção da saúde humana, proporcionando oportunidades de reflexão, enriquecimento espiritual, desenvolvimento cognitivo, recreação e experiência estética.

Essa classificação tem um viés econômico, por isso De Groot et al. (2002) consideraram as funções ecossistêmicas como sendo a capacidade dos processos e componentes naturais de fornecer bens e serviços, que satisfaçam as necessidades humanas direta ou indiretamente. Essa abordagem é oportuna para que o mundo perceba o valor econômico da natureza, principalmente por estas funções servirem ao bem estar humano.

Nesse sentido, as funções e processos ecossistêmicos são agora chamados de serviços ecossistêmicos. O conceito de SE tem sido aprimorado nas últimas décadas, para Daily (1997), SE são condições e processos provenientes dos ecossistemas naturais e das espécies que os compõem, que sustentam e mantêm a vida humana.

Para Costanza et al. (1997), SE são os benefícios para populações humanas que derivam, direta ou indiretamente, das funções dos ecossistemas.

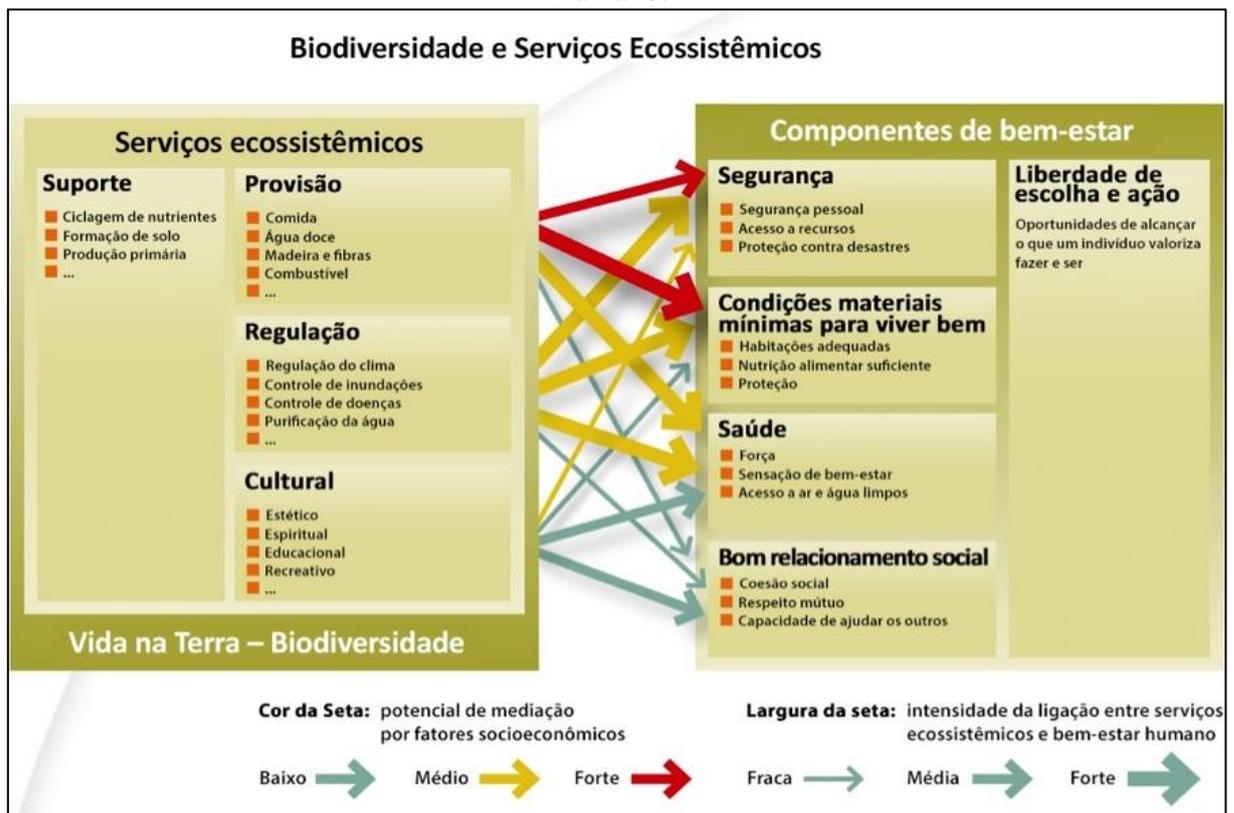
De Groot et al. (2002) definem SE como sendo processos naturais que garantem a sobrevivência das espécies no planeta e têm a capacidade de prover bens e serviços que satisfazem necessidades humanas.

Em 2005, a MEA publicou no relatório Ecossistemas e bem-estar humano: estrutura para uma avaliação, que SE são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas. Essa conceituação provoca uma sensação antropocêntrica, com o intuito de mobilizar a sociedade atual para a valoração desses serviços.

O relatório classificou os SE em quatro grupos principais, os Serviços de Regulação: Regulação climática, de doenças, biológica, de danos naturais, regulação e purificação da água e polinização; Serviços de Provisão (abastecimento): Alimentos, água, madeira para combustível, fibras, bioquímicos e recursos genéticos; Serviços Culturais: Ecoturismo e recreação, espiritual e religioso, estético e inspiração, educacional, censo de localização e cultural; Serviços de Suporte: Formação do solo, produção de oxigênio, ciclagem de nutrientes e produção primária (MEA, 2005).

Na Figura 1, os serviços ecossistêmicos são relacionados com os diferentes componentes de bem-estar que podem trazer ao ser humano e qual a intensidade dessa relação. É possível identificar que um tipo de SE pode servir para vários componentes de bem-estar, assim como uma função ecossistêmica pode fornecer diferentes SE (DE GROOT et al., 2002).

Figura 1. Potencial e intensidade de serviços ecossistêmicos oferecidos ao bem-estar humano.



Fonte: Painel Intergovernamental Sobre Mudanças Climáticas (2005).

O conceito seguiu se aperfeiçoando, como o proposto por Farley (2012), dizendo que SE são aspectos do ecossistema consumidos e/ou utilizados para produzir bem estar humano. Farley (2012) considera a organização do ecossistema (estrutura), processos e fluxos em como

eles são consumidos ou utilizados direta ou indiretamente pelo homem. Esse último conceito deixa claro que além de benefícios diretos há ainda benefícios indiretos.

2.2 SISTEMAS AGROFLORESTAIS: ALTERNATIVA PARA MITIGAÇÃO CLIMÁTICA.

Os ecossistemas podem atuar como sumidouros de carbono (C), capturando e armazenando quantidades significativas de dióxido de carbono atmosférico (CO₂) na biomassa e no solo. Os sistemas de uso da terra baseados em árvores, como sistemas agroflorestais, são relatados como tendo o potencial de aumentar o sequestro de C tanto acima quanto abaixo do solo (NAIR et al., 2009, 2010).

Nos últimos anos, tem crescido a preocupação com a qualidade do solo, a medida em que sua mobilização intensiva pode afetar sua capacidade de manter uma produção biológica sustentável (CARVALHO, 2004). O uso intensivo do solo pode provocar reduções significativas em seu aspecto químico, físico e biológico, provocando a redução da capacidade do solo em exercer suas diversas funções ecossistêmicas (DE AGUIAR, 2008; GUIMARÃES, 2014).

Para mitigar os impactos causados pelas formas de uso do solo em todas as regiões do planeta é necessário a implantação em larga escala de tecnologias de emissões negativas (NETs), principalmente as tecnologias de baixo custo herdadas dos povos indígenas, como os sistemas agroflorestais (SAFs) (NAIR et al., 2016).

Conforme Nair (1991), SAF é um tipo de sistema de uso da terra, que envolvem árvores combinadas com cultivos e/ou animais na mesma unidade de terra, podendo combinar múltiplas saídas com proteção de recursos fundamentais. Utiliza-se a ênfase de árvores de uso múltiplo e arbustos, particularmente adequados para condições de baixos insumos e ambientes frágeis, o envolvimento de valores socioculturais mais do que outros sistemas de uso de terras, sendo estruturalmente e funcionalmente mais complexo do que a monocultura.

Considerando o prefixo “Agro” na palavra agroflorestal, a definição de Laurent (1990) é bem apropriada, evidenciando que um SAF é uma propriedade rural, um sistema de produção composto por cultivo e componente do sistema agrário de uma região.

Desta forma, a estratégia mais eficaz como alternativa de produção de alimento e outros recursos fundamentais para a manutenção da vida, é a implantação em larga escala de SAFs, uma vez que estes são semelhantes em estrutura e função aos ecossistemas, portanto AE promotores do bem estar humano (NAIR & DAGAR, 1991; NAIR et al., 2017; FROUFE et al., 2020).

Os SAFs podem ser desenvolvidos procurando-se maximizar as interações positivas entre as espécies, sejam elas de ordem econômica ou ecológica, aumentando a diversidade de produtos, diminuindo as necessidades de insumos e reduzindo os impactos ambientais (FERNANDES & NAIR, 1986; NAIR, 1983).

Podem variar na estrutura, principalmente na disposição de seus componentes, no arranjo temporal, com a produção de espécies sendo cultivadas simultaneamente ou sequencialmente, na função de produção de bens e SE, no papel socioeconômico e em base agroecológica, em todos os biomas, partindo do pressuposto de que certos tipos de sistemas podem ser mais apropriados para certas condições ecológicas (NAIR, 1998).

De acordo com Nair (1998), há uma clara relação entre SAF e seu papel socioeconômico, especialmente os de base ecológica, mas que devido sua complexidade para classificação, é recomendado observar primariamente as bases estruturais e funcionais, para melhor estratificar ou agrupar os sistemas para propósitos definidos, do que para classificá-los.

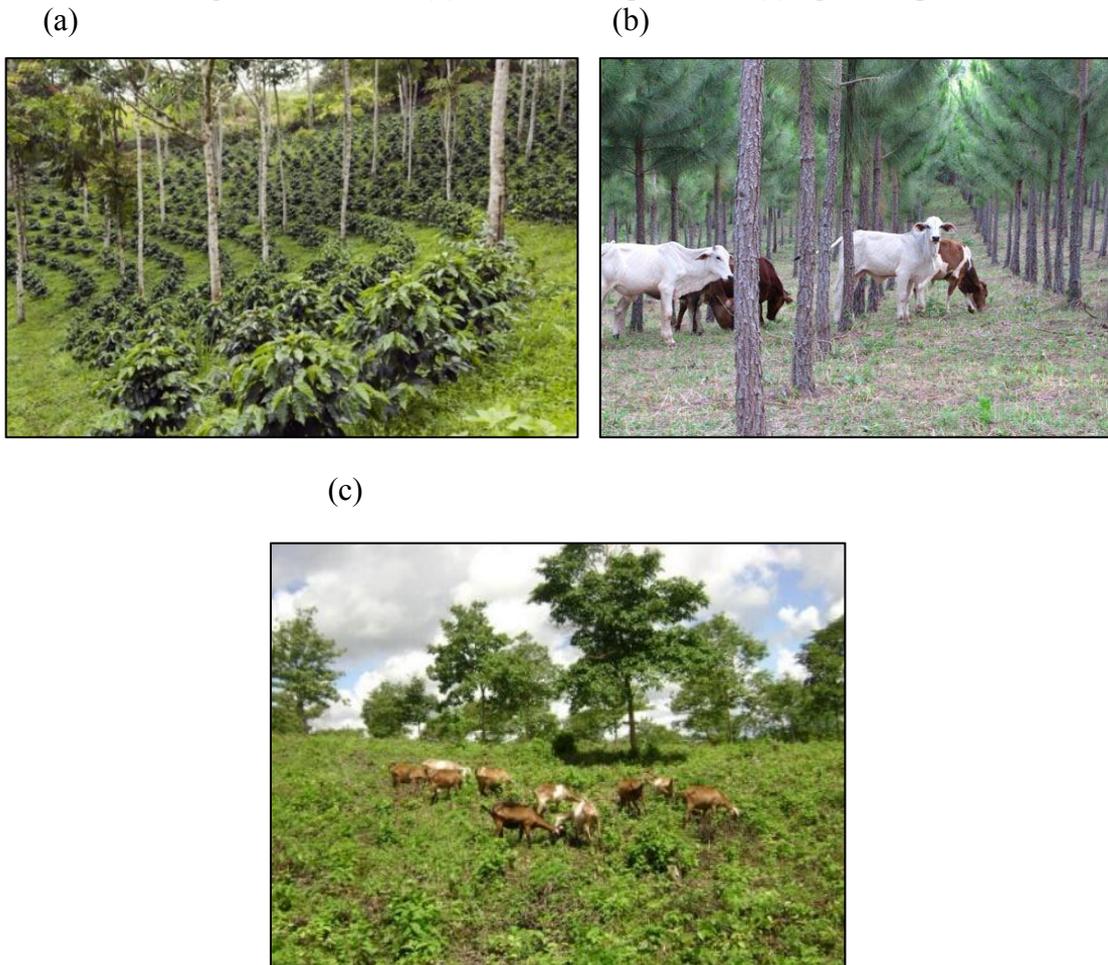
A relação socioeconômica/agroecológica/meio ambiente e a complexidade desta relação descrita por Nair (1998), são um claro exemplo de processo transitório, estruturado por um pensamento sistêmico com bases ecológicas profundas. Nesse cenário, o agronegócio e agroecologia, as mudanças climáticas, a fome e as doenças são os coadjuvantes sempre presentes.

O sistema social atual, baseado na exploração predatória dos recursos naturais, vem provocando uma sequência sistêmica de eventos, que antes tácita, toma forma em diferentes eventos globais, como as reestruturações políticas em blocos de proteção econômica, conflitos territoriais, aumento de doenças de alcance global, diminuição da população global, adaptações tecnológicas e a ruralização. Este último representaria a adaptação humana num cenário de restauração agroecológica, tornando possível o desenvolvimento sustentável (ODUM E ODUM, 2006).

Maschio et al. (2009), a partir de uma abordagem sistêmica, indicam diferentes características de um SAF, como: (i) os componentes dos SAFs: animais, espécies florestais, cultivos agrícolas; (ii) as entradas em SAFs: devem ser mínimas e preferencialmente oriundas de saídas de outros sistemas da propriedade; (iii) as saídas dos SAFs: múltiplos produtos economicamente rentáveis; (iv) a estrutura de SAFs: deve ser o produto do estoque de conhecimentos técnicos ou práticos sobre as interações entre os componentes; (v) ações e funções dos SAFs: automanutenção e produção de saídas economicamente rentáveis, social e ecologicamente adequados.

Os SAFs podem ser classificados em três grupos: sistemas agrissilviculturais, com árvores e culturas agrícolas; sistemas silvipastoris, com criação de animais e culturas florestais e sistemas agrissilvipastoris, incluindo árvores, culturas agrícolas e criação de animais (MACDICKEN & VERGARA, 1990) (Figura 2).

Figura 2. Exemplos de Sistemas agroflorestais propostos por Macdicken e Vergara (1990). (a) sistema agrosilvicultural, (b) sistema silvipastoril e (c) agrissilvipastoril.



Fonte: Portal Embrapa (/2021).

Existem ainda os SAFs biodiversos que compreendem arranjos diversificados de plantas, envolvendo espécies arbóreas, arbustivas, arvoredos e herbáceas. Formam agroecossistemas complexos, uma vez que contemplam a diversidade vegetal disposta em multiestratificados, resultando em grande diversidade de microambientes, caracterizando-se como SAFs de base agrícola (PADOVAN & PEREIRA, 2012) (Figura 3).



Figura 3. Exemplo de sistema agroflorestal biodiverso.

Fonte: Dr. Milton Padovan. (2010).

A presença de componentes florestais arbóreos nos SAFs incorporados a uma grande biodiversidade de espécies, proporciona a deposição contínua de resíduos vegetais, facilitando a deposição da matéria orgânica no solo (MOS) (OELBERMANN et al., 2006; SMILEY & KRUSCHEL, 2008), afetando diretamente os atributos físicos (SAHA et al., 2001), químicos e biológicos (DELABIE et al., 2007; HUERTA et al., 2007; NORRGROVE et al., 2009).

Os SAFs constituem uma alternativa para minimizar o efeito da intervenção humana no ambiente, reproduzindo o ambiente natural pela consorciação de várias espécies dentro de uma área, elevando-se a diversidade do AE, onde são aproveitadas as interações benéficas entre as plantas de diferentes ciclos, portes e funções (SANCHEZ, 1995 APUD YOUNG, 1997).

Os SAFs se destacam dos sistemas convencionais devido à capacidade de reduzir as perdas de nutrientes, solo e água, são capazes de produzir SE para combater a fome, doenças, mudanças climáticas e busca por equidade social. (GUIMARÃES, 2014).

Há diversas técnicas de manejo adotadas dentro dos SAFs que modificam positivamente a propriedades do solo, entre elas: a manutenção da cobertura permanente do solo, a integração da adubação orgânica e verde, podas para incorporação de biomassa no solo, o controle da erosão, por meio do estabelecimento de curvas em nível, o terraceamento e as faixas de retenção e cultivos por rotação e consórcio de culturas (LOSS, 2009).

2.3 CARBONO, O ELEMENTO DA VIDA E “VILÃO” DA CRISE CLIMÁTICA.

Descrito em 1779 pelo químico francês Antoine Lavoisier (1743-1794), o elemento químico Carbono é o sexto na tabela periódica, mas pra a vida, esse elemento é o primeiro. Juntos, Carbono, Hidrogênio, Oxigênio, Nitrogênio e Fósforo compõem quase que cem por cento dos organismos vivos. Sua versátil capacidade de se ligar com outros elementos e consigo mesmo, formando estruturas tridimensionais, faz desse elemento singular. Da atmosfera ao diamante, de moléculas simples, como o CO_2 , até nas complexas moléculas do DNA, lá está o carbono.

O maior reservatório de carbono do planeta é o solo, com aproximadamente 18.000.000 Gt armazenado em calcário dolomítico e 10.000 Gt em combustíveis fósseis, depois os oceanos com 30.000 Gt de CO_2 dissolvido e com capacidade de assimilação de 50 Gt de carbono por ano, em seguida a atmosfera, reservando 640 Gt (RICKLEFS, 2003).

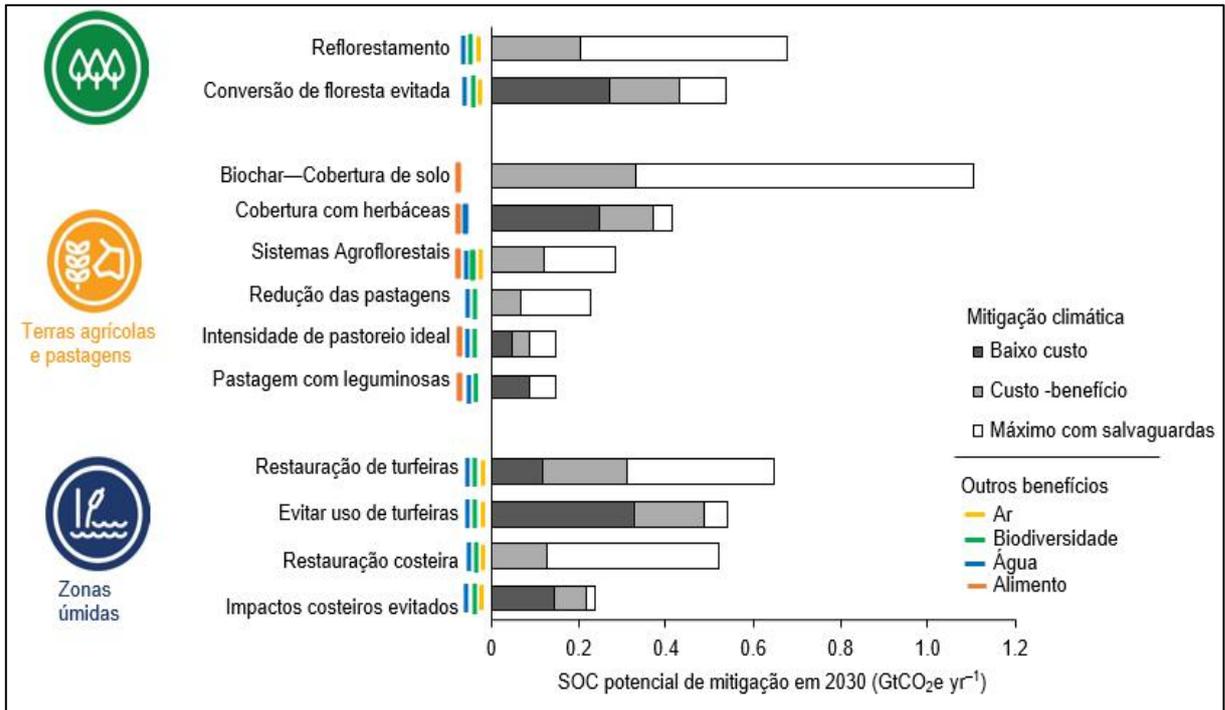
A emissão de carbono na atmosfera ocorre de forma natural, através de vulcões (2Gt), metanogênese (1Gt), respiração de plantas, animais, fungos e bactérias (35Gt) e não tão natural, por queima de combustíveis (5Gt). Na equação entre emissão e sequestro de carbono, as algas dos oceanos e as plantas sequestram juntas 40 Gt de carbono por ano (RICKLEFS, 2003).

Estima-se que as atividades humanas tenham causado o aumento de aproximadamente $1,0^\circ\text{C}$ de aquecimento global acima dos níveis pré-industriais, com uma variação provável de $0,8^\circ\text{C}$ a $1,2^\circ\text{C}$, é provável que o aquecimento global atinja $1,5^\circ\text{C}$ entre 2030 e 2052, caso continue aumentar com o ritmo atual (IPCC, 2016).

Olhando o passado, na Era Paleozoica, há aproximadamente 550-400 milhões de anos, a atmosfera retinha de 15 a 20 vezes mais CO_2 do que no presente, só no fim da Era Mesozoica, entre 241 e 65 milhões de anos atrás, depois de vários ciclos de aquecimento e resfriamento, o planeta chega aos níveis parecidos com os de agora (RICKLEFS, 2003).

Portanto, o efeito estufa é um fenômeno natural, que foi equilibrado ao longo do tempo, principalmente pela formação das grandes florestas e sedimentações nos oceanos. Os gases de efeito estufa (GEE), dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4), o óxido nitroso (N_2O), Perfluorcarbonetos (PFC's) e também o vapor de água, fazem parte de apenas 1% da atmosfera, ainda assim, tem alterado o equilíbrio desse fenômeno vital (YUE e GAO, 2018).

Figura 4. Estratégias de mitigação climática e seus potenciais.



Fonte: Adaptado de Bossio, *et al.* (2020).

O aumento da concentração de GEE na atmosfera atingem o planeta por inteiro, aumenta os riscos associados ao clima para os sistemas natural e humano a cada décimo de °C elevado. Esses riscos dependem da magnitude e ritmo do aquecimento, localização geográfica, níveis de desenvolvimento e vulnerabilidade, *trade-off* e da implementação de opções de adaptação e mitigação (IPCC, 2018).

Nesse sentido, a aplicação do que já se conhecesse de tecnologias de captura e armazenamento de carbono é um dos caminhos pra frear o aquecimento global. A restauração de pastagens, integração lavoura pecuária e floresta (ILPF), sistemas agroflorestais e cobertura de solo com *biochar*, material formado a partir da pirólise de biomassa vegetal (carvão), são alguns exemplos (BOSSIO *et al.*, 2020) (Figura 4).

O *biochar* é um material poroso, rico em carbono sólido, produzido pela conversão termoquímica de uma ampla gama de matérias-primas de biomassa sob uma atmosfera inerte (ou seja, na ausência de oxigênio) (LI & JIANG, 2017).

O *biochar* pode ser produzido em várias escalas prováveis, desde o nível industrial ao doméstico e até mesmo em fazendas e por apresentar características multifuncionais o tornam um candidato promissor para atender a uma demanda crescente nas áreas de correção do solo, sustentabilidade agrícola, proteção ambiental, para alcançar a bioeconomia circular e mitigação das mudanças climáticas (GHODAKE S.G. *et al.*, 2021).

Em estudo recente realizado na china por Yang et al. (2021), acompanharam o ciclo de vida da incorporação nacional de *biochar* na agricultura e constataram que o potencial de sequestro de carbono anual estimado pode ser tão alto quanto 0,50 Pg CO₂ (1 Pg = 1 × 10⁹ t), destacaram também, que a implementação do *biochar* pode reduzir cerca de 4,5% da emissão nacional anual de carbono, esse insumo pode mitigar a ecotoxicidade aquática e a acidificação do solo.

Essa é mais uma NET disponível herdada do passado, inspirada nas terras preta indígenas da Amazonia (SOARES et al., 2018).

2.4 MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO (MOS).

Se é na atmosfera que a humanidade deposita o carbono resultante do consumo desenfreado, provocando desajustes climáticos, é dela que é preciso ser retirado. Mas onde guardá-lo? Sabemos que solo é o grande sumidouro de carbono nesse planeta (RICKLEFS, 2013). Portanto, compreender o fluxo e armazenamento desse elemento no sistema solo, é fundamental. A interface planta, microrganismos e o comportamento da MOS podem ser a chave para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes de sequestro e armazenagem do carbono no solo (YARWOOD, 2018).

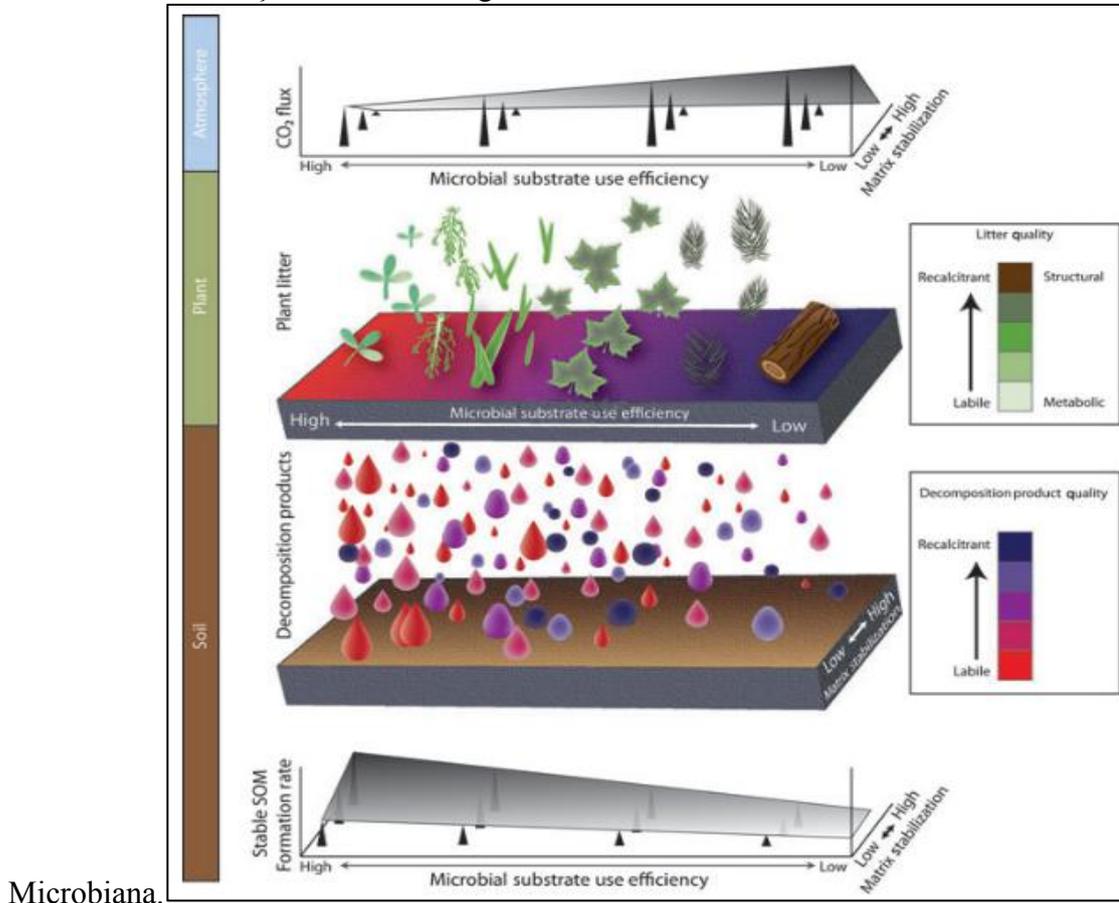
As intensas perturbações no solo, causadas pelos sistemas agrícolas convencionais, inicialmente pela supressão e práticas de aração e gradagem, tornam o solo vulnerável, diminuindo sua qualidade devido às perdas da matéria orgânica (TIESSEN et al., 1992; RANGEL et al., 2007).

A matéria orgânica que chega ao solo via serapilheira pode ser classificada de duas formas: de lenta decomposição ou recalcitrante, como materiais com muita lignina, e de rápida decomposição ou lábil, como materiais com mais açúcares, aminoácidos e outros compostos solúveis em água, atuando como reservatório de energia para a massa microbiana (MENDONÇA, 1995; MARIN, 2002).

Em geral, apenas a MOS recalcitrante é considerada para cálculos de sequestro de carbono. Contudo, os estudos sobre MOS estão aprofundando o entendimento da dinâmica da MOS lábil, que além de fazerem parte das células microbianas, agregam-se em frações minerais estáveis que podem se manter assim por muitos anos no solo. A eficiência dos microrganismos, que pode ser avaliada pela razão entre a respiração basal e biomassa microbiana, é maior ao decompor materiais que exigem menos esforço, como por exemplo folhas e exsudatos radiculares. Já a serapilheira recalcitrante, exige mais esforço dos

microrganismos, resultando na produção de maiores níveis de CO₂ liberados para a atmosfera durante o processo (COTRUFO et al., 2013) (Figura 5).

Figura 5. Representação dos efeitos da qualidade da serapilheira no efluxo de CO₂ e estabilização da matéria orgânica do solo na estrutura de Eficiência



Fonte: Cotrufo, M.F. et al. (2013).

Para o solo sustentar a produtividade, manter e aumentar a qualidade do ar, armazenar carbono, promover saúde para a planta, animais e seres humanos, é importante que funcione dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado para manter sua qualidade (CONCEIÇÃO et al., 2005) (Figura 6).

Figura 6. Exemplos de SE prestados pela MOS.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Devido a sensibilidade da MOS às alterações provocadas pelo manejo do solo, além de ser considerada reservatório primário de nutrientes às plantas, influenciando a infiltração, retenção de água e susceptibilidade à erosão (GREGORICH et al., 1994), pode ser um importante indicador de qualidade do solo (DORAN & PARKIN, 1994), uma vez que pode auxiliar na compreensão de diferentes processos ecossistêmicos que ocorrem no solo (DORAN & ZEISS, 2000).

2.5 SENSORIAMENTO REMOTO E APLICAÇÕES NA INVESTIGAÇÃO DE SAF.

Recentes estudos aplicando meta análise realizados por Xu et al., (2018), recomendam que avaliações precisas de área de SAF em todo o mundo com base nas abordagens de sensoriamento remoto, que sejam amplamente desenvolvidas, uma vez que os custos são mais baratos.

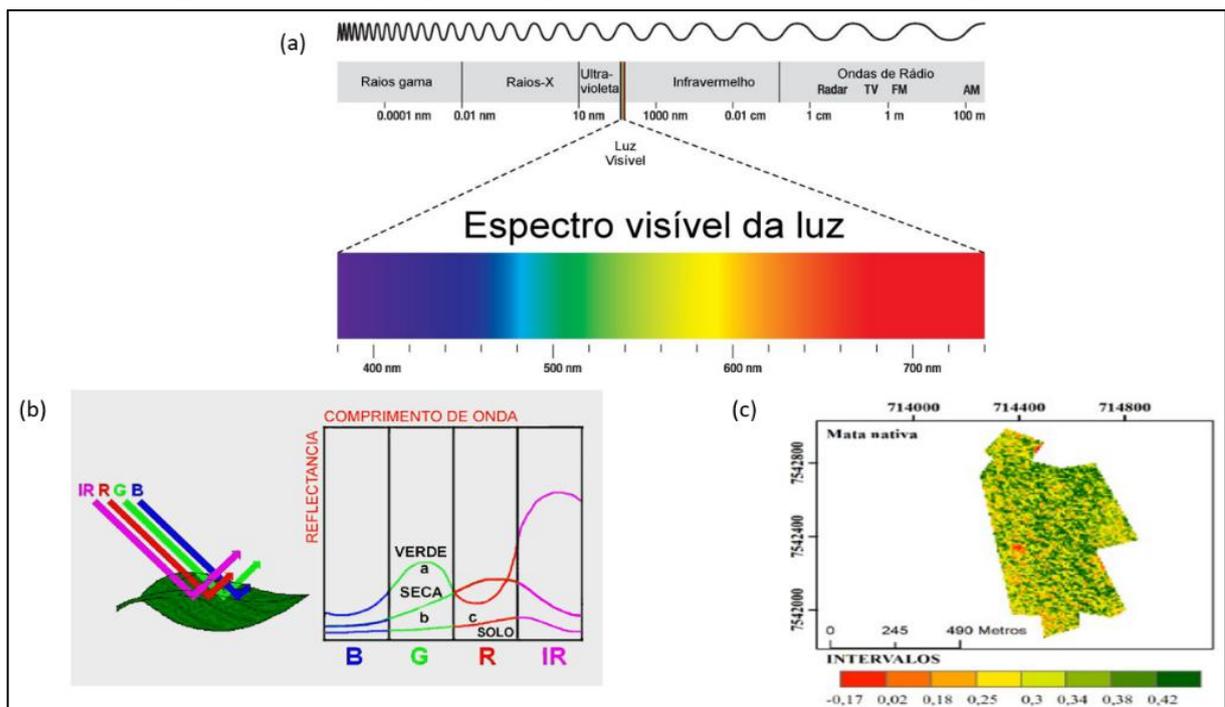
Rosendo (2005), salienta que a busca por tecnologias indiretas, não destrutivas e mais baratas de avaliação ambiental, tem levados os pesquisadores das mais diferentes áreas usarem cada vez mais, o sensoriamento remoto não só para análises do uso da terra avaliando o crescimento urbano, mudança na paisagem natural, na elaboração de políticas ambientais, mas também para medir a quantidade de biomassa aérea nos mais diferentes ambientes.

O sensoriamento remoto, sem o contato direto com os objetos da superfície, é capaz de produzir imagens com grande qualidade captada por sensores que captam a energia eletromagnética refletida e convertem em números digitais (DN), podem ser instalados em

satélites ou aeronaves. Essa energia refletida chama-se reflectância, que pode variar em função das propriedades físicas, químicas e biológicas dos objetos, assim é possível distinguir a cobertura de determinadas regiões (ROBERTO, 2012).

A luz refletida pelos objetos gera assinatura espectral que permite a avaliação da atividade fotossintética das plantas, desta forma gerar índices de vegetação com correções de absorbância (capacidade de absorver energia radiante), transmitância (capacidade de transmitir energia radiante), efeito das nuvens, etc., como o índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI). Na Figura 7, em (a) vemos o comprimento das sondas eletromagnéticas evidenciando a banda da luz visível que vai de 400nm até 700nm de comprimento, em (b) assinatura espectral das plantas ao refletirem as bandas do infra-vermelho próximo (IR), vermelho (R), verde (G) e bandas do espectro azul (B), em (c) exemplo de composição de imagem NDVI usando as bandas IR e R do espectro eletromagnético.

Figura 7. Ilustração para compreensão de fenômenos eletromagnéticos.



Fonte: INPE (2021).

Com o lançamento do satélite ERTS-1 em 1972, a agência espacial norte americana (NASA), iniciou a observação dos recursos naturais, e permitiu que hoje possam ser feitas séries temporais de imagens que visam acompanhar a forma com a qual a humanidade usa esses recursos, contribuindo no mapeamento da dinâmica espaço-temporal do uso das terras e em todas as aplicações decorrentes (EMBRAPA, 2009).

O monitoramento de áreas vegetadas, assim como a identificação de padrões que permitem descrever as diferentes fitofisionomias ao longo do tempo, são feitas por meio de diferentes índices de vegetação (KUPLICH et al., 2013). Desta forma o sensoriamento remoto é uma ferramenta poderosa para vários tipos de monitoramento e tomadas de decisão envolvendo grandes territórios (FERRAZ et al., 2014).

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os SE de suporte e regulação produzidos por três SAFs biodiversos, um plantio convencional de mandioca (PC) e um fragmento de mata nativa (MN) na região periurbana de Dourados- MS.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) Estimar o estoque de serapilheira nas 5 áreas de estudo: serviço de suporte, regulação e provisão;

b) Determinar o estoque de carbono orgânico do solo nas profundidades de 0-5cm, 5-15cm, 15-30cm, 30-50cm e de 50-100cm do solo das áreas estudadas e relacionar com a riqueza vegetal: regulação e suporte;

c) Avaliar o carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), respiração basal (C-CO₂), o quociente metabólico (q-CO₂), o quociente microbiano (qMIC) e carbono total na profundidade de 0-10cm do solo, visando identificar a influência das plantas herbáceas na produção de SE realizados pelos SAF biodiversos estudados: suporte, provisão;

d) Correlacionar o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) com os resultados dos principais componentes encontrados nas análises microbiológicas do solo dos SAFs estudados: suporte, provisão.

4 REFERÊNCIAS

ALLEN, M. et al. **Resumo Técnico:** Aquecimento global de 1,5 ° C. Um Relatório Especial do IPCC sobre os impactos do aquecimento global de 1,5 ° C acima dos níveis pré-industriais e vias de emissão global de gases de efeito estufa relacionadas, no contexto do fortalecimento da resposta global à ameaça do clima mudança, desenvolvimento sustentável e esforços para erradicar a pobreza. 2019.

ALTIERI, M. A., TOLEDO, V. M. "The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants", **Journal of Peasant Studies**, v. 38, n. 3, p. 587–612, jul. 2011. DOI: 10.1080/03066150.2011.582947. Disponível

em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/03066150.2011.582947>. Acesso em: 10 set. 2020.

Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil. [S.d.]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/biomass/>. Acesso em: 2 dez. 2020.

BOSSIO, D. A. et al. The role of soil carbon in natural climate solutions, **Nature Sustainability**, v. 3, n. 5, p. 391-398, 2020.

CARVALHO, R., GOEDERT, W. J., ARMANDO, M. S. "Physical features of soil quality under an agroforestry system", **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 11, p. 1153–1155, 2004. DOI: 10.1590/s0100-204x2004001100015.

CONCEIÇÃO, P. C., AMADO, T. J. C., MIELNICZUK, J., et al. Soil organic matter and other attributes AS indicators to evaluate soil quality in conservation systems. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo.** [S.l.], Revista Brasileira de Ciencia do Solo. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832005000500013&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 31 jan. 2021.

COSTANZA, R., D'ARGE, R., DE GROOT, R., et al. "The value of the world's ecosystem services and natural capital", **Nature**, v. 387, n. 6630, p. 253–260, 15 maio 1997. DOI: 10.1038/387253a0. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/387253a0>. Acesso em: 31 jan. 2021.

COTRUFO, M. F., WALLENSTEIN, M. D., BOOT, C. M., et al. "The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: Do labile plant inputs form stable soil organic matter?", **Global Change Biology**, v. 19, n. 4, p. 988–995, 1 abr. 2013. DOI: 10.1111/gcb.12113. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.12113>. Acesso em: 30 out. 2020.

DALY, Herman E.; FARLEY, Joshua. Ecological economics: principles and applications. **Island press**, 2011.

MASCHIO, L. de A. et al. A agrofloresta na ótica da teoria de sistemas. In: Embrapa Florestas-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1.; ENCONTRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NOS PAÍSES DO MERCOSUL, 1., 1994, Porto Velho. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. v. 2, p. 373-383., 1994.

DE GROOT, R. S., WILSON, M. A., BOUMANS, R. M. J. "A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services", **Ecological Economics**, v. 41, n. 3, p. 393–408, 1 jun. 2002. DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00089-7.

DELABIE, J. H. C., JAHYNY, B., DO NASCIMENTO, I. C., et al. "Contribution of cocoa plantations to the conservation of native ants (Insecta: Hymenoptera: Formicidae) with a special emphasis on the Atlantic Forest fauna of southern Bahia, Brazil", **Biodiversity and Conservation**, v. 16, n. 8, p. 2359–2384, 31 jul. 2007. DOI: 10.1007/s10531-007-9190-6. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10531-007-9190-6>. Acesso em: 31 jan. 2021.

DORAN, J. W., PARKIN, T. B., "Defining and Assessing Soil Quality". Defining soil quality for a sustainable environment.; **Special Publication**, 35, 2015. p. 1–21. DOI: 10.2136/sssaspecpub35.c1. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.2136/sssaspecpub35.c1>. Acesso em: 1 fev. 2021.

DORAN, J. W., ZEISS, M. R. "Soil health and sustainability: Managing the biotic component of soil quality", **Applied Soil Ecology**, v. 15, n. 1, p. 3–11, ago. 2000. DOI: 10.1016/S0929-1393(00)00067-6.

DOS SANTOS ROSENDO, B. "**A utilização de sensores com resolução moderada (modis) no estudo da vegetação na bacia do rio araguari-mg**", v. 17, p. 91–104, 2005. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321327187007>. Acesso em: 1 fev. 2021.

FERNANDES, E. C. M., NAIR, P. K. R. "An evaluation of the structure and function of tropical homegardens", **Agricultural Systems**, v. 21, n. 4, p. 279–310, 1 jan. 1986. DOI: 10.1016/0308-521X(86)90104-6.

FERRAZ, A. S., SOARES, V. P., SOARES, C. P. B., et al. "Estimativa do estoque de biomassa em um fragmento florestal usando imagens orbitais", **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 286–296, 2014. DOI: 10.1590/2179-8087.052213. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.052213>. Acesso em: 1 fev. 2021.

FROUFE, L. C. M., SCHWIDERKE, D. K., CASTILHANO, A. C., et al. "Nutrient cycling from leaf litter in multistrata successional agroforestry systems and natural regeneration at Brazilian Atlantic Rainforest Biome", **Agroforestry Systems**, v. 94, n. 1, p. 159–171, 1 fev. 2020. DOI: 10.1007/s10457-019-00377-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00377-5>. Acesso em: 1 out. 2020.

GHODAKE, G. S.; SHINDE, S. K.; KADAM, A. A.; SARATALE, R. G.; SARATALE, G. D.; KUMAR, M.; PALEM, R. R.; AL-SHWAIMAN, H. A.; ELGORBAN, A. M.; SYED, A.; KIM, D. Y. Review on biomass feedstocks, pyrolysis mechanism and physicochemical properties of biochar: State-of-the-art framework to speed up. **Journal of Cleaner ProductionElsevier Ltd**, 15 maio 2021.

GIDDENS, A. A Política da Mudança Climática. Rio de Janeiro: **Zahar**, 2009.

GREGORICH, E. G., CARTER, M. R., ANGERS, D. A., et al. "Towards a minimum data set to assess soil organic matter quality in agricultural soils", **Canadian Journal of Soil Science**, v. 74, n. 4, p. 367–385, 1994. DOI: 10.4141/cjss94-051. Disponível em: <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.4141/cjss94-051>. Acesso em: 31 jan. 2021.

HOBAN, S. et al. "**An analysis of genetic diversity actions, indicators and targets in 114 National Reports to the Convention on Biological Diversity**" bioRxivbioRxiv, 31 ago. 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1101/2020.08.28.254672>>. Acesso em: 11 mar. 2021

KUMAR DAS, M., JENA, P. "Regulating Effects of Climate, and Net Primary Productivity Depends on Soil Organic Carbon Sequestration", **International Journal of Modern Agriculture**, v. 9, n. 3, p. 799–814, 30 set. 2020. Disponível em: <http://modern-journals.com/index.php/ijma/article/view/286>. Acesso em: 31 jan. 2021.

KUPLICH, T. M., MOREIRA, A., FONTANA, D. C. "Time series of vegetation index for different vegetation types in Rio Grande do Sul", **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 10, p. 1116–1123, 2013. DOI: 10.1590/S1415-43662013001000014. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662013001000014&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 1 fev. 2021.

LOSS, A., PEREIRA, M. G., SCHULTZ, N., et al. "Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho-Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica", **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 68–75, jan. 2009. DOI: 10.1590/S0100-204X2009000100010. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2009000100010&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 31 jan. 2021.

MACDICKEN, K. G., VERGARA, N. T. "Agroforestry: classification and management.", **Agroforestry: classification and management.**, 1990.

MAHMOOD, H., ALKHATEEB, T. T. Y., FURQAN, M. "Industrialization, urbanization and CO2 emissions in Saudi Arabia: Asymmetry analysis", **Energy Reports**, v. 6, p. 1553–1560, 1 nov. 2020. DOI: 10.1016/j.egy.2020.06.004.

MARQUES, M. G. Capitalismo dependente e cultura autocrática: contribuições para entender o Brasil contemporâneo. **Revista Katálysis**, v. 21, n. 1, p. 137–146, jan. 2018.

MONTOYA', L. J., MAZUCHOWSKI', J. Z. Estado da arte dos sistemas agroflorestais na região sul do Brasil. CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 1.; ENCONTRO SOBRE SISTEMAS AGROFLORESTAIS NOS PAÍSES DO MERCOSUL, 1., 1994, Porto Velho. **Anais**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ, 1994. v. 1, p. 77-96.

MYERS, N., MITTERMELER, R. A., MITTERMELER, C. G., et al. "Biodiversity hotspots for conservation priorities", **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 24 fev. 2000. DOI: 10.1038/35002501. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/35002501>. Acesso em: 8 jan. 2021.

NAIR, P. K. Ramachandran. An Introduction to Agroforestry. Dordrecht, **Springer Netherlands**, 1993. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/978-94-011-1608-4>. Acesso em: 11 set. 2019.

NAIR, P. K.R. "Directions in tropical agroforestry research: Past, present, and future", **Agroforestry Systems**, v. 38, n. 1–3, p. 223–245, 1998. DOI: 10.1007/978-94-015-9008-2_10. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-015-9008-2_10. Acesso em: 31 jan. 2021.

NAIR, P. K.R., DAGAR, J. C. "An approach to developing methodologies for evaluating agroforestry systems in India", **Agroforestry Systems**, v. 16, n. 1, p. 55–81, out. 1991. DOI: 10.1007/BF00053197.

NAIR, P. K. Ramachandran, VISWANATH, S., LUBINA, P. A. Cinderella agroforestry systems. **Agroforestry Systems**. [S.l.], **Springer Netherlands**. 1 out. 2017

MARQUES, M. G. Capitalismo dependente e cultura autocrática: contribuições para entender o Brasil contemporâneo. **Revista Katálysis**, v. 21, n. 1, p. 137–146, jan. 2018.

ODUM, H. T.; ODUM, E. C. **The prosperous way down**. **Energy**, v. 31, n. 1 SPEC. ISS., p. 21–32, 1 jan. 2006.

OELBERMANN, M., VORONEY, R. P., KASS, D. C. L., et al. "Soil carbon and nitrogen dynamics using stable isotopes in 19- and 10-year-old tropical agroforestry systems", **Geoderma**, v. 130, n. 3–4, p. 356–367, 1 fev. 2006. DOI: 10.1016/j.geoderma.2005.02.009.

PADOVAN, M. P., NASCIMENTO, J. S., CARIAGA, J. A., et al. "Serviços ambientais prestados por sistemas agroflorestais biodiversos na recuperação de áreas degradadas e algumas possibilidades de compensações aos agricultores". 9, 2017. **Anais [...]** [S.l.: s.n.], 2017. p. 252–266.

PERFECTO, I., VANDERMEER, J. "Biodiversity Conservation in Tropical Agroecosystems A New Conservation Paradigm", [S.d.]. DOI: 10.1196/annals.1439.011.

PURWANTO, B. H., ALAM, S. **Impact of intensive agricultural management on carbon and nitrogen dynamics in the humid tropics**. **Soil Science and Plant Nutrition**. , Taylor and Francis Ltd. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tssp20>. Acesso em: 1 fev. 2021., 2 jan. 2020

RANGEL, O. J. P., SILVA, C. A. "Carbon and nitrogen storage and organic fractions in latosol submitted to different use and management systems", **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 6, p. 1609–1623, 2007. DOI: 10.1590/s0100-06832007000600037. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832007000600037&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 31 jan. 2021.

RAO, M. R.; NAIR, P. K. R.; ONG, C. K. Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. **Agroforestry systems**, v. 38, n. 1, p. 3-50, 1997.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

SAHA, J. K., SINGH, A. B., GANESHAMURTHY, A. N., et al. "Sulfur accumulation in Vertisols due to continuous gypsum application for six years and its effect on yield and biochemical constituents of soybean (*Glycine Max L. Merrill*)", **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 164, n. 3, p. 317–320, 1 jun. 2001. DOI: 10.1002/1522-2624(200106)164:3<317:AID-JPLN317>3.0.CO;2-C. Disponível em: [https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1522-2624\(200106\)164:3%3C317::AID-JPLN317%3E3.0.CO;2-C](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1522-2624(200106)164:3%3C317::AID-JPLN317%3E3.0.CO;2-C). Acesso em: 31 jan. 2021.

SHI, L., XU, J., KUZYAKOV, Y., et al. "Agroforestry systems: Meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials", **Land Degradation and Development**, v. 29, n. 11, 2018. DOI: 10.1002/ldr.3136.

SILESHI, G. W., MAFONGOYA, P. L., NATH, A. J., "Agroforestry Systems for Improving Nutrient Recycling and Soil Fertility on Degraded Lands". **Agroforestry for Degraded**

Landscapes, [S.l.], Springer Singapore, 2020. p. 225–253. DOI: 10.1007/978-981-15-4136-0_8. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-4136-0_8. Acesso em: 31 jan. 2021.

TIESSEN, H., SALCEDO, I. H., SAMPAIO, E. V. S. B. "Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid northeastern Brazil", **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 38, n. 3, p. 139–151, 1 fev. 1992. DOI: 10.1016/0167-8809(92)90139-3.

TURNER, R. K.; DAILY, G. C. The ecosystem services framework and natural capital conservation. **Environmental and resource economics**, v. 39, n. 1, p. 25-35, 2008.

YARWOOD, S. A. The role of wetland microorganisms in plant-litter decomposition and soil organic matter formation: A critical review. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 94, n. 11, 2018.

YANG, Q., MAŠEK, O., ZHAO, L., et al. "Country-level potential of carbon sequestration and environmental benefits by utilizing crop residues for biochar implementation", **Applied Energy**, v. 282, p. 116275, 15 jan. 2020. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.116275.

YOUNG, A. " **Agroforestry for soil management.**, n. Ed. 2, 1997.

5 ARTIGO 1 – Estoque de carbono em sistemas agroflorestais biodiversos: da serapilheira ao solo profundo.

RESUMO

Nos trópicos os sistemas agroflorestais (SAF) são excelentes opções para o sequestro de carbono e produção de serviços ecossistêmicos (SE), contudo há escassez de conhecimentos sobre o estoque de carbono em serapilheira e em solos mais profundo de SAF biodiversos. Este estudo avaliou a produção de serviços de regulação em três SAF biodiversos (SAF1,2,3), uma área de plantio convencional (PC) e um fragmento de mata nativa (MN) no município de Dourados/MS com os objetivos de: (i) qualificar e quantificar o estoque anual de serapilheira; (ii) quantificar o estoque de carbono orgânico no solo (COS) até um metro de profundidade. Os SAFs apresentaram estoques de carbono maiores que o PC e semelhante ao da MN, destacando o SAF3 com maior estoque de carbono na serapilheira (10,4 tC/ha) e o SAF2 ($p < 0,05$) com estoque de 469,6 tC/ha no solo. Os resultados revelaram que os SAFs biodiversos podem produzir mais SE de regulação do que ecossistemas naturais quando bem manejados.

Palavras-chave: mitigação climática, *biochar*, pagamentos por serviços ambientais.

CHAPTER 1 - Carbon stock in biodiverse agroforestry systems: from litter to deep soil.

ABSTRACT

In the tropics agroforestry systems (AFS) are excellent options for carbon sequestration and the production of ecosystem services (ES), however, there is a paucity of knowledge about the carbon stock in litter and deeper soils of biodiverse AFS. This study evaluated the production of regulatory services in three biodiverse AFS (SAF1,2,3), a conventionally planted area (PC) and a fragment of native forest (MN) in the municipality of Dourados/MS with the objectives of (i) qualify and quantify the annual litter stock; (ii) quantify the soil organic carbon stock (COS) up to one meter deep. SAFs had carbon stocks greater than PC and similar to MN, highlighting SAF3 with a higher carbon stock in the litter (10.4 tC/ha) and SAF2 ($p < 0.05$) with a stock of 469.6 tC/ha in the soil. The results revealed that biodiverse SAFs can produce more regulatory SE than natural ecosystems when well managed.

Keywords: climate mitigation, biochar, payments for environmental services.

5.1 INTRODUÇÃO

Além do aumento da temperatura média do planeta, tempestades mais intensas e incêndios florestais prolongados são fortes sinais das alterações no clima (MORAIS et al.,

2017). O desmatamento tropical e a redução dos sumidouros de carbono, provocaram o aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico (CO₂) (SKOLE et al., 2000).

A agricultura tradicional vem provocando perda drástica do carbono orgânico do solo (COS), com reduções que chegam a 28,0% de COS até um metro de profundidade, (SANDERMAN et al., 2017).

A quantidade de carbono presente até 100 cm em solos no mundo é de aproximadamente 1.500 pentagramas (LAL, 2003), esse valor é maior do que a soma dos estoques atmosféricos (828 Pg de C) e de biomassa (560 Pg de C) (CIAIS et al., 2014; IPCC).

O florestamento e reflorestamento, restauração de terras e sequestro de carbono do solo são potenciais medidas para capturar o carbono em excesso na atmosférico (IPCC, 2018; KUMAR et al., 2009).

As florestas, através do processo de fotossíntese, assimilam o carbono da atmosfera e armazenam principalmente em suas estruturas, denominado como produtividade primária líquida (NPP), essa função ecossistêmica reflete a capacidade de sequestro de carbono dos ecossistemas (Gang et al., 2015). O equilíbrio entre a absorção e a liberação de carbono desempenha um papel fundamental nos ciclos de biogeoquímicos de carbono globais (WANG et al., 2009)

A exemplo das grandes florestas, os sistemas agroflorestais (SAFs) são recomendados por diferentes autores, como estratégia de mitigação do clima (ALTIERI & TOLEDO, 2011; NAIR et al., 2017; NAIR, 1993; PERFECTO & VANDERMEER, 2018; PADOVAN *et al.*, 2016; FROUFE et al., 2020; NAIR & DAGAR, 1991), pois o consórcio com árvores no sistema de produção agrícola, além da NPP, promovendo serviços de regulação, nutre o solo com serapilheira, oferecendo ao sistema solo, entrada constante de nutrientes e carbono oferecendo serviços de suporte à vida (BEER 1988; OELBERM ANN E VORONEY, 2007).

Nesse sentido, os SAFs biodiversos de bases agroecológicas levam vantagens, pois também podem gerar renda contínua através da produção de alimentos (PADOVAN et al., 2010) e aumentar a resiliência ecológica, econômica e social das áreas restauradas (ENGEL, 2011).

Outra alternativa promissora para o sequestro e armazenamento de carbono em solos é o *biochar*, ou biocarvão (IPCC, 2019). Tecnologia herdada dos povos indígenas da Amazônia, esse material é formado a partir da pirólise de biomassa vegetal, destinado especificamente para melhorar as propriedades físicas, químicas e processos microbiológicos do solo (YOUNG, 1997), e mesmo em condições ambientais e biológicas favoráveis, permanece durante muitos anos no solo devido sua recalcitrância (SOHI, KRULL, et al., 2010).

Dentre os diferentes compartimentos de uma floresta ou SAF, a serapilheira é um dos mais relevantes. Constituída por folhas, galhos, cascas, troncos, flores, inflorescências, frutos e sementes (ARATO et al., 2003, SCORIZA et al., 2012), forma um complexo sistema ecológico, desempenhando papel fundamental na ciclagem de nutrientes e criar condições ideais para o processo de infiltração de água (SCHUMACHER & HOPPE, 1998).

Nos solos onde a serapilheira é mais abundante e diversa, há aumento na biodiversidade da fauna edáfica e garante microclima favorável para biomassa microbiana e a macrofauna (CUNHA NETO et al., 2013 e ASHFORD et al., 2013).

A produção de serapilheira, pode variar em função da sazonalidade da região, da fenologia e composição das espécies e dos estágios sucessionais (PAUDEL et al., 2015). Nos trópicos, quando há sazonalidade no aporte de serapilheira, geralmente ocorre no período de menor índice de chuvas (AIDAR e JOLY, 2003; ZHANG et al., 2014; MARTINELLI et al., 2017, DJUKIC et al., 2018).

A qualidade da serapilheira é o principal fator na decomposição e é fortemente influenciada pela precipitação (DJUKIC et al., 2018). O conteúdo da serapilheira e os nutrientes que a constituem contém baixa qualidade nutricional (PAUDEL et al., 2015).

A matéria orgânica do solo (MOS) depende das propriedades físicas-químicas da serapilheira, variando conforme o teor de compostos orgânicos e inorgânicos (frações solúveis, nutrientes, lignina, celulose, compostos fenólicos, carbono), alta porcentagem de lignina e compostos aromáticos, por exemplo, tornam o material mais recalcitrante, já elevados teores de carboidratos solúveis ou celulose deixam o material mais lábil, facilitando a atuação da macrofauna (MOREIRA e SIQUEIRA 2006) e dos organismos envolvidos na decomposição desse material como, bactérias, fungos (VEEN et al., 2015).

Portanto, a serapilheira é a interface planta/fauna/solo onde ocorre a transferência de matéria e energia para o solo e sua decomposição reabastece o sistema (MARTIUS et al., 2004), exercendo grande controle no ciclo do carbono (ADAMS e ANGRADI, 1996). Desta forma, o carbono que antes estava na atmosfera, agora compões o solo vivo na forma de COS amplamente mediado por micróbios do solo (VAN GROENIGEN et al., 2010).

As boas práticas de manejo da serapilheira em sistemas agroflorestais mantêm saudáveis a comunidade faunística garantindo constante entrada de carbono no solo (MOÇO et al., 2010).

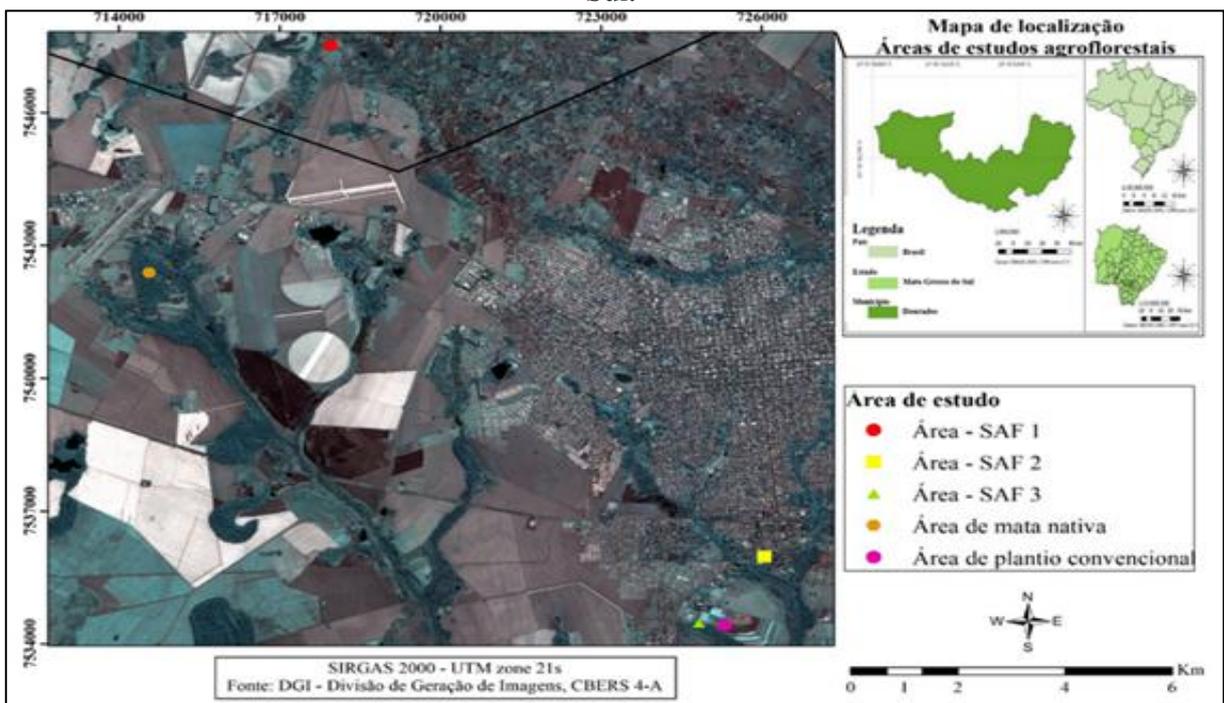
Segundo Nair et al. (2009), as estimativas de estoque de carbono em SAF são fundamentais para o entendimento do processo de conversão de CO₂ nesses ambientes, não só na parte aérea como também no solo.

Nesse contexto, em que há necessidade de ações imediatas para o controle climático, onde SAFs são indicados como fornecedores de diversos serviços ecossistêmicos e que o solo é de fato um dos maiores reservatório de carbono do planeta, este trabalho teve como objetivo quantificar os SE de regulação e suporte oferecidos por três SAFs biodiversos, a partir de coletas de campo para estimar o estoque de carbono na serapilheira e no solo até um metro de profundidade, em cada SAF estudado, tendo como referencial uma área de plantio convencional (PC) e um fragmento de mata nativa (MN).

5.2 MATERIAL E MÉTODOS.

5.2.1 Áreas de estudo

Figura 1. Localização das áreas estudadas no município de Dourados e sua localização no estado de Mato Grosso do Sul.



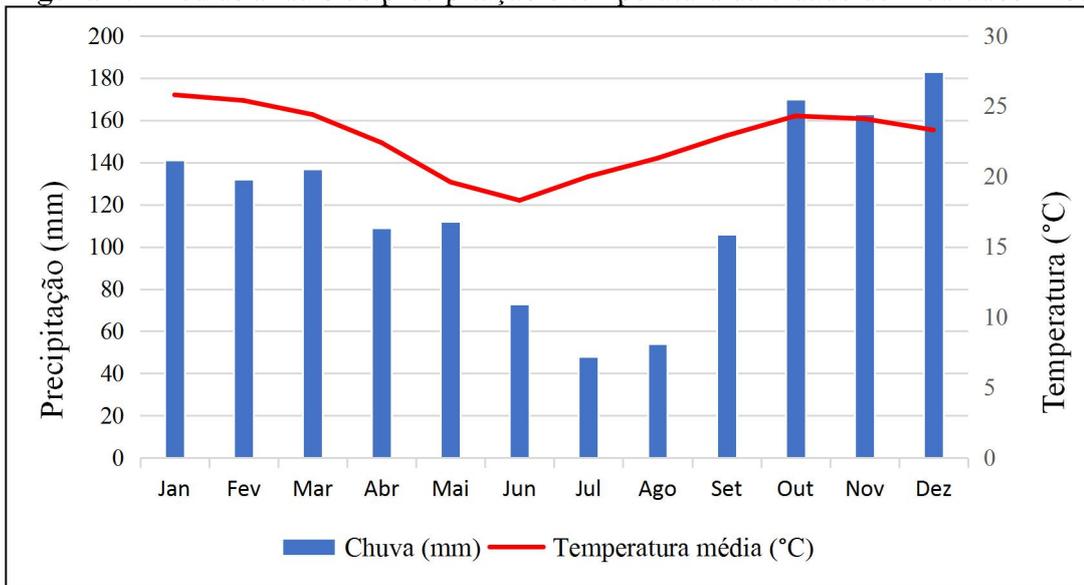
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O estudo foi desenvolvido na região Centro Oeste do Brasil que abriga os biomas Pantanal, Cerrado e Mata Atlântica. Foi escolhida a região periurbana da Cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul, pois se encontra em um ecótono entre a Mata Atlântica e o Cerrado, dois dos *hotspots* mais ameaçados do mundo (IBGE, 2019).

O estudo foi realizado durante os anos de 2019 e 2020, envolvendo cinco áreas, sendo três SAFs biodiversos (SAF1, SAF2, SAF3), um plantio convencional (PC) e um fragmento de mata nativa (MN) (Figura 1).

Dourados está localizado a 450 m acima do nível do mar, o clima é tropical e na maioria dos meses do ano existe uma pluviosidade significativa. Existe uma curta época seca e não é muito eficaz. De acordo com a Köppen e Geiger, o clima é classificado como Am. A temperatura média anual é de 22.7 °C, a pluviosidade média anual é de 1428 mm. Em julho, a precipitação é de 48 mm, sendo este o mês mais seco do ano. Em dezembro, a precipitação é geralmente maior, com uma média de 183 mm (Figura 2).

Figura 2. Médias anuais de precipitação e temperatura da cidade de Dourados MS.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Todos os SAFs analisados são biodiversos e manejados em bases agroecológicas, sendo assim não utilizam insumos como fertilizantes químicos e agrotóxicos. As cinco áreas estudadas estão sobre Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa (EMBRAPA, 2018), o que faz diminuir a incerteza nas análises. Na Tabela 1 são apresentados alguns dados das áreas estudadas.

Tabela 1. Dados gerais das áreas estudadas.

Dados das áreas de estudos	PC	SAF1	SAF2	SAF3	MN
Localização	Dourados - MS				
Latitude	22°16'51''	22°09'48''	22°16'00''	22°16'49''	22°12'38''
Longitude	54°48'48''	54°53'11''	54°48'21''	54°49'04''	54°55'08''
Altitude (m)	380	360	362	377	408
Temperatura média anual (°C)	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7
Precipitação média anual (mm)	1428	1428	1428	1428	1428
Tipo de solo	LVd	LVd	LVd	LVd	LVd
Tipo de uso de solo anterior	Lavoura	Lavoura	Pastagem	Pastagem	Reserva legal
Espaçamento entre árvores	nd	6x6	6x6	6x6	nd
Ano de implantação	nd	2007	2008	2011	nd
Riqueza de espécies vegetais arbustiva e arbórea	1	92	33	50	71
Principal produção	Mandioca	Frutíferas	Limão	Banana	nd

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O SAF1, foi implantado em 2007, arranjo multiestratificado e como foco na produção diversificada de frutíferas, esse SAF se desenvolve como uma floresta pomar, parte da renda produzida vem da produção de polpa, cana de açúcar para produção de garapa, horta e produção de plantas ornamentais. Atualmente não são feitas podas regulares nas árvores, com 14 anos de implantação, esse agroecossistema já é capaz de se auto regular com aporte de serapilheira e o restabelecimento de funções ecossistêmica que já são compartilhando com os vizinhos, pode ser considerado um quintal florestal. O manejo é realizado por 4 pessoas, auxiliadas por um trator de pequeno porte para serviços diversos.

Os serviços ecossistêmicos culturais não foram alvo deste estudo, porém vale relatar que o SAF1 tem sido uma referência na região, tem sido objeto de dezenas de pesquisas, visitas de escolas para educação ambiental, ponto de parada para ecoturistas e grupos de ciclistas, apenas com essas ações já se percebe o volume de serviços ecossistêmicos deste SAF.

O SAF2 foi implantado em 2008, a principal produção é de limão taiti (*Citrus × latifolia* Tanaka e Q. Jiménez). Há também uma área para cultivo de mandioca e o início da produção de *Hylocereus polyrhizus* (Pitaya). Constituído por apenas um estrato arbóreo, que gera pouca biomassa para o solo. Há oito anos o solo vem recebendo como cobertura o *biochar* (fragmentos de carvão vegetal) e moídos de podas urbanas.

A decisão de usar o *biochar* como cobertura de solo nessa área ocorreu de forma empírica, de acordo com o relato do proprietário, que também gerenciava uma carvoaria, aplicou intuitivamente restos muito fragmentado de carvão descartado pela empresa e resolveu testar em uma pequena horta, observou resposta positiva ao perceber o vigor das

hortaliças, então resolveu iniciar a deposição desse material em toda a área. A família reside no local e conta com força de trabalho de até 3 colaboradores.

O SAF3 foi implantado em 2011, tendo como foco a produção de *Musa paradisiaca* L. (banana.), cultivares de estrato herbáceo e árvores nativas com potencial extrativista, como por exemplo a *Dipteryx alata* Vogel (Baru), é do tipo multiestratificado e conta com equipe que realiza podas anuais e manejo constante na área.

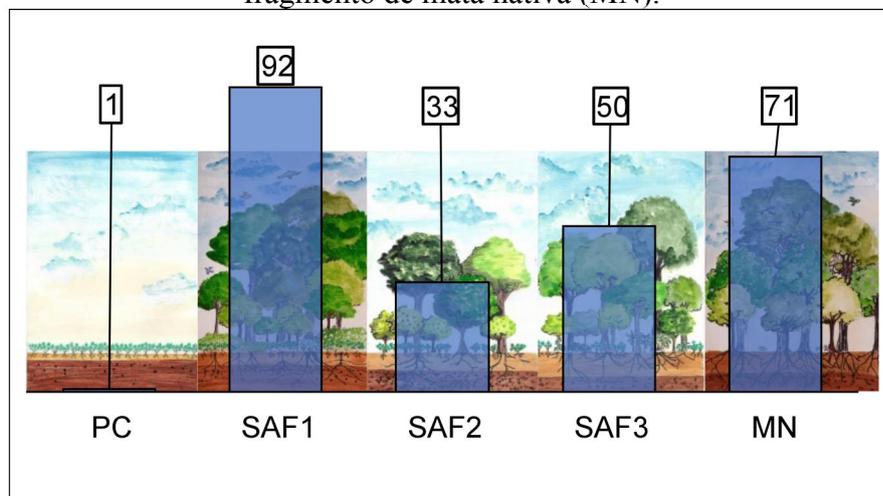
O PC recebe manejo mecanizado e plantio com rotação de cultura de cana e mandioca. Seguindo o modelo tradicional, são aplicados periodicamente insumos para correção e nutrição do solo. No período de coletas deste estudo a produção era de mandioca.

O fragmento de MN, tipificado como Floresta Estacionária Semidescidual ou Caducifólia (IBGE, 1992), é remanescente de reserva legal de uma antiga fazenda, está localizada a oeste da cidade, e serviu como referencial para o estudo. Essa área sofre riscos de degradação em função da pressão imobiliária.

5.2.2 Riqueza de espécies arbustivas e arbórea

Os dados de riqueza de espécies arbustiva e arbórea (Figura 3), foram cedidos pela Embrapa Agropecuária Oeste, que realiza o monitoramento dos SAFs 1, 2 e 3 para o desenvolvimento do projeto “Sistemas agroflorestais: Produção de alimentos, geração de renda e recuperação ambiental” que se encontra na fase dois. A lista das espécies arbustivas e arbóreas das áreas estudadas (EMBRAPA) está disponível no anexo 12.1.

Figura 3. Riqueza de espécies de plantas arbustivas e arbórea encontrada nos sistemas avaliados. Plantio convencional (PC), sistema agroflorestal biodiversos um (SAF1), sistema agroflorestal biodiversos um (SAF2), sistema agroflorestal biodiversos um (SAF3) e fragmento de mata nativa (MN).



Letras minúsculas diferentes ao lado das médias não diferem significativamente.

Fonte: Embrapa (2021).

5.2.3 Estoque de carbono na Serapilheira.

Foram realizadas seis coletas, com cinco amostras de serapilheira nas cinco áreas de estudo. Lançando-se ao acaso um aro quadrado de 50 cm por 50 cm ao chão, toda a serapilheira presente na área foi armazenada em sacos de papel (Figura 4), posteriormente levados para estufa e aquecida a 60°C durante 72 horas.

Após a secagem, o material foi fracionado em 4 grupos: folhas, galhos, frutos e sementes e miscelânea. Em seguida, foi aferida a massa seca em balança com precisão de 0,01g, registrado em planilha e transformados em toneladas por hectare (t/ha^{-1}).

Foram calculadas as médias de estoque anual de serapilheira e as médias de dois períodos: período 1 (23/03/2020, 22/05/2020 e 11/07/2020) e período 2 (23/09/2019, 25/11/2019, 22/01/2020).

Para avaliação do carbono presente na serapilheira, multiplicou-se os valores da biomassa seca pelo fator 0,5, uma vez que esta biomassa contém aproximadamente 50% de carbono (IPCC, 2009).

Figura 4. Coleta e armazenamento de serapilheira contida na área delimitada pelo gabarito quadrado de 50cm de aresta, após lançamento aleatório.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

5.2.4 Estoque de carbono no solo.

Foram escavadas cinco trincheiras de 80 cm de largura por 100 cm de comprimento e 100 cm de profundidade (Figura 5) em cada área de estudo (PC, SAF1, SAF2, SAF3 e MN). Utilizando um anel de aço (Kopeckye) de bordas cortantes com volume interno de 50 cm³, foram retiradas amostras indeformadas de solo nas profundidades de 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm, 30-50 cm e de 50-100 cm, totalizando 125 amostras.

Figura 5. Trincheira (80x100x100cm) escavada para coleta de amostras deformadas e indeformadas de solo em diferentes profundidades.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Primeiro foi determinada a densidade aparente conforme EMBRAPA (2011), verificando o volume e peso do anel com as amostras, em seguida o conjunto foi seco em estufa e novamente aferido sua massa. Para obter os resultados empregou-se a equação 1:

$$D_s = (M_s / V) \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: D_s é a densidade aparente, M_s é a massa do solo seco à 105 °C e V é o volume do anel.

O carbono orgânico total foi determinado por meio do analisador Vario T.O.C cube (Elementar® - Alemanha), para tanto, foram coletadas amostras de solo das paredes das trincheiras nas diferentes classes de profundidade, peneirado com peneira de 2mm e levado à estufa por 24 horas em temperatura de 50°C, depois foram separadas aproximadamente 2 gramas de solo e macerado com ajuda de um pistilo e um almofariz, na sequência foram separados de 40 a 50 mg de solo de cada amostra, para serem analisadas pelo aparelho T.O.C. Cube.

No caso do T.O.C, o gás de arraste e de combustão utilizado é o ar sintético e o equipamento possui um tubo de combustão e o detector de infravermelho para que sejam monitoradas as temperaturas. As amostras foram incineradas a temperaturas maiores que 800°C, e os compostos produzidos pela combustão conduzidos a catalisadores, assegurando-

se que todo carbono presente nos gases produzidos fosse convertido em CO₂, o qual é arrastado pelo ar sintético e quantificado através de espectroscopia de absorção no infravermelho. Os dados são armazenados em planilha com valores de COT em %.

Essa metodologia tem sido utilizada por gerar menos resíduos químicos do que a recomendada pelo IPCC, além de apresentar melhores resultados com acurácia de 95% e ser mais barata (LÁZARI, DIAS, et al.,2015).

O estoque de COS foi estimado a partir da equação 2 (IPCC, 2019):

$$\text{Est C} = (\text{COT} \times \text{Ds} \times \text{e})/10 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (t/ha), COT = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g/kg), Ds = densidade do solo da profundidade (kg/dm³), e = espessura da camada considerada (cm).

5.2.5 Análises estatísticas

Foi verificada a normalidade dos dados através do teste de Shapiro-Wilk.

Para a serapilheira, foi realizada análise multivariada de fator único (ANOVA) e para o COS, aplicou-se a ANOVA fator duplo com repetição para testar se há diferença nas profundidades e entre grupos. O teste de Tukey (p<0,05) foi empregado para indicar as diferenças estatísticas significativas.

Para verificar a relação da riqueza de espécies arbustivas e arbóreas na produção de serapilheira e no COS, foram realizadas regressões lineares simples utilizando o *Software* RStudio.

Para melhor visualização dos dados, foram gerados gráficos de matrix de dados e dendrogramas (*clusters*) com distância euclidiana através do *Software* Past,.

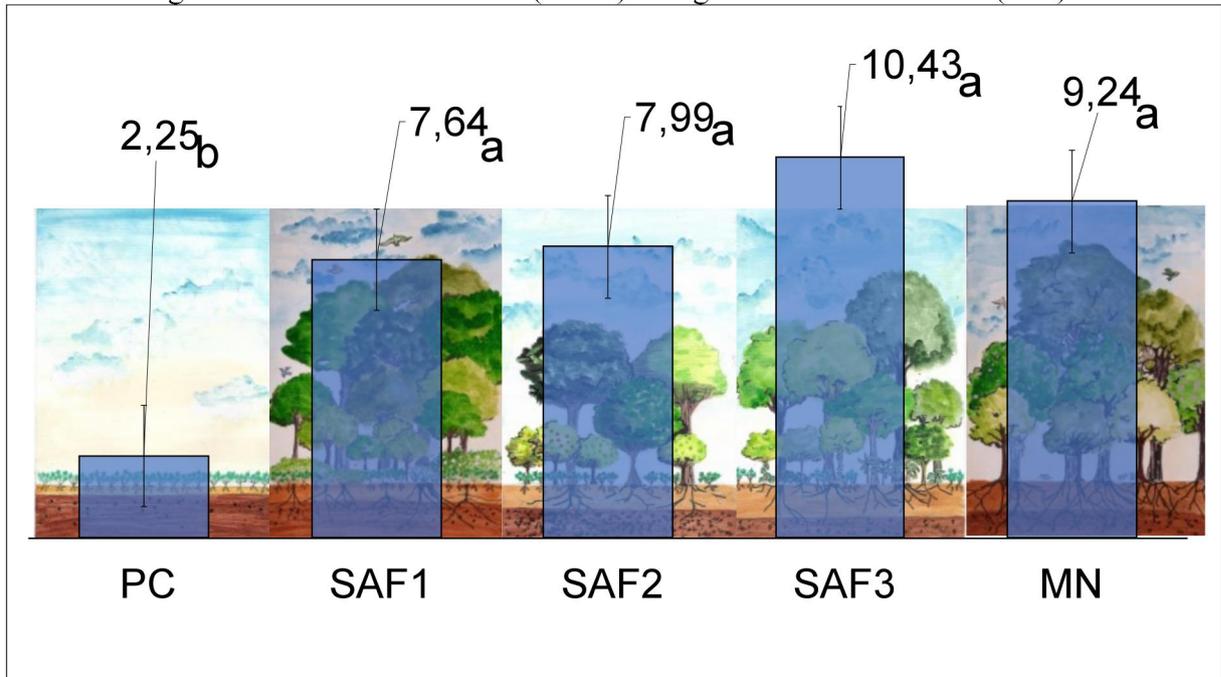
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Serapilheira

O estoque anual médio de serapilheira foi de 2,25, 7,64, 7,99, 10,43 e 9,24 t/ha, no PC, SAF1, SAF2, SAF3 e MN, respectivamente (Figura 6). Apenas o PC apresentou diferença significativa (p= 0,0001) em relação as demais áreas estudadas.

Os SAFs 1,2 e 3, apresentaram estoques de serapilheira semelhante ao da MN, sendo que os valores encontrados no SAF3 foram maiores do que os da MN, evidenciando elevada produção de SE de suporte.

Figura 6. Estoque anual médio de serapilheira (t/ha) em Plantio convencional de mandioca (PC), sistema agroflorestal biodiversos com idade, riqueza espécies e manejo diferentes em Dourados, MS, sendo um (SAF1), sistema agroflorestal biodiversos um (SAF2), sistema agroflorestal biodiversos um (SAF3) e fragmento de mata nativa (MN).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Ter como parâmetro de produção de SE um ecossistema nativo, garante avaliações seguras quanto aos SE prestados por SAF, uma vez que os ecossistemas nativos resultam de um longo processo adaptativo, adequando as espécies às condições ambientais locais.

Em florestas naturais, são vários os fatores que interferem no estoque de serapilheira, o regime hídrico é um deles, contudo fatores como a biodiversidade e tipo de composição florística também. Já em SAF, além desses fatores, a idade e o tipo de manejo também são importantes para o incremento de matéria orgânica no solo. No entanto, dependendo das características de cada ecossistema, determinados fatores podem prevalecer sobre os demais (FIGUEIREDO FILHO et al., 2003).

Entre os SAF1, 2 e 3, o SAF3 é mais novo (10 anos) e o que apresenta estrutura multiestratificada, ou seja, que aproveitam as áreas de meia sombra com cultivares de estrato arbustivos ou herbáceos fornecem um suprimento contínuo de materiais orgânicos para o solo (BEER, 1988), sugerindo que este arranjo tenha contribuído para o estoque de 10,43 t/ha de serapilheira nesse SAF.

É assim, por exemplo, que a exuberante Floresta Atlântica cria estratégia de ciclagem de nutrientes dentro do sistema (HERRERA et al., 1978; SCHUBART et al., 1984),

aproveitando toda estrutura vertical e horizontal da comunidade vegetal para produzir a serapilheira (LOWMAN, 1988).

O estoque de serapilheira na MN (9,24 t/ha), foi semelhante a diversos estudos de realizados em floresta estacional semidecídua, como por exemplo 5.9 t/ha (RODRIGUES, 1999), 8,8 t/h (SHEILA ISABEL DO CARMO PINTO, et. al), 11,5t/ha (DINIZ & PAGANO, 1997), 10,5 t/ha (CARPANEZZI, 1980), 7,7 t/ha (DIAS & OLIVEIRA FILHO, 1997), 9,2 t/ha (KÖNIG *et al.*, 2002). Portanto vemos que o estoque de serapilheira dos SAF biodiversos aqui investigados, já se assemelham aos ecossistemas da região em que estão inseridos.

Diferente dos ecossistemas naturais, os SAFs biodiversos são manejados visando o aumento de produtividade, resultando no fortalecimento de funções ecossistêmicas e produção SE de suporte na medida que a manutenção da fertilidade do solo por meio da serapilheira, reverte em mais produtos que geram, além de alimentos, outros SE como a manutenção do micro clima, beleza cênica e fortalecimento da biodiversidade, não avaliados neste estudo, mas que podem facilmente ser percebido.

Arato et al. (2003), estimaram a produção anual de serapilheira em SAFs em Viçosa-MG, contabilizando 10,16 t/ha, esse valor é muito semelhante ao que encontramos no SAF3 (10,43 t/ha), evidenciando o potencial de SAFs produzirem SE tanto quanto as florestas naturais.

Na figura 7, o estoque de serapilheira foi separado em dois períodos, período 1 mais seco (23/03/2020, 22/05/2020 e 11/07/2020) e período 2 mais chuvoso (23/09/2019; 25/11/2019, 22/01/2020) (Figura 2), para investigar possíveis sazonalidades quando comparados ao clima.

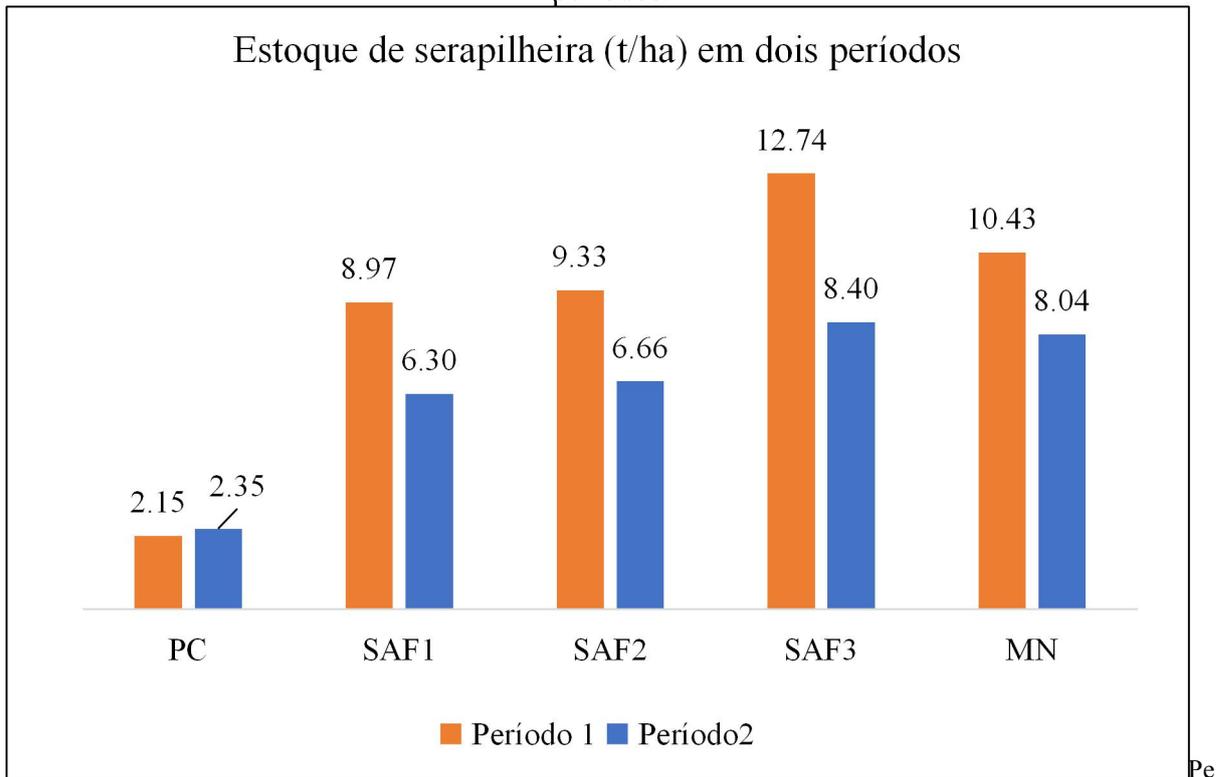
O estoque de serapilheira foi maior no período 1 nos SAF1, SAF2, SAF3 e na MN, o PC foi maior no período 2 porém, com pouca diferença entre os períodos.

Vários fatores podem influenciar a produção e qualidade da serapilheira, entre eles a densidade e composição de espécies de plantas, arranjos espaciais por meio de efeitos de microclima (LIU et al. 2011; CAO et al. 2016).

Estudando a produção de serapilheira em floresta semidecídua Vital *et al.* (2004), verificaram alta produção de serapilheira no período seco. O mesmo resultado foi relatado por Brancher et al. (2011) em estudo realizado em quatro diferentes SFAs na região amazônica.

Esse aporte de serapilheira em período seco deve-se principalmente ao mecanismo de resposta ao estresse hídrico realizado pelas plantas a fim de reduzir a perda de água por transpiração (MARTINS E RODRIGUES, 1999).

Figura 7. Estoque de serapilheira (t/ha) separada em dois períodos.



Período 1 (23/03/2020, 22/05/2020 e 11/07/2020) e período 2 (23/09/2019; 25/11/2019, 22/01/2020).

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Já destacamos o papel da serapilheira na manutenção da fertilidade do solo e sua influência no aporte de carbono no solo, contudo os processos que estabilizam o carbono no solo ainda é um desafio. A lixiviação da serrapilheira juntamente com a precipitação, destacam-se como vias importantes de entrada de substâncias no sistema solo-planta (MIRANDA et al., 2018; CRUZ et al., 2018).

Neste contexto, as folhas presentes nessa camada têm relevante papel, visto que a mistura de diversas espécies aumenta a atividade microbiana e/ou sua abundância no solo e, conseqüentemente, a decomposição da serrapilheira pelo mesmo. Logo, a diversidade de espécies de folhas ocasiona diferentes porcentagens de liberação de nutrientes (SILVEIRA et al., 2011).

O fluxo nutricional de um ecossistema normalmente tem sua limitação associada à quantidade de nitrogênio (N), que constitui alguns componentes das células vegetais e é necessário em grandes concentrações às plantas. O N está no solo majoritariamente na forma orgânica (98% do N total), a outra parte vem da mineralização desta fração orgânica pela decomposição de microrganismos, resultando em amônio (NH₄⁺), nitrato (NO₃⁻) e, em certos

casos, pequenas quantidades de nitrito (NO₂-), formas inorgânicas de N e assimiláveis pela vegetação (FIGUEIREDO, 2016).

Outro macronutriente essencial é o carbono (C), principal constituinte da matéria orgânica cuja maior parte está na forma de carbono orgânico dissolvido (COD). O COD origina-se principalmente na decomposição de plantas e animais, tal como no produto de excreção destes organismos (SILVA et al., 2007).

A porção inorgânica deste macronutriente é encontrada especialmente como carbono inorgânico dissolvido (CID), ocorrendo em três frações: CO₂ livre (CO₂ + H₂CO₃), íons bicarbonato (HCO₃⁻) e carbonato (CO₃²⁻) (SOUSA, 2007).

A serapilheira pode ser de ‘alta qualidade’, caracterizada por altas concentrações de N, baixas relações C / N e baixas concentrações de fenol / lignina ou de ‘baixa qualidade’ caracterizadas por baixas concentrações de N, alto C / N e altas concentrações de fenol / lignina. (CASTELLANO et al., 2015). Neste caso, serapilheira com maior porcentagem de folhas a apresentam maior qualidade.

Tabela 2. Frações da serapilheira (t/ha e %).

Áreas	Folhas		Galhos		Frutos/sementes		Miscelânea		Total
	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%	t/ha
M.N.	3,91	42,3	2,35	25,5	0,20	2,2	2,78	30,0	9,24 a
SAF1	3,81	49,9	1,35	17,6	0,27	3,5	2,21	28,9	7,64 a
SAF2	3,03	37,9	2,14	26,8	0,24	3,0	2,58	32,2	7,99 a
SAF3	4,07	39,0	3,64	34,9	0,09	0,9	2,76	26,5	10,43 a
PC	0,01	0,3	0,15	6,8	0,00	0,1	2,09	92,8	2,25 b

Letras iguais ao lado dos totais de serapilheira (t/ha) indicam não haver diferença estatística significativa. MN = Mata nativa, SAF1 = tratamento um, SAF2 = tratamento dois, SAF3 = tratamento três, PC = plantio convencional, t/há = toneladas por hectare.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Bray & Ghoran (1964), em estudo mundial, concluíram que de modo geral, nas diferentes zonas macroecológicas as serapilheiras amostradas em diferentes florestas do mundo são compostas de 60-80% por folhas, de 1-15% por frutos, de 12-15% por ramos e de 1-15% por cascas de árvores.

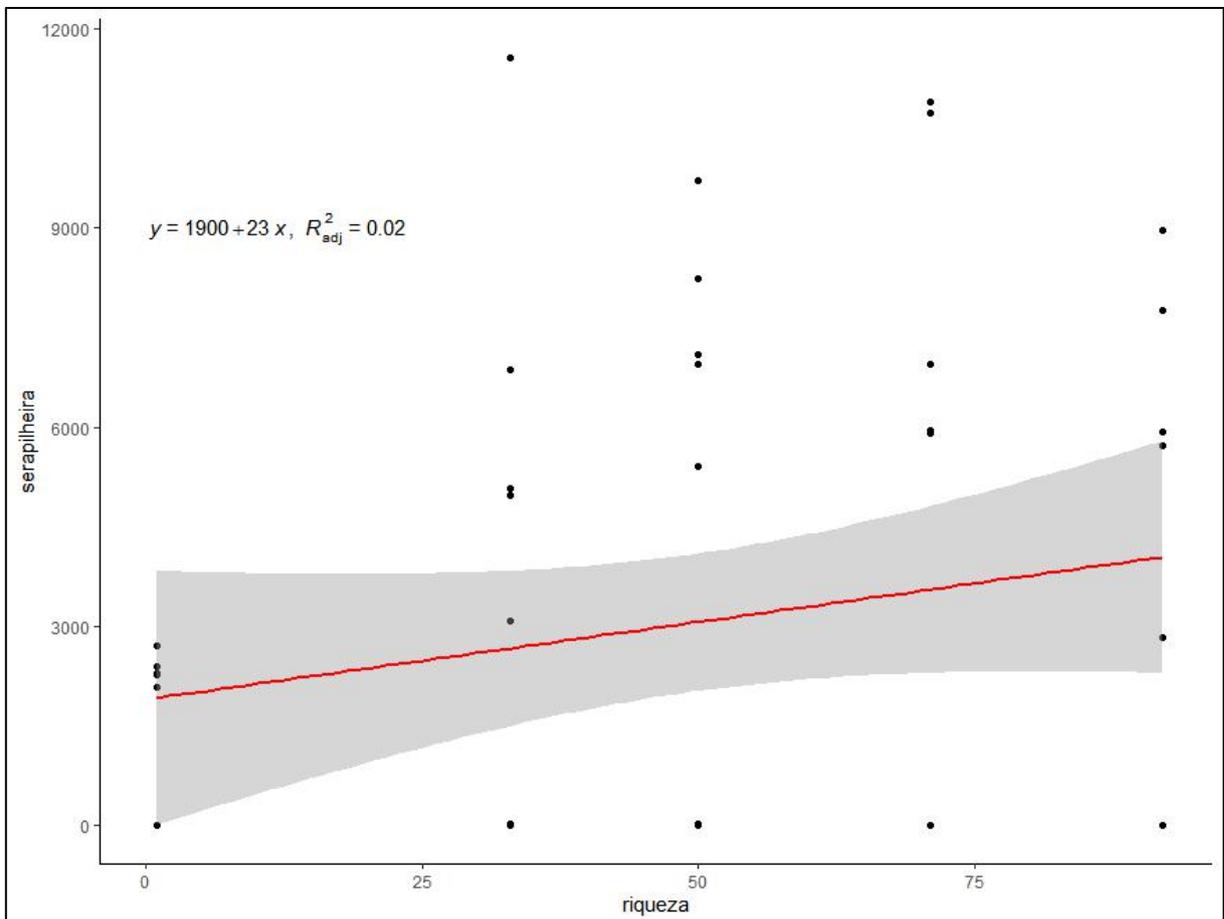
Brun et al. (1999) verificaram valores 71% de folhas na composição da serapilheira numa Floresta Estacional Decidua em Santa Tereza-RS.

Tanto na MN quanto nos SAFs 1,2 e 3, a porcentagem de folhas na composição da serapilheira foi maior que os outros componentes (Tabela 2), menores que a estimativa mundial, contudo, sabe-se que o estoque de serapilheira sofre influência do tipo de vegetação,

estágios sucessionais, latitude, altitude, temperatura, ventos, precipitação, herbivoria, disponibilidade hídrica e estoque de nutrientes do solo (PORTES et al., 1996).

Ao correlacionar os valores de estoque de serapilheira encontrado nas cinco áreas deste estudo, com a riqueza de espécies arbustivas e arbórea presentes, foi positiva, ($R^2_{adj}=0,02$) (Figura 8), ou seja, diversificar o plantio de espécies de arbustivas e arbóreas em SAF contribui para o estoque de serapilheira, porém a correlação foi baixa, indicando que outros fatores também podem contribuir, como o tipo de manejo empregado nos SAFs.

Figura 8. Regressão linear entre o estoque de Serapilheira (t/ha) e a riqueza de espécies encontra nas áreas estudadas para o período chuvoso.



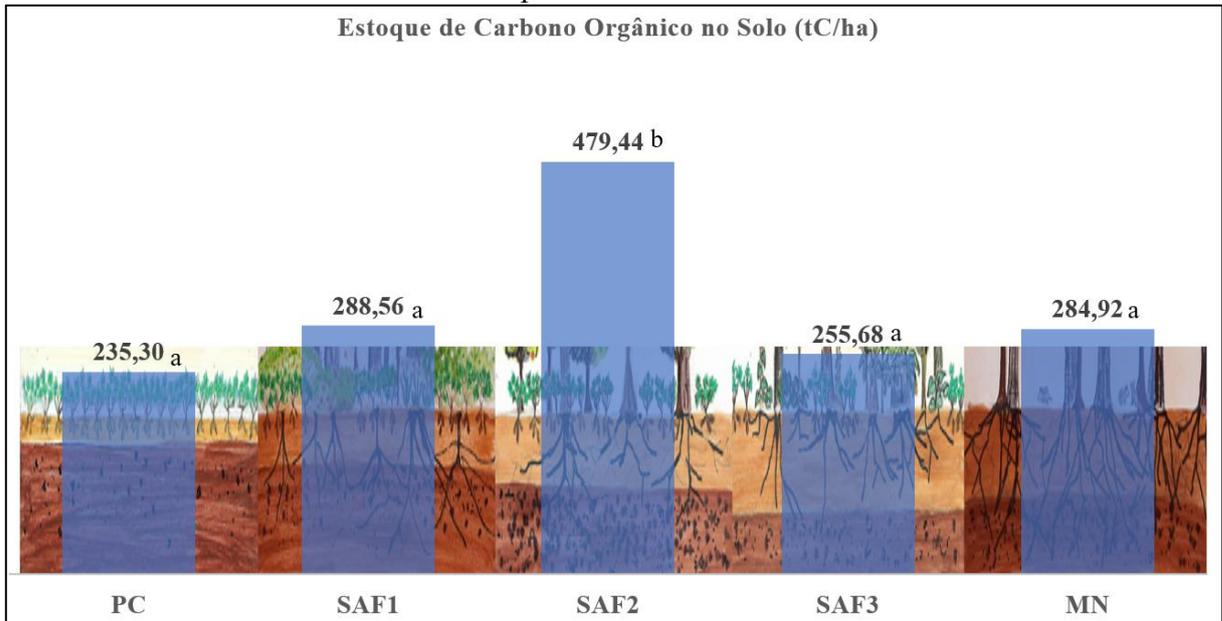
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

5.3.2 Estoque de carbono no solo.

Na Figura 9 são apresentados os totais de estoque de COS até um metro de profundidade encontrado em cada sistema.

Houve diferença significativa entre os sistemas estudados ($p=1^{-6}$), sendo que o SAF2 foi quem se destacou, acumulando 479,44 tC/ha. O manejo com cobertura de solo usando o *biochar* e restos de podas urbanas explicam esse resultado.

Figura 9. Total acumulado de carbono orgânico até 100 cm de profundidade.



Médias seguidas de mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O *biochar* é geralmente considerado como composto de carvão vegetal derivado de biomassa destinado especificamente para aplicação no solo melhorando sua fertilidade. Derivado da decomposição térmica de biomassa vegetal (pirólise) na ausência parcial ou total de oxigênio, esse material é altamente recalcitrante e evita que o carbono volte rapidamente para a atmosfera (BREWER, UNGER, et al., 2011).

No caso do SAF2, o *biochar* aplicado foi o rejeito de carvoarias de eucalipto. O solo foi coberto com *biochar*. Formando uma camada de aproximadamente 5cm (Figura 10).

Figura 10. Cobertura do solo com *biochar* realizada no SAF2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Embora o uso do *biochar* como uma ferramenta para mitigação das mudanças climáticas ainda esteja sob investigação experimental, é inegável que pode desempenhar um papel importante no futuro com mitigação simultânea das mudanças climáticas, melhoria do solo, remediação do solo e aumento da produtividade da cultura (LENG, HUANG, et al., 2019).

Shi et. al (2018), realizaram uma meta-análise sobre o carbono encontrado no solo de SAF em diversas partes do mundo, constatando que os estoques médios de COS em SAFs foram de 126 tC/ha^{-1} , que é 19% a mais do que em áreas de cultivo ou pastagens. Constataram, ainda, que os estoques de COS de SAFs ainda estão subestimados, porque poucos dados estão disponíveis de outros tipos de SAFs, como os biodiversos.

A tabela 3 apresenta o estoque de carbono no solo, quantificado em cinco classes de profundidade com a indicação da análise de variância e similaridade entre os sistemas avaliados.

Nas profundidades de 0-5 e 5-15 cm, apenas o SAF2 se diferenciou estatisticamente, somando apenas nessa profundidade $272,65 \text{ tC/ha}$.

Tabela 3. Médias do estoque de carbono orgânico no solo (tC/ha) em diferentes profundidades nos diferentes sistemas estudados.

Estoque de Carbono no solo (tC/ha)					
Profundidade (cm)	PC	SAF1	SAF2	SAF3	MN
0-5	18,23 a	25,64 a	160,48 b	33,31 a	36,29 a
5-15	37,96 a	45,01 a	112,17 b	36,25 a	47,49 a
15-30	46,20 a	52,59 a	61,89 a	53,13 a	58,53 a
30-50	46,80 a	56,96 a	55,43 a	45,68 a	50,52 a
50-100	86,12 a	108,37 b	89,48 a	87,30 a	92,09 a
Total 0-100	235,30 a	288,56 a	479,44 b	255,68 a	284,92 a

PC: plantio convencional; SAF1: sistema agroflorestal 1; SAF2: sistema agroflorestal 2; SAF3: sistema agroflorestal 3; MN: mata nativa. Médias seguidas da mesma letra, na mesma linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O SAF3 ($p=0,98$) e o SAF1($p=0,5$) não se diferenciaram da MN, sendo que o SAF3 apresentou valores muito próximos deste referencial natural, sugerindo que o sistema está fixando carbono com eficiência, que a serapilheira de qualidade e exsudatos das raízes das árvores e espécies herbáceas possam estar contribuindo para o sequestro desse carbono.

Nas profundidades de 15-30 e 30-50 cm não houve diferença entre os grupos.

Ao estudarem o estoque de carbono em Latossolo Vermelho distroférico textura argilosa, sob integração lavoura pecuária e plantio direto, ambos sistemas conservacionistas, que assim com os SAFs, buscam enriquecer o solo com matéria orgânica, Francisco da Silva *et al* (2011) constataram que o maior estoque de carbono foi na profundidade de 0-5 cm, diminuindo até 30 cm.

Até 30cm houve o aumento do estoque de carbono, apenas o SAF2 apresentou estoque de carbono maior que a MN, de 30-50cm o estoque de COS começa a diminuir, de 50-100cm todos os sistemas apresentaram valores mais altos. Vale lembrar que nos primeiros 50cm o estoque foi maior do que nesta última classe de profundidade.

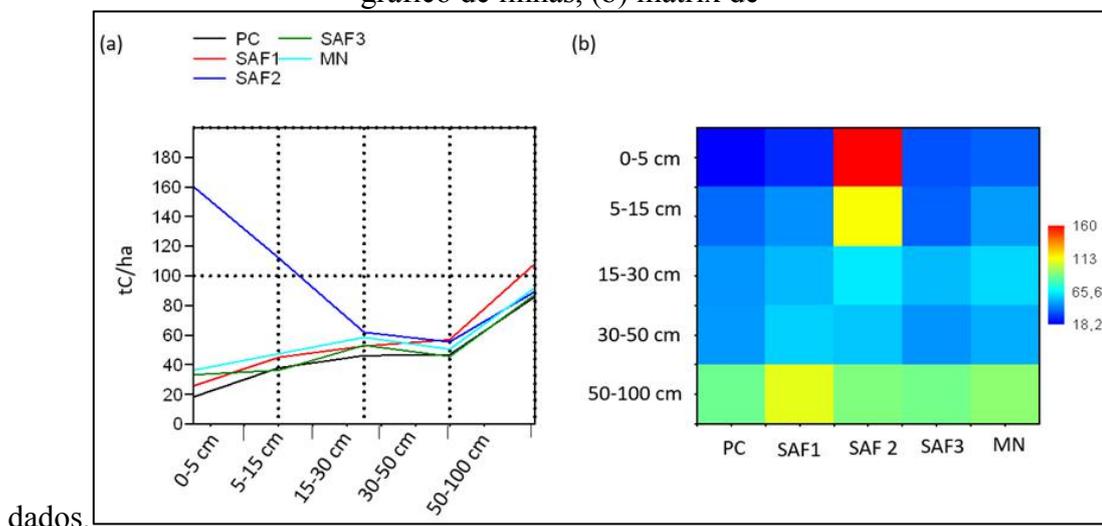
As árvores mais maduras por meio de suas raízes mais fundas pode modificar a distribuição das frações de carbono orgânico (REYNA-BOWEN, FERNANDEZ-REBOLLO, et al., 2020).

Já na profundidade de 50-100 o SAF1 ($p<0,05$) se diferenciou dos demais, apresentando maior estoque de carbono nessa profundidade (108,37 tC/ha), a idade (14 anos), a riqueza de espécies arbustivas e arbórea (92 espécies) e presença de árvores mais antigas e altas são fatores que podem ter contribuído para esse estoque de carbono.

As raízes mobilizam nutrientes por meio de penetração profunda no solo e processos de rizosfera que induzem o intemperismo de minerais primários. Esses processos contribuem para a transferência de C para os solos e para a nutrição das árvores (CALLESEN et al., 2016).

Os estudos que tratam da dinâmica das raízes finas em camadas profundas de solos (profundidade > 1 m) ainda não são capazes de explicar totalmente sua influência no armazenamento de carbono em solo profundo, a fenologia, a morfologia, a anatomia e o papel das raízes finas profundas ainda são pouco conhecidos em ecossistemas florestais.

Figura 11. Distribuição do estoque de carbono orgânico nas diferentes profundidades, (a) gráfico de linhas, (b) matrix de



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na figura 11 é apresentado os resultados de estoque de carbono por classe de profundidade, quantificados nas cinco áreas avaliadas, na forma de gráfico de linhas em (a) onde facilmente vemos a distribuição do estoque de carbono nas diferentes profundidades e em (b) uma matrix de dados.

Duas hipóteses poderiam explicar a concentração de carbono em solos mais profundos. Uma é o possível efeito da lixiviação do carbono, de profundidades mais rasas, onde normalmente mais se concentra o carbono em florestas e SAF.

As raízes das árvores podem alcançar profundidades muito abaixo de 100 cm, o clima e o solo afetam o balanço hídrico do solo (JACKSON et al., 1996, SCHENK E JACKSON, 2005, STONE E KALISZ, 1991); essas raízes profundas podem contribuir significativamente para o suprimento de nutrientes das árvores e o armazenamento de carbono em profundidade (RICHTER E MARKEWITZ, 1995).

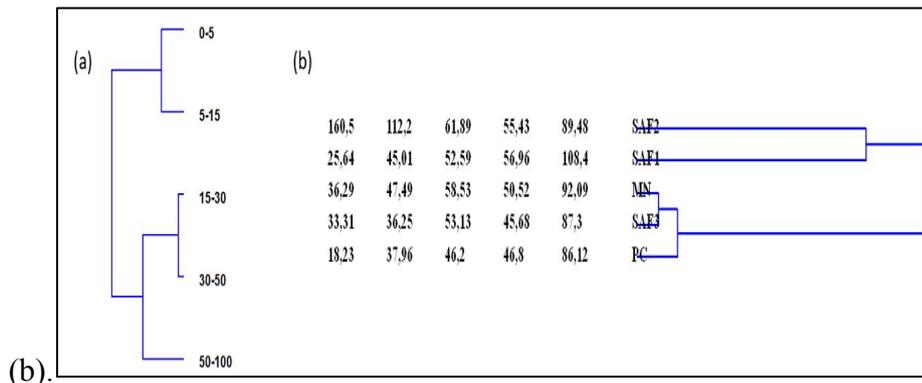
Baah-Acheamfour, et al. (2018) estudando o estoque de COS de 0-75cm em sistemas agroflorestais no Canadá, verificaram que o estoque foi maior de 0-30cm de profundidade

doque de 30-75cm, e concluem que o estoque de COS no solo mineral superficial (0-30 cm) é mais responsivo às mudanças no tipo de cobertura da terra e a camada de serapilheira desempenha um papel importante no aumento do estoque de COS no solo mineral superficial dos sistemas agroflorestais.

Neto, et al. (2019), no oeste da Bahia, encontraram valores mais altos de COS até 30cm em SAFs, justificando a influência do manejo e a presença de gramíneas cujo sistema radicular fasciculado favorece o acúmulo de carbono devido a decomposição dessas raízes

Outros estudos também apontam maior estoque de COS em SAFs do que em florestas nativas e evidenciam a eficiência dos SAFs como estratégia conservacionista (DE LIMA, LEITE, et al., 2011).

Figura 12. Análise de *cluster* entre as profundidades (a) e entre grupos

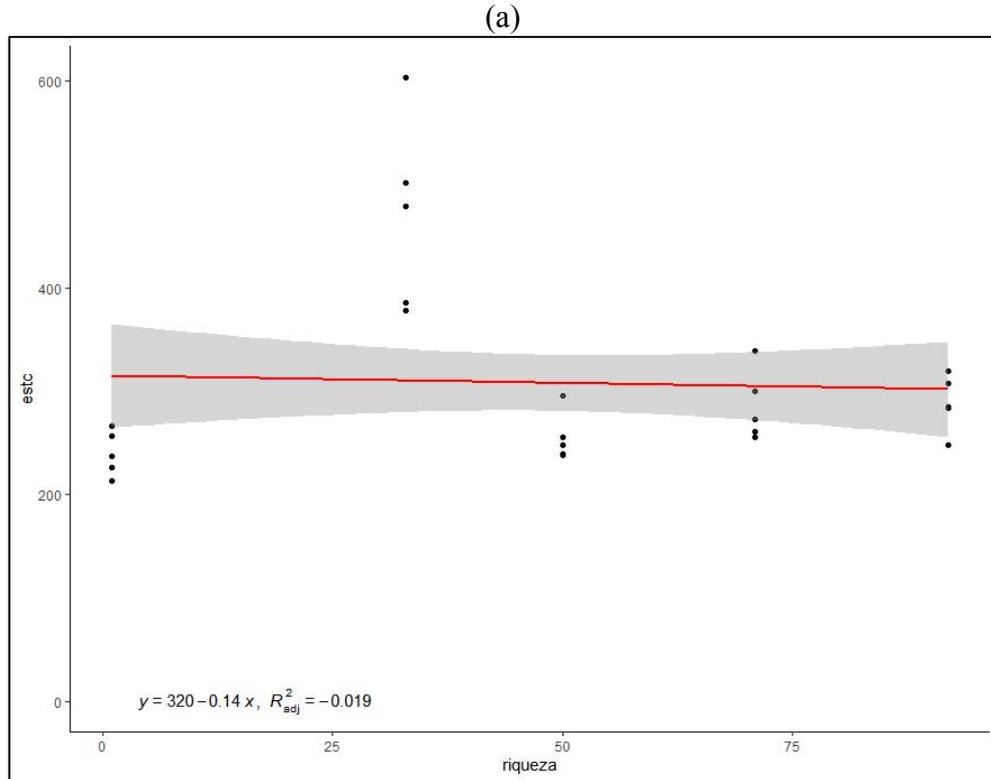


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

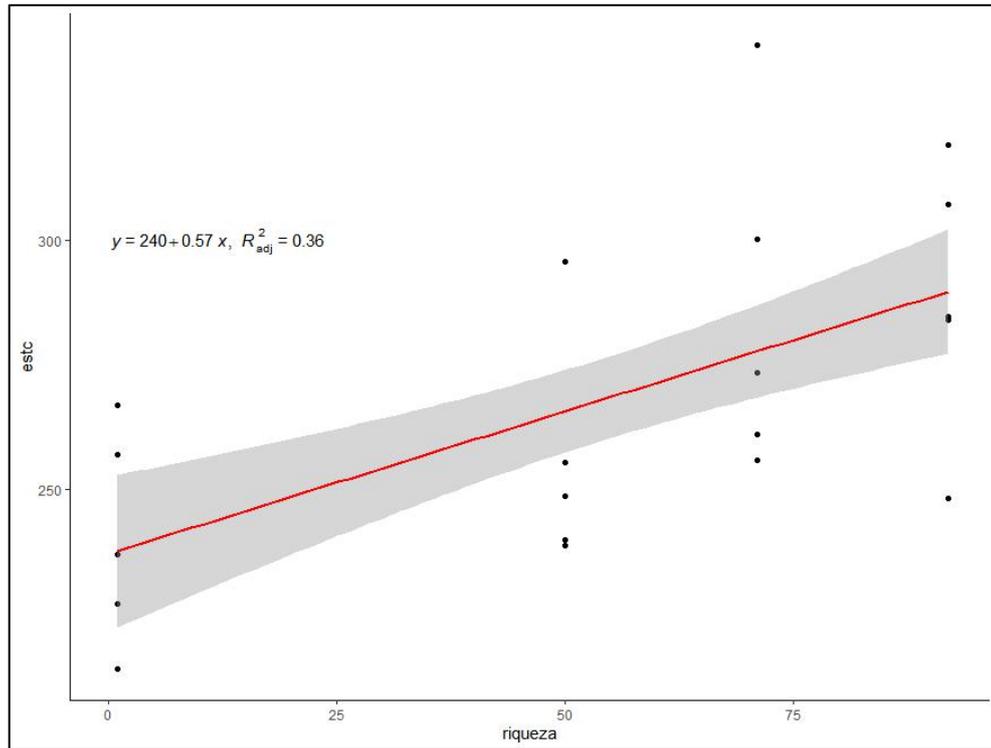
A análise por *clusters* formados por distância euclidiana formou dois grupos entre as classes de profundidades, a partir das médias de estoque de carbono em cada, um entre 0-5 e 5-15cm e outro com as demais (Figura 12 a). Na Figura 9 b, SAF2 e SAF1 formaram um grupo, com os maiores estoques de carbono no solo, outro grupo se forma entre MN, SAF3 e PC isolado com os menos estoques de carbono no solo, evidenciando que sistemas convencionais de plantio são sistemas de baixa ou nenhuma produção de SE.

O estoque de C do solo é resultado do aporte de serapilheira e exsudatos das raízes, que ao passarem pela atividade microbiana do solo. Fatores físicos e químicos, composição das espécies, crescimento da planta através da produção de serapilheira, persistência de compostos recalcitrantes ou assembleia da comunidade microbiana também podem afetar essa dinâmica (JASTROW et al. 2007). Os efeitos causados pela população microbiana do solo, responsáveis pela decomposição da serapilheira, metabolizando a matéria orgânica do solo (MOS), especialmente as lábeis que formam uma piscina de carbono orgânico dissolvido no solo suscetível a lixiviação.

Figura 13. (a) Gráfico de regressão linear entre o estoque de carbono no solo (tC/ha) e a riqueza de espécies encontra nas áreas estudadas. (b) Gráfico de regressão entre estoque de carbono (tC/ha) e a riqueza de espécies sem os dados do SAF2.



(b)



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

De alguma forma, direta ou indireta, a composição arbórea influencia o estoque de carbono no solo, com o fornecimento de serapilheira de qualidade (lábil) ou exsudatos vindos das raízes.

Considerando o componente humano atuando no manejo dos SAFs, as comparações deste tipo de agroecossistema com florestas naturais devem ser cautelosas. O resultado da regressão linear feita com os resultados de estoque de carbono nas áreas aqui avaliadas, com a riqueza de espécies arbustivas e arbóreas encontradas nessas mesmas áreas apresentou correlação fraca e negativa ($R^2_{adj} = -0,041$), esse resultado deve-se principalmente pelos altos valores no estoque de carbono no solo SAF2 (Figura 13a). O que não quer dizer que as árvores não influenciam na estocagem de carbono no solo.

O que percebemos, foi que o *trande off* caracterizado com a escolha de manejo com cobertura de solo no SAF2, incorporando rejeitos (*biochar*) de uma carvoaria, no solo fez os valores de carbono no solo do SAF2 se afastar da reta resultante de regressão, como vemos na figura 12(a), onde os valores encontrados no SAF2 aparecem como *outlier*.

Na figura 13(b) a situação se inverte ao retirarmos os dados do SAF2. Portanto, o componente humano nos SAF, neste caso, foi decisivo para que esse sistema tenha produzido mais SE de regulação em relação aos outros sistemas analisados.

Segundo Parron et al. (2015), os estoques de carbono orgânico variam em função de diversos fatores, principalmente pelo uso e manejo do solo, ou seja, se bem manejados os SAF'S possuem grande potencial para elevar tais estoques devido sua diversidade horizontal e vertical.

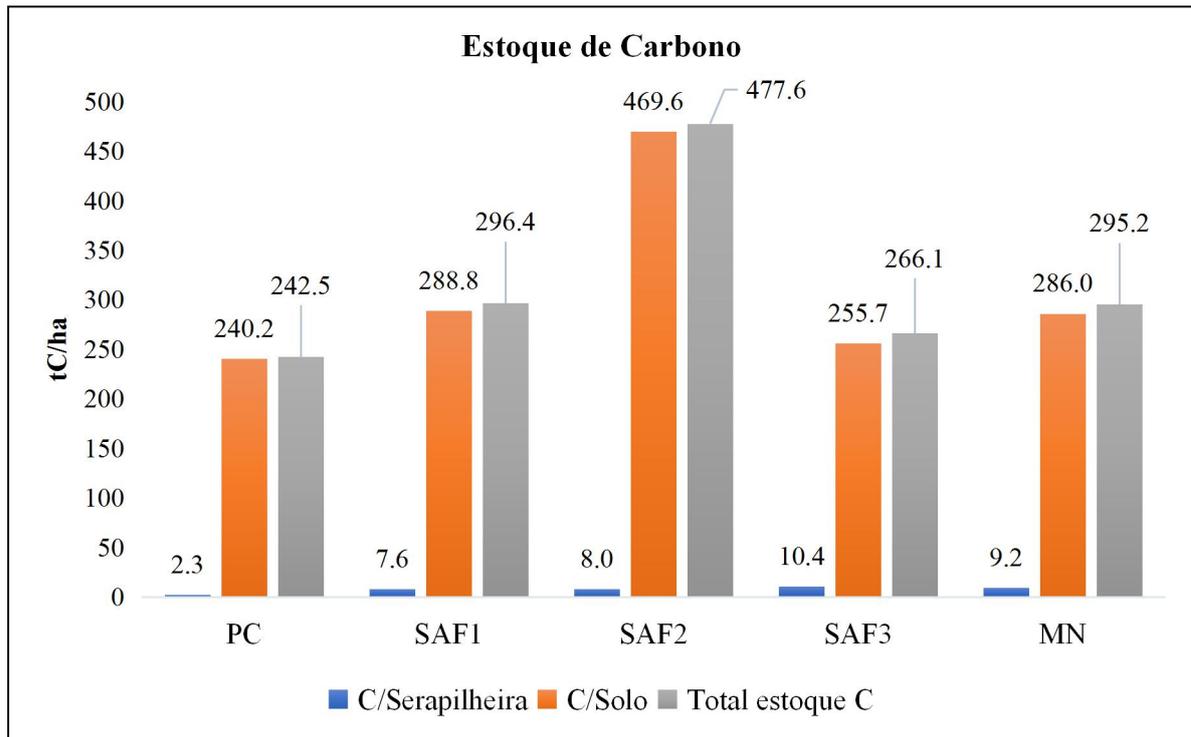
Em ambientes naturais a riqueza de espécies arbóreas influencia a decomposição da serapilheira diretamente por meio de características específicas da serapilheira (ou seja, conteúdo de nutrientes, características físicas) (DEVEAU et al. 2018; SANTONJA et al. 2017).

Palandrani et al. (2020), conduziram um estudo em seis plantações mistas de milho estabelecidas em 1999 e avaliaram o impacto da riqueza de espécies de árvores e diversidade funcional no acúmulo de carbono no solo nas plantações, empregando assinatura isotópica ($\delta^{13}C$) para calcular a proporção de C novo e antigo usando uma abordagem de balanço de massa, verificaram que após 19 anos do plantio de árvores nas áreas pesquisadas, verificaram aumento de mais de 12%, sendo que a maior parte desse aumento no estoque de carbono foi detectado de 0-15cm de profundidade e que quase de 50% desse carbono derivou das árvores. Concluíram que as plantações com maior riqueza de árvores aumentaram o estoque de carbono no solo.

As avaliações de serviços ecossistêmico vem se tornando cada vez mais comum, principalmente os serviços de regulação climática fundamentados no sequestro e armazenamento de carbono, tanto na parte aérea das áreas alvo, estes mais comuns, como também na serapilheira e no solo.

Estudos completos de estoque carbono com a quantificação de carbono nos diferentes compartimentos de ecossistema ou SAFs são raros, porém seria o ideal para compreendermos melhor o fluxo de carbono nesses ambientes e projetar ações efetivas para a mitigação do clima.

Figura 14. Total de carbono estocado na serapilheira e no solo (tC/ha) até 1 metro das áreas de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O total de carbono estocado nos dois compartimentos de carbono, serapilheira e solo é apresentado na Figura 14.

5.4 CONCLUSÕES

1 – O estoque de serapilheira nos SAFs, quando comparado a MN, evidencia a capacidade de autorregulação desses sistemas com a produção de SE de suporte, com contínuo aporte de matéria orgânica no solo aumentando sua fertilidade.

2 - A cobertura do solo com *biochar*, garantiu ao SAF2 o maior estoque de carbono orgânico do solo até um metro de profundidade entre todos os sistemas estudados. Portanto foi o SAF com maior oferta de serviço ecossistêmico de regulação.

3 – A utilização de *biochar* em sistemas agroflorestais biodiversos no início de sua implantação, além de melhorar a qualidade do solo, pode ser uma estratégia para que proprietários de SAF pequenos e médios possam concorrer aos pagamentos por serviços ecossistêmicos já no primeiro ano. Contabilizando emissões negativas de carbono.

4 – O manejo em base agroecológica representa a forma mais moderna de uso do solo, muitos trade-off inerentes ao processo de implantação e manejo de um agroecossistema, podem ser caracterizados como de GANHA – GANHA.

5 – Nossos resultados podem auxiliar a formulação de políticas públicas que estimulem a conversão de biomassa vegetal morta em *biochar*, para potencializar a oferta de serviços ecossistêmicos de regulação e suporte em diferentes tipos agroecossistemas.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARATO, H. D. et al. Produção e decomposição de serapilheira em um sistema agroflorestal implantado para recuperação de área degradada em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 715-721, 2003.

BLANCHER, T. et al. Produção de serapilheira em sistemas agroflorestais em Tomé-Açu, Amazônia Oriental. In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 8., 2011, Belém, PA. Anais... Belém, PA: SBSAF: Embrapa Amazônia Oriental: UFRA: CEPLAC: EMATER: ICRAF, 2011., 2011.

Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/apps/biomass/>>. Acesso em: 2 dez. 2020.

CALLESEN, Ingeborg et al. Carbon storage and nutrient mobilization from soil minerals by deep roots and rhizospheres. **Forest Ecology and Management**, v. 359, p. 322-331, 2016.

....
DJUKIC, I. et al. Early stage litter decomposition across biomes. **Science of the Total Environment**, v. 628–629, p. 1369–1394, 1 jul. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 5 ed. Rio de Janeiro, 2018.

IPCC. Climate Change 2007: **Synthesis Report Summary for Policymakers**. Valencia, Spain, 2007.

KÖNIG, F. G.; SCHUMACHER, M. V.; BRUN, E. J.; SELING, I. Avaliação da sazonalidade da produção de serapilheira numa Floresta Estacional Decidual no município de Santa Maria-RS. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 429–435, ago. 2002.

KOSVOSKI DE OURIQUE, L.; OLIVEIRA SILVA, R.; ADÉLIA SAMPAIO DE SOUZA, C.; NOGUCHI, H.; SANTOS, J. DOS; HIGUCHI, N. Relação da produção de serapilheira com incremento em diâmetro de uma floresta madura na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**. v. 44, p. 875–886, .

MARTINS, S. V.; RODRIGUES, R. R. Produção de serapilheira em clareiras de uma floresta estacional de uma floresta estacional semidecidual no município de Campinas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 68, p. 257-278, 1999.

MARTIUS, C.; HÖFER, H.; GARCIA, M. V. B.; RÖMBKE, J.; HANAGARTH, W. Litter fall, litter stocks and decomposition rates in rainforest and agroforestry sites in central Amazonia. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 68, n. 2, p. 137–154, fev. 2004.

- MOÇO, M. K. S. et al. Relationships between invertebrate communities, litter quality and soil attributes under different cacao agroforestry systems in the south of Bahia, Brazil. **Applied Soil Ecology**, v.46, p.347-354, 2010.
- MONTAGNINI, F.; NAIR, P.K.R. Carbon sequestration: an underexploited environmental benefit of agroforestry systems. **Agroforestry Systems**, v.61, p.281-295, 2004.
- PINTO, S. I. C. et al. Produção de serapilheira em dois estádios sucessionais de floresta estacional semidecidual na reserva Mata do Paraíso, em Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 535-546, 2008.
- POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M.V. Ciclagem de nutrientes em florestas nativas. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. 427p.
- SILVA, C. J. DA; SANCHES, L.; BLEICH, M. E.; LOBO, F. A. DE; NOGUEIRA, J. S. DE. Litterfall production in the Brazilian mid-western Amazonia-Cerrado transition forest. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 4, p. 543–548, 2007.
- SONGWE, N.C., FASEHUN, F.E., OKALI, D.U.U. Litterfall and productivity in a tropical rain forest, southern Bankundu forest, Cameroon. **Journal Tropical Ecology**. V.4, p.25-37. 1988.
- SCHUMACHER. M.V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de Eucalyptus camadulensis Dehnh, Eucalyptus grandis Hill ex Maiden e Eucalyptus torelliana F. Muell. 1992**. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciências/Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1992.
- SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M. A floresta e a água. Porto Alegre: **Pallotti**, 1998. 70 p.
- VITAL, A. R. T.; GUERRINI, I. A. FRANKEN, W. K. FONSECA, R. C. B. Produção de Serapilheira e Ciclagem de Nutrientes de Uma Floresta Estacional Semidecidual em Zona Ripária. Sociedade Brasileira de Investigações Florestais. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.793-800. 2004.
- AUGUSTO AMORIM SILVA DO SACRAMENTO, J., CAROLINE DE MORAES ARAÚJO, A., EUGENIA ORTIZ ESCOBAR, M., et al. Soil carbon and nitrogen stocks in traditional agricultural and agroforestry systems in the semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de ciências do Solo**. 2013.
- BREWER, C. E., UNGER, R., SCHMIDT-ROHR, K., et al. "Criteria to Select Biochars for Field Studies based on Biochar Chemical Properties", **Bioenergy Research**, v. 4, n. 4, p. 312–323, dez. 2011. DOI: 10.1007/s12155-011-9133-7.
- DE LIMA, S. S., LEITE, L. F. C., OLIVEIRA, F. D. C., et al. "Atributos químicos e estoques de carbono e nitrogênio em argissolo vermelho-amarelo sob sistemas agroflorestais e agricultura de corte e queima no norte do Piauí", **Revista Arvore**, v. 35, n. 1, p. 51–60, jan. 2011. DOI: 10.1590/S0100-67622011000100006. Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622011000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 7 fev. 2021.

ENGEL, Vera Lex. **Sistemas agroflorestais: conceitos e aplicações**. Botucatu: FEPAF, 1999.

SILVA, Eulene Francisco da et al. Frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica em solos sob integração lavoura-pecuária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1321-1331, 2011.

HOUGHTON, R. A., SKOLE, D. L., NOBRE, C. A., et al. "Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon", **Nature**, v. 403, n. 6767, p. 301–304, 20 jan. 2000. DOI: 10.1038/35002062. Disponível em: www.nature.com. Acesso em: 26 jan. 2021.

LAL, R. "Critical Reviews in Plant Sciences Global Potential of Soil Carbon Sequestration to Mitigate the Greenhouse Effect Global Potential of Soil Carbon Sequestration to Mitigate the Greenhouse Effect", **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 22, n. 2, p. 151–184, 2003. DOI: 10.1080/713610854. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=bpts20>. Acesso em: 16 nov. 2020.

LÁZARI, G. G., DIAS, M. M., SILVA, W. M., et al. Avaliação de métodos analíticos na determinação do teor de carbono orgânico no solo. EMBRAPA.

LENG, L., HUANG, H., LI, H., et al. Biochar stability assessment methods: A review. **Science of the Total Environment**, Elsevier B.V., 10 jan. 2019.

LIM, S. S., BAAH-ACHEAMFOUR, M., CHOI, W. J., et al. "Soil organic carbon stocks in three Canadian agroforestry systems: From surface organic to deeper mineral soils", **Forest Ecology and Management**, v. 417, p. 103–109, 15 maio 2018. DOI: 10.1016/j.foreco.2018.02.050.

MA, Z., CHEN, H. Y. H., BORK, E. W., et al. "Carbon accumulation in agroforestry systems is affected by tree species diversity, age and regional climate: A global meta-analysis", **Global Ecology and Biogeography**, v. 29, n. 10, p. 1817–1828, 1 out. 2020. DOI: 10.1111/geb.13145.

NAIR, P. K. R., KUMAR, B. M., NAIR, V. D. **Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, John Wiley & Sons, Ltd. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jpln.200800030>. Acesso em: 15 out. 2020. 1 fev. 2009.

NETO, S., ABADES ROSA, V., PEDRO SOARES NETO, J., et al. Atributos Físicos e Estoque de Carbono em Sistemas Agroflorestais nos Cerrados do Oeste da Bahia. **Revista Brasileira de Geografia Física**. fev. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/239457>. Acesso em: 13 out. 2020.

PADOVAN, M. P. et al. Serviços ambientais prestados por sistemas agroflorestais biodiversos na recuperação de áreas degradadas e algumas possibilidades de compensações aos agricultores. In: **Embrapa Agropecuária Oeste-Artigo em anais de congresso**

(ALICE). In: SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 9., 2017, Curitiba. Revendo princípios/validando conceitos: anais. Curitiba: SOBRADE, 2017. p. 252-266, 2017.

PARRON, L. M. et al., 2015. Estoques de carbono no solo como indicador de serviços ambientais. In: Parron, L. M. et al. Serviços ambientais em sistemas agrícola e florestais do Bioma Mata Atlântica. Brasília, DF: **Embrapa**, p. 71-83.

PALANDRANI, Chiara; ALBERTI, Giorgio. Tree derived soil carbon is enhanced by tree species richness and functional diversity. **Plant and Soil**, v. 446, n. 1, p. 457-469, 2020.

PINHEIRO, Rafael Costa et al. As raízes absorvem o nitrogênio marcado de uma profundidade de 9 m em uma savana arborizada no Brasil. **Soil Biology and Biochemistry**, p. 108282, 2021.

REYNA-BOWEN, L., FERNANDEZ-REBOLLO, P., FERNÁNDEZ-HABAS, J., et al. "The influence of tree and soil management on soil organic carbon stock and pools in dehesa systems", **Catena**, v. 190, p. 104511, 1 jul. 2020. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104511.

SHI, L., FENG, W., XU, J., et al. "Agroforestry systems: Meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials", **Land Degradation and Development**, v. 29, n. 11, p. 3886–3897, 1 nov. 2018. DOI: 10.1002/ldr.3136. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ldr.3136>. Acesso em: 26 jan. 2021.

6 ARTIGO 2 – Influência de plantas herbáceas e espontâneas na microbiologia do solo de sistemas agroflorestais biodiversos.

RESUMO

A biomassa e as funções microbianas do solo são os componentes do solo mais afetados pelas mudanças ambientais. Respondem pela ciclagem de nutrientes, são determinantes no fluxo do carbono no solo e protagonistas na produção de diferentes serviços ecossistêmicos. Portanto, determinar fatores que afetam os microrganismos do solo é crucial para o manejo de sistemas agroflorestais (SAF). Este estudo foi conduzido para determinar a influência de plantas herbáceas na biomassa microbiana e avaliar SE de suporte e regulação por meio dos atributos microbiológicos do solo de três diferentes SAFs biodiversos (SAF1, SAF2, SAF3) localizados na região periurbana do município de Dourados, MS. Para isso, um total de 60 amostras deformadas de solo foram coletadas, 20 em cada sistema e em duas épocas (seca e chuvosa), 5 amostras foram coletadas em áreas com herbáceas e 5 em áreas sem herbáceas. As amostras de solo foram utilizadas para determinar o carbono orgânico do solo (COS), carbono da biomassa microbiana (C-BMS), atividade metabólica (C-CO₂) e a partir destes o quociente metabólico (qCO₂) e o quociente microbiano (qMIC), também foi quantificado a taxa de carbono no solo (COT) e o estoque de carbono no solo de 0-10cm de profundidade (EstC). Os resultados revelaram sazonalidade para os atributos microbiológicos, com maiores valores de na C-BMS no período chuvoso. Nas áreas de ocorrência de plantas herbáceas o C-BMS e o estoque de carbono foram maiores tanto no período seco como no chuvoso, influenciando na fertilidade do solo e sequestro de carbono. Assim fortalecendo os SE de suporte e regulação em SAF.

Palavras-chave: Manejo agroflorestal, qualidade do solo, bioindicadores.

Capítulo 2 – Analysis of microbial biomass, its activity and derived indexes in agroforestry systems and relationships with plant diversity

ABSTRACT

Biomass and soil microbial functions are the soil components most affected by environmental changes. They are responsible for the cycling of nutrients, are determinants in the flow of carbon in the soil, and protagonists in the production of different ecosystem services. Therefore, determining factors that affect soil microorganisms is crucial for the management of agroforestry systems (SAF). This study was conducted to determine the influence of herbaceous plants on microbial biomass and evaluate support and regulation SE through the soil microbiological attributes of three different biodiverse SAFs (SAF1, SAF2, SAF3) located in the periurban region of the municipality of Dourados, MS . For this, a total of 60 deformed soil samples were collected, 20 in each system and two seasons (dry and rainy), 5 samples were collected in areas with herbaceous plants and 5 in areas without herbaceous plants. Soil samples were used to determine soil organic carbon (COS), microbial biomass carbon (C-BMS), metabolic activity (C-CO₂), and from these the metabolic quotient (qCO₂) and the microbial quotient (qMIC), the soil carbon rate (TOC) and the soil carbon stock at 0-10cm depth (EstC) were also quantified. The results revealed seasonality for the microbiological attributes, with higher values of C-BMS in the rainy season. In areas of occurrence of herbaceous plants, C-BMS and carbon stock were higher both in the dry and rainy periods, influencing soil fertility and carbon sequestration. Thus strengthening the support and regulation SEs in SAF.

Keywords: Agroforestry management, soil quality, bio-indicators.

6.1 INTRODUÇÃO

Os solos contêm a maior reserva de carbono total (C) em comparação com atmosfera e biota (LAL e KIMBLE, 1997). As florestas armazenam aproximadamente 1.600 PgC, por isso o reflorestamento e o florestamento tropicais, temperados e boreais atenuam o aquecimento global por meio do sequestro de carbono (BONAN, 2008).

Nos últimos 200 anos, o planeta tem perdido drasticamente o carbono orgânico do solo (COS). Existe um viés negativo para o estoque de COS em terras agrícolas, chegando de 13,8 a 28,0% de COS a menos até um metro de solo, em terras cultivadas convencionalmente (SANDERMAN et al., 2017).

Os SAFs, ao consorciar produção de alimento com árvores nas práticas agrícolas, sequestram mais carbono que o plantio convencional (MONTAGNINI, 2004; NAIR et al., 2009). A diversificação na produção oferece ao solo muitas entradas de carbono através das raízes das árvores, o que leva esse tipo de sistema ser mais efetivo no sequestro de carbono (ISBELL et al., 2015).

Entre as diferentes funções de uma árvore no sistema, além de sequestrar carbono, ela nutre o solo com cobertura morta, oferecendo ao sistema solo, entrada constante de nutrientes (BEER 1988; OELBERM ANN E VORONEY, 2007), melhorando suas propriedades físicas e químicas e processos microbiológicos do solo (YOUNG, 1997). Desta forma, o carbono que antes estava na atmosfera, agora compões o solo vivo na forma de carbono orgânico amplamente mediado por micróbios do solo (VAN GROENIGEN et al., 2010).

De acordo com Powlson et al. (1987), os microrganismos são fundamentais no ciclo do carbono e sensíveis indicadores de mudanças na matéria orgânica do solo e diferentes manejos podem ter efeitos negativos ou positivos nas propriedades do solo.

Sabe-se que a quantidade total de CO₂ liberada por microrganismos do solo aumenta após distúrbios florestais (GORDEN et al., 1969).

Os mesmos microrganismos que respiram, também são aqueles que guardam carbono em suas estruturas (C-BMS) e ao decomporem a matéria morta, produzem diversas substâncias, que aliadas aos exsudatos produzidos pelas raízes, formam a matéria orgânica do solo (MOS), rica em carbono que se agregam a minerais, formando agregados com MOS estável, podendo armazenar carbono orgânico no solo (COS) entre seus poros por muitos anos (COTRUFO et al., 2013).

A camada herbácea tem um significado quantificável na manutenção da estrutura e função das florestas. Embora este estrato represente menos que 1% da biomassa da floresta, pode conter até 90% das espécies de plantas e contribuir com até 20% da serapilheira, que geralmente é de maior teor de nutrientes do que o das árvores, para o solo da floresta (GILLIAM, 2007).

As espécies de plantas herbáceas podem ter efeitos profundos nas comunidades de microrganismos do solo em ecossistemas florestais (MULLER, 2003). As plantas herbáceas de influenciam a composição e os processos das comunidades microbianas do solo porque muitas vezes diferem em suas associações simbióticas com fungos de espécies de plantas de sub-bosque (WANG e QIU, 2006).

Mesmo sendo recomendadas como cobertura de solo no conceito conservacionista e indicadas para mitigação climática (BOSSIO et al., 2020). Os efeitos nas propriedades microbianas do solo raramente foram estudados (ELLIOTT et al., 2015).

Em artigo de revisão, Mayer et al. (2020), sintetizaram a influência das atividades de manejo florestal nos estoques de COS e concluíram que o reflorestamento de antigas terras agrícolas aumenta os estoques de COS. Os estoques permanecem inalterados ou reduzidos nas antigas pastagens, reconhecendo-se os SAFs como importantes sumidouros de carbono atmosférico (BARDGETT E MCALISTER, 1999; SIX, et al., 2006)

A biomassa microbiana do solo intensifica a ciclagem de nutrientes e participa na formação de agregados de solo (GUPTA e GERMIDA, 1998), é sensível a temperatura, umidade, aeração e disponibilidade de substratos no solo (CATTELAN e VIDOR, 1990) e responde rápido ao manejo (POWLSON et al., 1987), por isso é um forte indicador da qualidade do solo e está diretamente envolvida com o COS.

Este estudo avaliou os serviços ecossistêmicos de suporte e regulação prestados por três SAFs biodiversos na região periurbana do município de Dourados, Mato Grosso do Sul. Foram coletadas amostras de solo para investigar a microbiologia do solo, por meio do carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), atividade microbiana (C-CO₂), quociente metabólico (qCO₂) e quociente microbiano (qMIC). Avaliou-se também o efeito da presença de plantas herbáceas na comunidade microbiana do solo (C-BMS) e como essa relação pode potencializar a ciclagem de nutrientes garantindo melhores resultados na produção de SE.

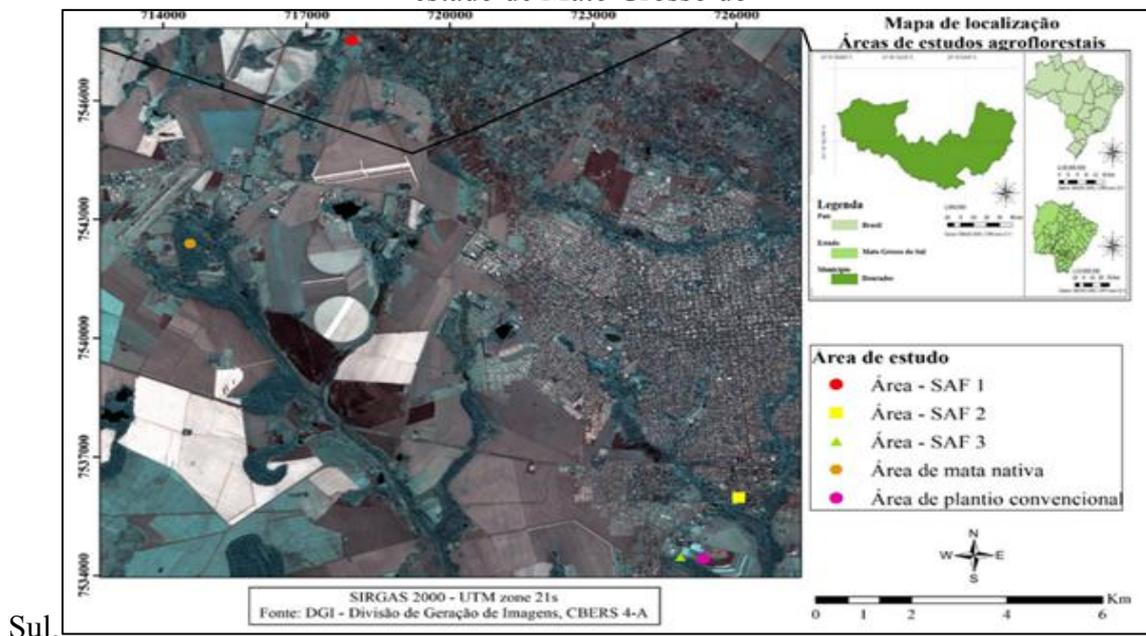
6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Áreas de estudo

O estudo foi desenvolvido na região Centro Oeste do Brasil que abriga os biomas Pantanal, Cerrado e Mata Atlântica. Foi escolhida a região periurbana da Cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul, pois se encontra em um ecótono entre a Mata Atlântica e o Cerrado, dois dos *hotspots* mais ameaçados do mundo (IBGE, 2019).

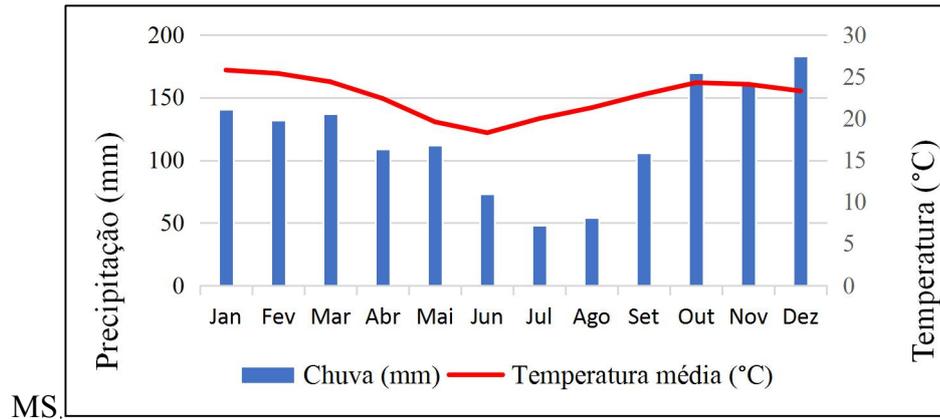
O estudo foi realizado durante os anos de 2019 e 2020, envolvendo cinco áreas, sendo três SAFs biodiversos (SAF1, SAF2, SAF3) (Figura 1).

Figura 1. Localização das áreas estudadas no município de Dourados e sua localização no estado de Mato Grosso do



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Dourados está localizado a 450 m acima do nível do mar, o clima é tropical e na maioria dos meses do ano existe uma pluviosidade significativa. Existe uma curta época seca e não é muito eficaz. De acordo com a Köppen e Geiger, o clima é classificado como Am. A temperatura média anual é de 22.7 °C, a pluviosidade média anual é de 1428 mm. Em julho, a precipitação é de 48 mm, sendo este o mês mais seco do ano. Em dezembro, a precipitação é geralmente maior, com uma média de 183 mm (Figura 2).

Figura 2. Médias anuais de precipitação e temperatura da cidade de Dourados

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Todos os SAFs analisados são biodiversos e manejados em bases agroecológicas, sendo assim não utilizam insumos como fertilizantes químicos e agrotóxicos. As cinco áreas estudadas estão sobre Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa (EMBRAPA, 2018), o que faz diminuir a incerteza nas análises. Na Tabela 1 são apresentados alguns dados das áreas estudadas.

Tabela 1. Dados gerais das áreas estudadas.

Dados das áreas de estudos	SAF1	SAF2	SAF3
Localização	Dourados - MS	Dourados - MS	Dourados - MS
Latitude	22°09'48''	22°16'00''	22°16'49''
Longitude	54°53'11''	54°48'21''	54°49'04''
Altitude (m)	360	362	377
Temperatura média anual (°C)	22.7	22.7	22.7
Precipitação média anual (mm)	1428	1428	1428
Tipo de solo	LVd	LVd	LVd
Tipo de uso de solo anterior	Lavoura	Pastagem	Pastagem
Espaçamento entre árvores	6x6	6x6	6x6
Ano de implantação	2007	2008	2011
Riqueza de espécies vegetais arbustiva e arbórea	92	33	50
Principal produção	Frutíferas	Limão	Banana

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O SAF1, foi implantado em 2007, arranjo multiestratificado e como foco na produção diversificada de frutíferas, esse SAF se desenvolve como uma floresta pomar, parte da renda produzida vem da produção de polpa, cana de açúcar para produção de garapa, horta e produção de plantas ornamentais. Atualmente não são feitas podas regulares nas árvores, com 14 anos de implantação, esse agroecossistema já é capaz de se auto regular com aporte de serapilheira e o restabelecimento de funções ecossistêmica que já são compartilhando com os

vizinhos, pode ser considerado um quintal florestal. O manejo é realizado por 4 pessoas, auxiliadas por um trator de pequeno porte para serviços diversos.

Os serviços ecossistêmicos culturais não foram alvo deste estudo, porém vale relatar que o SAF1 tem sido uma referência na região, tem sido objeto de dezenas de pesquisas, visitas de escolas para educação ambiental, ponto de parada para ecoturistas e grupos de ciclistas, apenas com essas ações já se percebe o volume de serviços ecossistêmicos deste SAF.

O SAF2 foi implantado em 2008, a principal produção é de limão taiti (*Citrus × latifolia* Tanaka e Q. Jiménez). Há também uma área para cultivo de mandioca e o início da produção de *Hylocereus polyrhizus* (Pitaya). Constituído por apenas um estrato arbóreo, que gera pouca biomassa para o solo. Há oito anos o solo vem recebendo como cobertura o *biochar* (fragmentos de carvão vegetal) e moídos de podas urbanas.

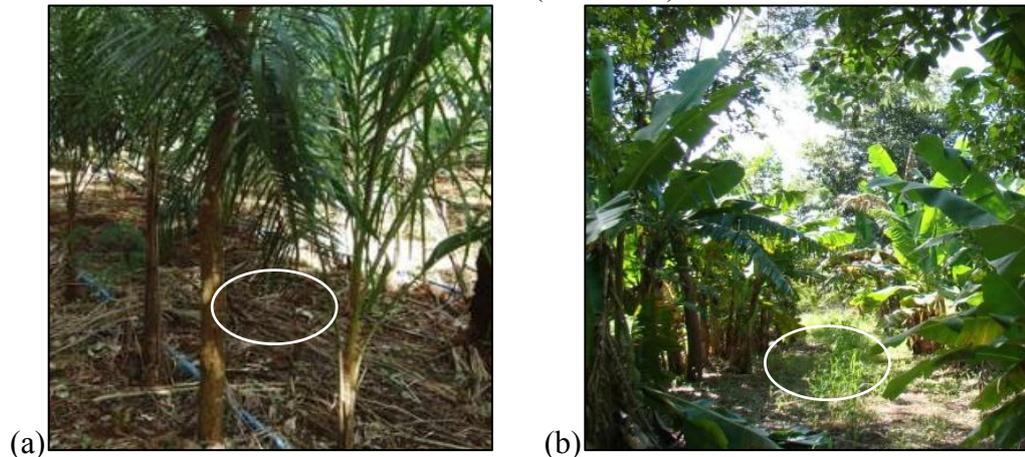
A decisão de usar o *biochar* como cobertura de solo nessa área ocorreu de forma empírica, de acordo com o relato do proprietário, que também gerenciava uma carvoaria, aplicou intuitivamente restos muito fragmentado de carvão, descartado pela empresa resolveu testar em uma pequena horta e observou resposta positiva ao perceber o vigor das hortaliças, então resolveu iniciar a deposição desse material em toda a área. A família reside no local e conta com força de trabalho de até 3 colaboradores.

O SAF3 foi implantado em 2011, tendo como foco a produção de *Musa paradisiaca* L. (banana.), cultivares de estrato herbáceo e árvores nativas com potencial extrativista, como por exemplo a *Dipteryx alata* Vogel (Baru), é do tipo multestrato e conta com equipe que realiza podas anuais e manejo constante na área.

6.2.2 Coleta e análise do solo.

Percorrendo-se os SAFs em ziguezague, identificaram-se áreas com baixa ou nenhuma presença de plantas herbáceas ou espontâneas e áreas com maior abundância de herbáceas ou espontâneas. Foi lançado aleatoriamente um aro de 50cm de aresta nessas áreas para indicar o ponto de coleta e com o auxílio de um trado de profundidades de 0 a 10 cm, foram coletadas cinco amostras deformadas de solo, compostas por sete subamostras, em áreas sem herbáceas e mais cinco em áreas com herbáceas. Foram duas coletas, uma na estação seca (23/09/2019) e na estação chuvosa (24/02/2020), totalizando 60 amostras. O solo coletado foi armazenado em sacos plásticos, protegidos da luz e levado para uma câmara fria.

Figura 3. Fotos exemplificando as áreas de coleta de solo sem herbáceas (a -SAF1) e áreas com herbáceas (b – SAF3).



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

No dia seguinte, as amostras foram levadas ao laboratório, separou-se de cada amostra, aproximadamente 20g de solo, para determinar o carbono orgânico total (COT). Após 24 horas na estufa em temperatura de 50°C, esses 20g de solo foram macerados com o auxílio de um almofariz e pistilo, 2g foram separadas em envelope de papel devidamente identificado. Posteriormente, foram preparadas quatro réplicas com aproximadamente 50mg e então processadas pelo aparelho analisador Vario T.O.C cube (Elementar® - Alemanha), gerando a planilha com os resultados de carbono total (COT %) e matéria orgânica (MO).

Os atributos microbiológicos analisados foram: carbono da biomassa microbiana (C-BMS), obtido pelo método da fumigação-extração, de acordo com Vance et al. (1987); a atividade microbiana (C-CO₂) foi obtida por incubação das amostras durante sete dias, com captura de CO₂ em NaOH (1N) e feita titulação, pela adaptação do método da fumigação-incubação proposto por Jenkinson e Powlson (1976); o quociente metabólico (qCO_2), conforme Anderson e Domsch (1990), a partir da relação C-CO₂/C-BMS; e o quociente microbiano ($qMIC$), definido pela razão C-BMS/COT. As duas metodologias e processos analíticos estão descritos no anexo 4.

Para a determinação do estoque de carbono total do solo, foi empregada a equação (1).

$$\text{Est C} = (\text{COT} \times \text{Ds} \times \text{e})/10 \quad \text{Equação (1)}$$

onde: Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (t.ha⁻¹), CO = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g.kg⁻¹), Ds = densidade do solo da profundidade kg.dm⁻³), e= espessura da camada considerada de solo na profundidade de 0-10cm; 10 nos SAFs (1,2 3).

6.2.3 Estatística.

Os dados foram processados estatisticamente, primeiro testando a normalidade através do teste de Shapiro-Wilk, utilizando o Software Past, posteriormente foi aplicada análise multivariada (ANOVA) e teste de Tukey ($p < 0,05$) para indicar diferenças significativas entre os tratamentos, também com o Software Past. As análises dos principais componentes (PCA) para o período seco e período chuvoso foram realizadas através do pacote estatístico *Factorshine* no software Rstudio versão 1.3.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Microbiologia.

Na Tabela 2, são apresentados os resultados do carbono da biomassa microbiana (C-BMS), a respiração basal do solo (C-CO₂) e os quocientes microbianos (qMIC) e metabólicos (q-CO₂) do solo das áreas em estudo.

Tabela 2. Médias do C-BMS, C-CO₂, q-CO₂ e qMIC dos cinco tratamentos nos períodos seco e chuvoso.

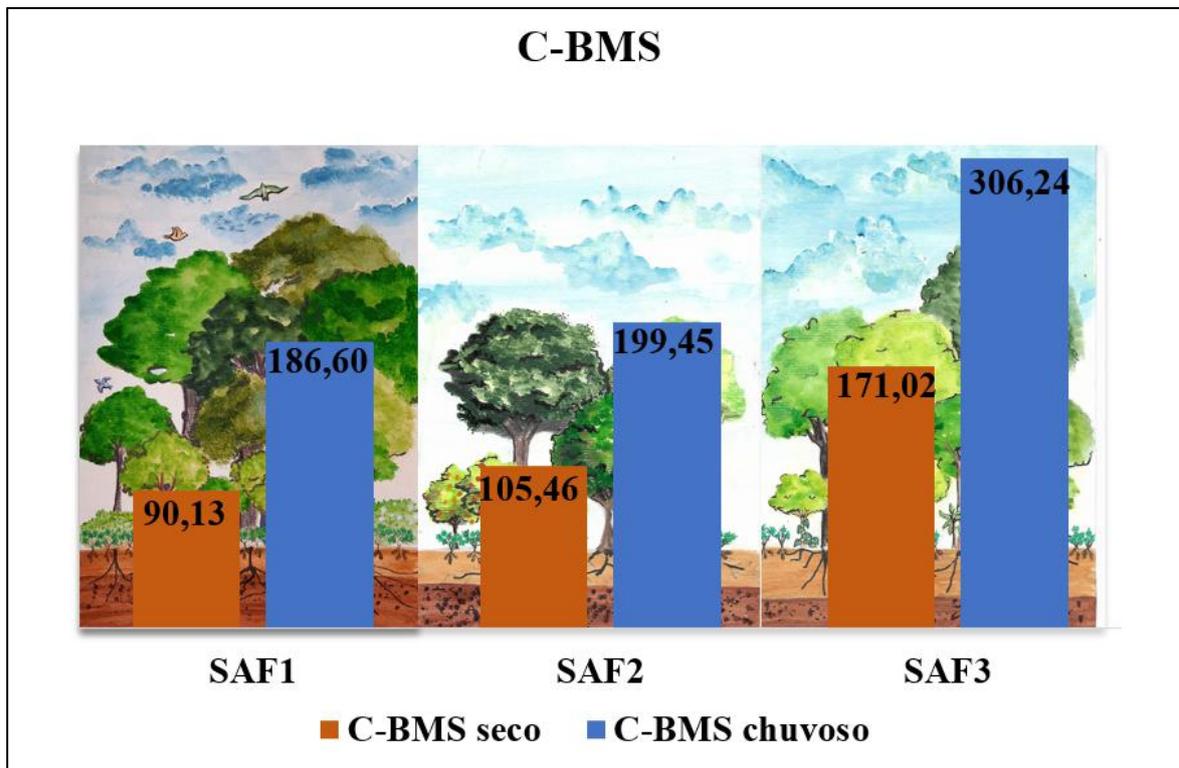
Período seco				
Áreas de estudo	C-BMS µg C g ⁻¹ solo seco	C-CO ₂ µg C -CO ₂ g ⁻¹ solo dia -1	q-CO ₂ µg C -CO ₂ g ⁻¹ C-BMS h ⁻¹	qMIC %
SAF1	90,13b	24,62b	120,57a	0,40ab
SAF2	105,46b	21,01b	257,92a	0,13b
SAF3	171,02a	23,67b	164,33a	0,65a
Período chuvoso				
Áreas de estudo	C-BMS µg C g ⁻¹ solo seco	C-CO ₂ µg C -CO ₂ g ⁻¹ solo dia -1	q-CO ₂ µg C -CO ₂ g ⁻¹ C-BMS h ⁻¹	qMIC %
SAF1	186,60b	11,22b	41,58a	0,83b
SAF2	199,45b	21,48a	50,34a	0,23c
SAF3	306,24b	15,84a	23,88a	1,24a

Médias seguidas da mesma letra minúsculas nas colunas, dentro de cada período, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

6.3.1.1 Carbono da biomassa microbiana.

Figura 4. Carbono da biomassa microbiana do solo (C-BMS), período seco e chuvoso nos SAF1, 2 e 3.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O C-BMS apresentou aumento de aproximadamente 100% em todos os SAFs no período chuvoso, mostram a respostas da população microbiana ao regime hídrico, no período seco apenas o SAF3 se diferenciou estatisticamente ($p < 0,001$) (Tabela 2). Os dados corroboram com Gama-Rodrigues et al. (2005), Silveira et al. (2006), que observaram maior BMS em períodos chuvosos.

A estimativa da C-BMS é um parâmetro sensível às mudanças iniciais no processo de transformação de matéria orgânica do solo, sendo um indicador útil para avaliar as alterações em ecossistemas com interferências antrópicas (JENKINSON & RAINER, 1977; POWLSON et al., 1987). No caso de SAFs biodiversos manejados em bases agroecológicas a interferência humana é positiva, buscando a fertilidade do solo com a manutenção da vida no solo.

O SAF3 apresentou maiores resultados tanto na época seca (171,02 $\mu\text{g Cg}^{-1}$ solo) como na época chuvosa (306 $\mu\text{g Cg}^{-1}$ solo) (Figura 3), sugerindo que o manejo com podas e plantio de cultivares de estrato herbáceo possa ter contribuído para a entrada de matéria orgânica no solo.

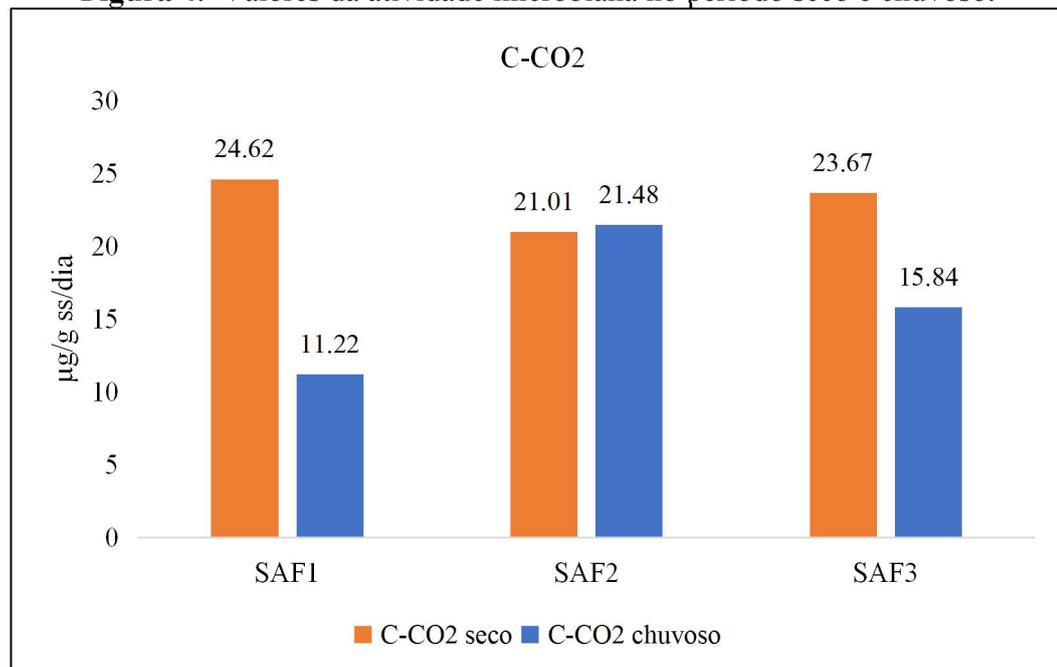
A biomassa microbiana do solo atua como uma fonte de carbono lábil e sumidouro de nutrientes vegetais, como carbono orgânico do solo (SOC), nitrogênio total (TN) e fósforo (P) (FORSTNER et al., 2019; P. KUMAR et al., 2019; S. KUMAR et al., 2019; ADNAN et al.,

2020; BATTAGLIA et al., 2020). Para Marumoto et al. (1982), quanto maior a biomassa microbiana do carbono, maior será a reserva de C no solo, expressando menor potencial de decomposição da matéria orgânica. Portanto a manutenção da comunidade microbiana do solo é fundamental para o sequestro de carbono para mitigação climática (FERREIRA et al. 2018; AQUINO et al., 2017).

Conforme Gama - Rodrigues (1997), os valores da biomassa microbiana indicam o potencial de reserva de carbono no solo que participa do processo de humificação. Desta forma permite aferir o acúmulo ou perda de carbono em função de determinado manejo: quanto maior a biomassa microbiana, maior será a reserva de carbono no solo, o que expressa menor potencial de decomposição da matéria orgânica.

6.3.1.2 Atividade metabólica.

Figura 4. Valores da atividade microbiana no período seco e chuvoso.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A análise da C-CO₂ é considerada uma estimativa indireta da velocidade de decomposição da MOS (SOARES SEVERINO et al., 2005).

Os resultados encontrados relatam que tanto no SAF1 e no SAF3 os valores de atividade metabólica foram mais responsivos ao período chuvoso, demonstrado pela diminuição dos valores, indicando eficiência na metabolização da MOS (Figura 4).

O SAF2 diferiu estatisticamente dos demais ($p < 0,001$) no período chuvoso, mesmo como o aumento da população microbiana e disponibilidade de umidade no solo o sistema

manteve os valores de C-CO₂ próximos, sugerindo dificuldades em metabolizar MOS, fato que pode ser explicado pela natureza recalcitrante da cobertura do solo com *biochar*.

Segundo Mercante et al. (2008), substâncias inibidoras de crescimento, a composição química do substrato e fatores nutricionais do solo são responsáveis pelo aumento ou diminuição da C-CO₂.

Quanto mais os microrganismos respiram, mais estão metabolizando matéria orgânica. Esse atributo permite fazermos inferências sobre a qualidade do material que a população microbiana está processando. Uma determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos carbono é perdido como CO₂ pela respiração e uma fração significativamente de carbono é incorporada à BM. Considerando a mesma constituição da comunidade microbiana, uma BMS “eficiente” teria menor taxa de respiração (INSAM E DOMSCH, 1988).

Roscoe et al. (2006) afirmam que uma alta taxa de respiração pode ser interpretada como característica desejável quando se considera que a decomposição dos resíduos orgânicos irá disponibilizar nutrientes para a planta. Assim, Islam e Weil (2000) concluem que a taxa de respiração mais elevada pode ser desejável ou não, pode indicar tanto distúrbio, como alto nível de produtividade do ecossistema, devendo ser analisada em cada contexto.

A matéria orgânica do solo (MOS) pode ser facilmente decomponível, exigindo menos da C-BMS, como exsudados de raízes e folhas da serapilheira. Assim a C-CO₂ tende a ser mais baixa.

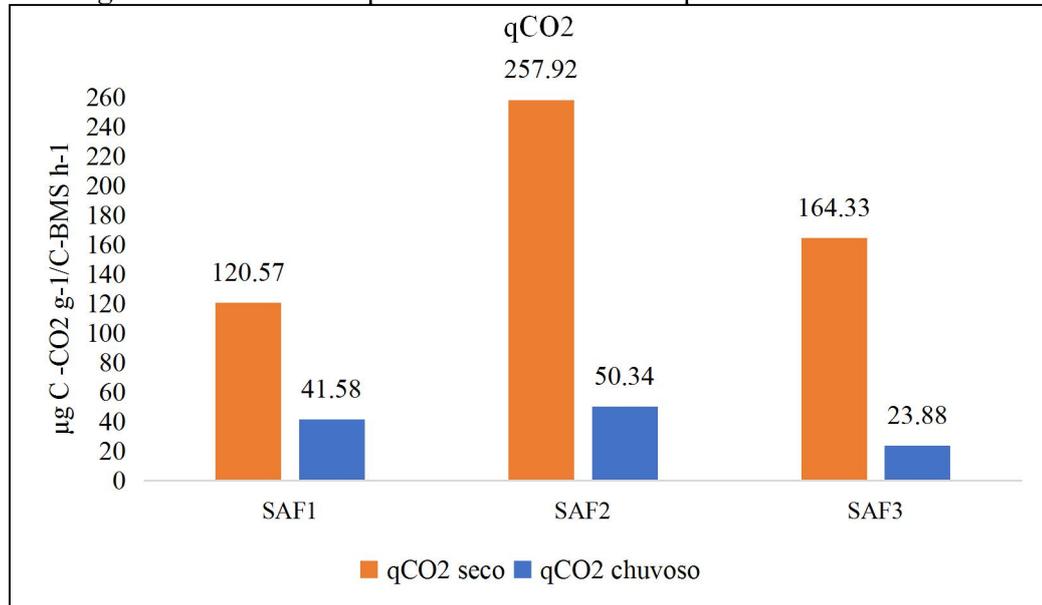
Quando o material disponível para o solo apresenta alta concentração de lignina, será mais difícil, assim exige mais dos microrganismos, forçando a metabolização desse material e elevando a liberação de CO₂.

Segundo Insam e Domsch (1988), à medida que uma determinada biomassa microbiana se torna mais eficiente, menos carbono é perdido como CO₂ pela respiração e uma fração significativamente de carbono é incorporada à biomassa microbiana.

Estudando sucessão de cultura de feijão e milho e soja e trigo, Gonçalves et. al. (2019), verificaram que na rotação de feijão e milho o C-CO₂ foi maior, atribuíram a isso qualidade da cobertura produzida por essas culturas, especialmente a palha do milho de difícil decomposição.

6.3.1.3 Quociente metabólico.

Figura 5. Valores do quociente metabólico no período seco e chuvoso.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Não houve diferença significativa do q-CO2 entre os SAFs (Figura 5), contudo pode-se perceber que a eficiência microbiana no período chuvoso, devido ao aumento populacional com o aproveitamento do COS em C-BMS, evidenciado pela redução dos valores de q-CO2.

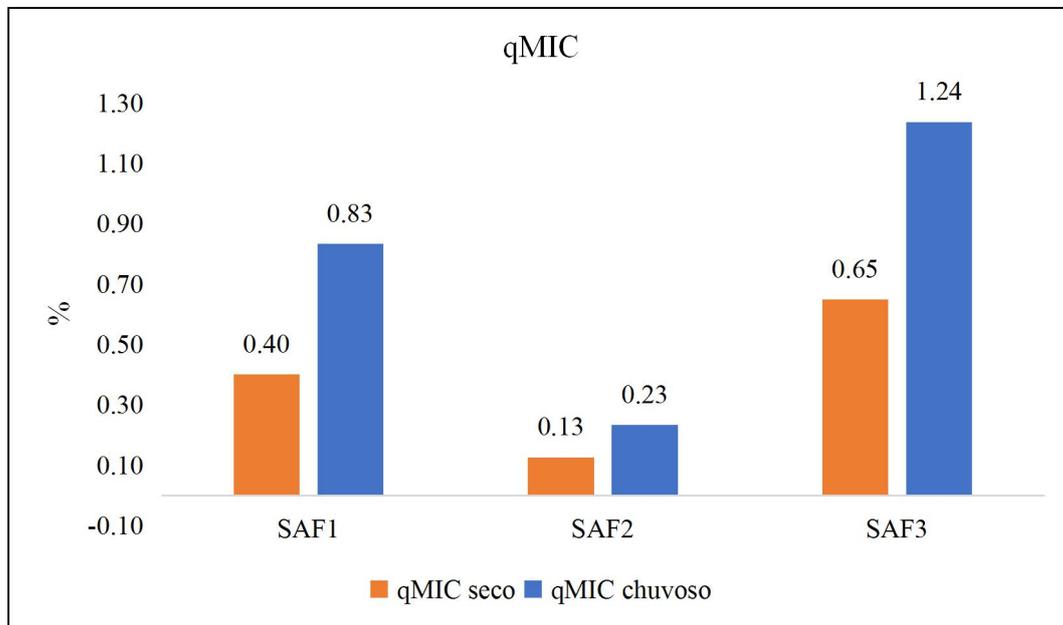
O quociente metabólico, expressa a quantidade de CO2 liberado pela quantidade de C-BMS em função do tempo, portanto, representa a taxa de respiração específica da biomassa microbiana. Altos valores do qCO2 significam que a população microbiana está oxidando carbono de suas próprias células para a sua manutenção e adaptação ao solo, portanto, a população microbiana se encontra em condições adversas ou estressantes (WEIL, 2000).

No SAF2 o qCO2 foi mais elevado do que nos demais sistemas no período seco, a cobertura do solo com *biochar* e triturado de podas de árvores podem ter contribuído, uma vez que são materiais menos decomponíveis.

Assim, à medida que a biomassa microbiana se torna mais eficiente na utilização dos recursos do ecossistema, menos CO2 é perdido pela respiração e maior proporção de C é incorporada aos tecidos microbianos, resultando em menor valor de qCO2, sugerindo que o sistema se encontra próximo do seu equilíbrio (MERCANTE et al., 2008)

6.3.1.4 Quociente microbiano.

Figura 6. Valores do quociente microbiano no período seco e chuvoso.



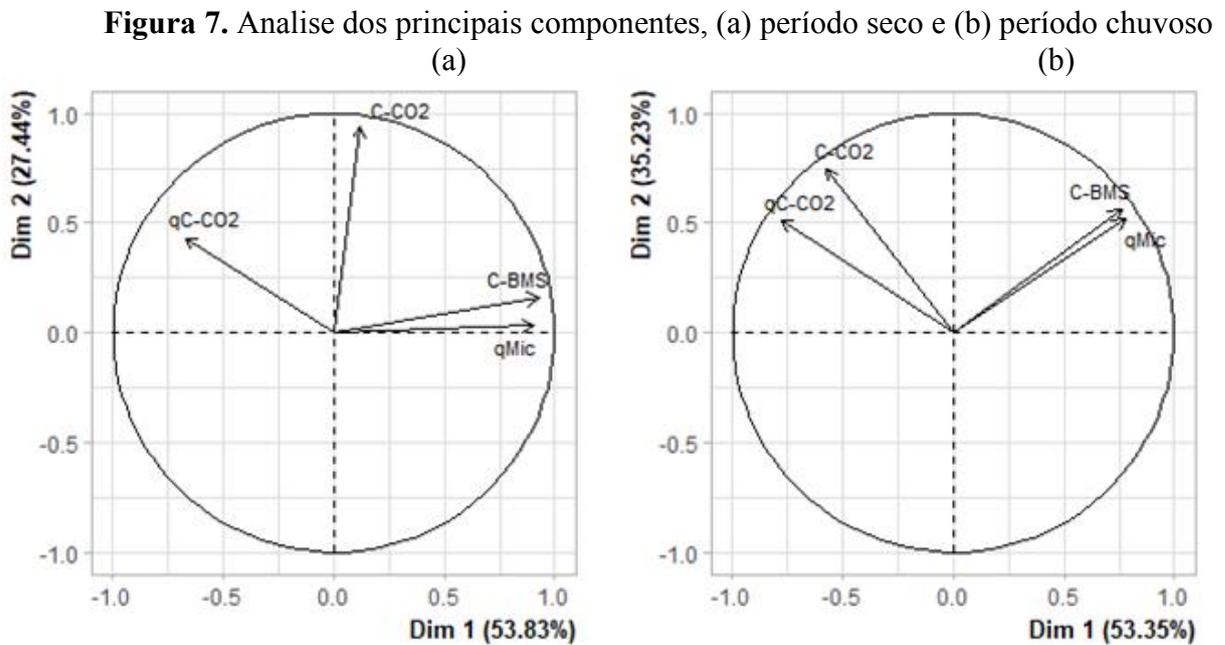
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O qMIC é obtido pela razão entre o C-BMS e COT expresso em porcentagem, indica a qualidade da matéria orgânica do solo, demonstrando a eficiência dos microrganismos na utilização dos compostos orgânicos (DADALTO et al., 2015).

No período seco houveram diferenças estatísticas entre o SAF2 e o SAF3, já no período chuvoso todos os sistemas se diferenciaram, sendo que o SAF2 foi o que apresentou os menores valores de qMIC, indicando dificuldades para a biomassa microbiana em aproveitar o COS.

Segundo Silva et al. (2010), o quociente microbiano indica a quantidade de carbono do solo que está imobilizado na biomassa microbiana. Portanto, o material de cobertura de solo mais recalcitrante dificulta sua incorporação no C-BMS.

Analisando conjuntamente todos os atributos microbiológicos do solo, é possível inferir sobre fertilidade e equilíbrio do solo. No caso deste estudo, comparando os SAF 1, 2 e 3, pode-se constatar que o SAF3 apresentou melhores resultados, sugestionando que o manejo aplicado nesse sistema tem sido eficiente.



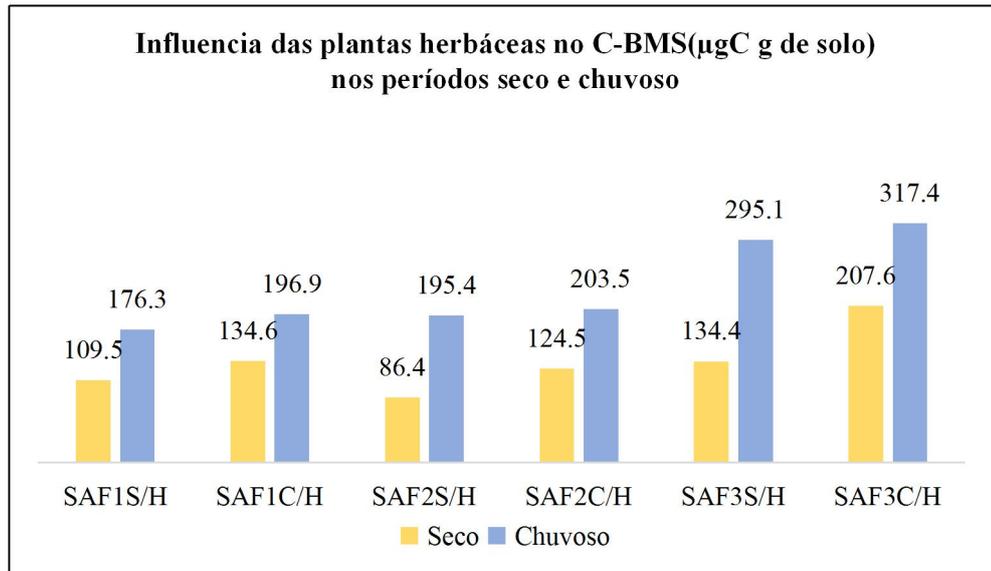
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A análise dos principais componentes (PCA) revela que para os dois períodos, o C-BMS e o qMIC explicam mais de 50% da variância dos dados, o que evidencia a importância desses atributos para análise de qualidade do solo (Figura 7).

6.3.1.5 Influência das herbáceas sobre a comunidade microbiana do solo e teor de carbono no solo (COT).

Na Figura 8 são apresentados os resultados de C-BMS em áreas sem a presença de plantas herbáceas e espontâneas e com a presença dessas plantas.

Figura 8. Valores médios de C-BMS em áreas com e sem herbáceas nos SAFs.



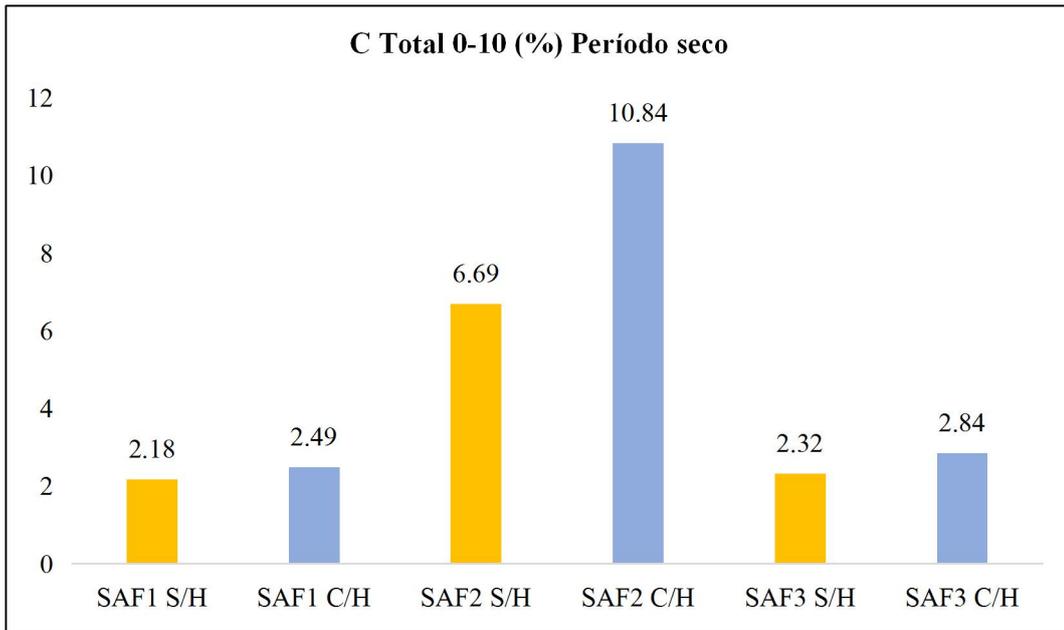
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os resultados revelaram que em todos os SAFs, nas áreas onde havia a presença de herbáceas a população microbiana (C-BMS) foi maior. No SAF3 a diferença foi mais expressiva, sugerindo que a utilização do estrato herbáceo com plantio de cultivares sob as árvores contribui para a manutenção da fertilidade do solo. Estatisticamente apenas no SAF2 houve diferença significativa entre as médias da área de sem herbácea no período seco (SFA2S/H) e SAF2 com herbácea no período chuvoso (SAF2C/H) ($p= 0,02$).

Weber (2009), estudando 4 SAFs no Estado do Ceará, verificou valores mais elevados ($154,74 \mu\text{g C-BMS g}^{-1}\text{ solo}$) no SAF onde, além do aporte de matéria orgânica das culturas e incremento de cobertura vegetal, também haviam muitas espécies herbáceas ocupando o estrato baixo da copa das árvores, e mais baixos no SAF em que não haviam herbáceas ($56,60 \mu\text{g C microbiano g}^{-1}\text{ solo}$).

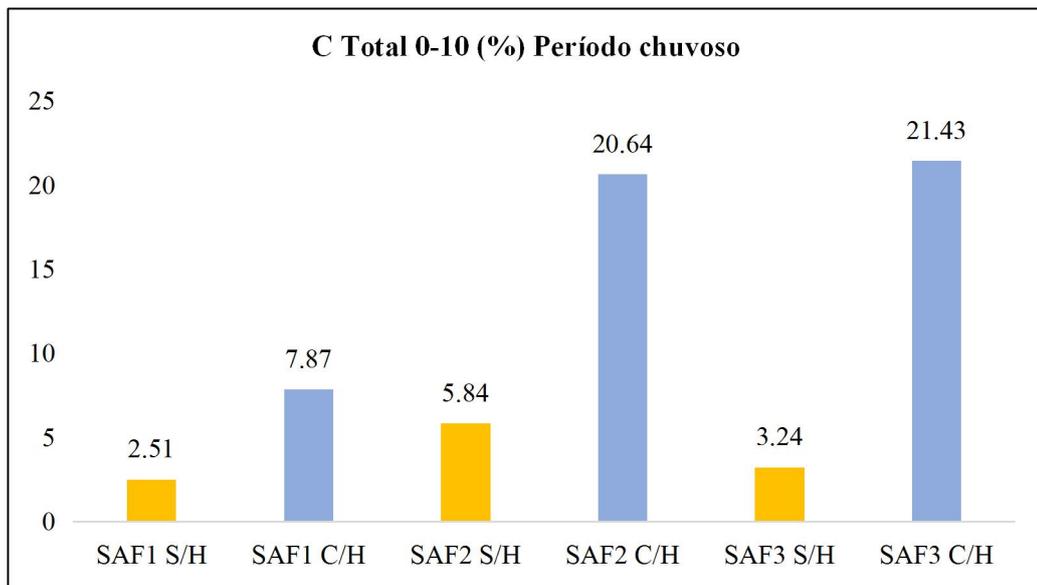
Nas áreas onde a presença de plantas herbáceas e espontâneas era maior o teor de carbono (COT) também foi maior (Figura 9 e 10), corroborando o papel dessas plantas na fixação de carbono no solo, justificando sua recomendação como cobertura de solo e para mitigação climática.

Figura 9. Teor de carbono no solo na profundidade de 10cm, período seco.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 10. Teor de carbono no solo na profundidade de 10cm, período chuvoso.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Por meio da biossíntese microbiana, os compostos dissolvidos tornam-se precursores dominantes para a formação de carbono orgânico estável no solo. Testes empíricos demonstraram que as taxas de COS são negativamente correlacionadas com as taxas de C-CO₂ e positivamente correlacionada com o C-BMS (BRADFORD, KEISER, et al., 2013). Desta forma, por meio do C-BMS é possível qualificar a fertilidade do solo e inferir sobre a estocagem de carbono no solo.

Cotrufo et al. (2013), sintetizaram o entendimento de como a eficiência microbiana é aumentada pelos constituintes lábeis das plantas herbáceas em uma matriz de eficiência microbiana (MEM), consideram que os produtos microbianos de decomposição se tornariam os principais precursores da MOS estável, promovendo a agregação e por meio de fortes ligações químicas à matriz do solo mineral.

6.4 CONCLUSÕES

- 1 – O C-BMS mostrou-se um indicador eficiente para avaliar a fertilidade do solo e com forte influência na formação do COS.
- 2 – Houve aumento expressivo da população microbiana e melhora na eficiência dos microrganismos no período chuvoso.
- 3 – As plantas herbáceas influenciam o aumento da população microbiana e COT.

6.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARDGETT, R. D., MCALISTER, E. "The measurement of soil fungal:bacterial biomass ratios as an indicator of ecosystem self-regulation in temperate meadow grasslands", **Biology and Fertility of Soils**, v. 29, n. 3, p. 282–290, 1 jul. 1999. DOI: 10.1007/s003740050554. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s003740050554>. Acesso em: 20 fev. 2020.

BEER, J. "Litter production and nutrient cycling in coffee (*Coffea arabica*) or cacao (*Theobroma cacao*) plantations with shade trees", **Agroforestry Systems**, v. 7, n. 2, p. 103–114, out. 1988. DOI: 10.1007/BF00046846. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00046846>. Acesso em: 1 fev. 2021.

BONAN, G. B. Forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. **Forests and climate change**: American Association for the Advancement of Science. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/320/5882/1444>. Acesso em: 16 jan. 2021, 13 jun. 2008

BRADFORD, M. A., KEISER, A. D., DAVIES, C. A., et al. Empirical evidence that soil carbon formation from plant inputs is positively related to microbial growth. **Biogeochemistry**, Springer. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10533-012-9822-0>. Acesso em: 1 nov. 2020. 11 jan. 2013

DE MATOS, E. P. N. B.; WEBER, O. B. Avaliação de indicadores biológicos de qualidade do solo de diferentes agrossistemas comparados com uma área de mata nativa no Ceará. In: **Embrapa Agroindústria Tropical-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ECOLOGIA, 3., 2009, São Lourenço. Anais... São Lourenço: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2009., 2009.

- COTRUFO, M. F., WALLENSTEIN, M. D., BOOT, C. M., et al. "The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: Do labile plant inputs form stable soil organic matter?", **Global Change Biology**, v. 19, n. 4, p. 988–995, 1 abr. 2013. DOI: 10.1111/gcb.12113. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/gcb.12113>. Acesso em: 30 out. 2020.
- DA SILVA, M. S. C., DA SILVA, E. M. R., PEREIRA, M. G., et al. "Estoque de serapilheira e atividade microbiana em solo sob sistemas agroflorestais", **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 431–441, 2012. DOI: 10.4322/floram.2012.058. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.058>. Acesso em: 7 out. 2020.
- GAMA-RODRIGUES, E. F. da, GAMA-RODRIGUES, A. C. da, BARROS, N. F. de. "Biomassa microbiana de carbono e de nitrogênio de solos sob diferentes coberturas florestais", **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 361–365, set. 1997. DOI: 10.1590/s0100-06831997000300002. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06831997000300002&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 4 fev. 2021.
- GONÇALVES, VALDINEI & MELO, CHRISTIANE & ASSIS, IGOR & FERREIRA, LINO & TEIXEIRA, DOUGLAS. (2019). Biomassa e atividade microbiana de solo sob diferentes sistemas de plantio e sucessões de culturas. **Revista de Ciências Agrárias**. 62. 10.22491/rca.2019.2611.
- GORDEN, R. W., BEYERS, R. J., ODUM, E. P., et al. "Studies of a Simple Laboratory Microecosystem: Bacterial Activities in a Heterotrophic Succession", **Ecology**, v. 50, n. 1, p. 86–100, 1 jan. 1969. DOI: 10.2307/1934666. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.2307/1934666>. Acesso em: 1 fev. 2021.
- GUPTA, V. V. S. R., GERMIDA, J. J. "Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation", **Soil Biology and Biochemistry**, v. 20, n. 6, p. 777–786, 1 jan. 1988. DOI: 10.1016/0038-0717(88)90082-X. .
- ISBELL, F., CRAVEN, D., CONNOLLY, J., et al. "Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes", **Nature**, v. 526, n. 7574, p. 574–577, 22 out. 2015. DOI: 10.1038/nature15374. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature15374>. Acesso em: 1 fev. 2021.
- LAL, R., KIMBLE, J. M. "Conservation tillage for carbon sequestration", **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 49, n. 1–3, p. 243–253, 1997. DOI: 10.1023/a:1009794514742. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009794514742>. Acesso em: 1 fev. 2021.
- MAYER, M., PRESCOTT, C. E., ABAKER, W. E. A., et al. Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. **Forest Ecology and Management**, 15 jun. 2020
- MERCANTE, F. M.; SILVA, R. F.; FRANCELINO, C. S. F.; CAVALHEIRO, J. C. T.; OTSUBO, A. A. Biomassa microbiana, em um Argissolo Vermelho, em diferentes coberturas vegetais, em área cultivada com mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 34, p. 479-485, 2008.

MONTAGNINI, F., NAIR, P. K. R., "Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems". **Agroforestry Systems**. v. 61. p. 281–295. DOI: 10.1007/978-94-017-2424-1_20. Disponível em: <http://unfccc.int>. Acesso em: 2 dez. 2020.

NAIR, P. K. R., KUMAR, B. M., NAIR, V. D. Agroforestry as a strategy for carbon sequestration. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jpln.200800030>. Acesso em: 15 out. 2020. , 1 fev. 2009

OELBERMANN, M., VORONEY, R. P. "Carbon and nitrogen in a temperate agroforestry system: Using stable isotopes as a tool to understand soil dynamics", **Ecological Engineering**, v. 29, n. 4, p. 342–349, 1 abr. 2007. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2006.09.014.

POWLSON, D. S., PROOKES, P. C., CHRISTENSEN, B. T. "Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation", **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 2, p. 159–164, 1987. DOI: 10.1016/0038-0717(87)90076-9.

SANDERMAN, Jonathan; HENGL, Tomislav; FISKE, Gregory J. Soil carbon debt of 12,000 years of human land use. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 36, p. 9575-9580, 2017.

SIX, J., FELLER, C., DENEFF, K., et al. "Soil organic matter, biota and aggregation i temperate and tropical soils-Effects of no-tillage", DOI: 10.1051/agro:2002043. Disponível em: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00885974>. Acesso em: 1 fev. 2021.

SOARES SEVERINO, L., XAVIER COSTA, F., ESBERARD DE MACÊDO BELTRÃO, N., et al. " Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana", **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, n. 1, p. 0-undefined, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=50050105>. Acesso em: 4 fev. 2021.

VAN GROENIGEN, K. J., BLOEM, J., BÅÅTH, E., et al. "Abundance, production and stabilization of microbial biomass under conventional and reduced tillage", **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, n. 1, p. 48–55, 1 jan. 2010. DOI: 10.1016/j.soilbio.2009.09.023.

YOUNG, A. "Agroforestry for soil management.", **Agroforestry for soil management.**, n. Ed. 2, 1997.

7 ARTIGO 3 – Estimativa da biomassa microbiana do solo por imagens multiespectrais.

RESUMO

Os sistemas agroflorestais biodiversos criam heterogeneidade ambiental, formando novos nichos e aumentando a biodiversidade. São os agroecossistemas mais indicados para a mitigação do clima e provisão de diversos serviços ecossistêmicos. Este estudo investigou uma nova abordagem de avaliação da fertilidade do solo, a partir de imagens do satélite Landsat8 e índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI), para a elaboração de modelos alométricos com base na resposta espectral da vegetação e microbiologia do solo. Trata-se de uma pesquisa exploratória na aplicação de sensoriamento remoto para avaliações ambientais. Foram produzidas imagens em NDVI de três sistemas agroflorestais (SAFs), um plantio convencional (PC) e um fragmento de mata nativa (MN). Todas as áreas ficam sobre o mesmo tipo de solo, na região periurbana do município de Dourados, Mato Grosso do Sul. Foram coletadas amostras de solo para analisar o carbono da biomassa microbiana (C-BMS), a atividade microbiana (C-CO₂), o quocientes metabólicos (qCO_2) e o quocientes microbianos ($qMIC$). A MN apresentou NDVI de 0,79, diferindo significativamente dos demais sistemas estudados ($p=0,0001$). O SAF1 0,67, SAF2 0,58, SAF3 0,57 e, com menor valor, o PC 0,45. Os resultados de NDVI e dos atributos microbiológicos do solo foram

submetidos a análise de regressão múltipla para identificar as variáveis microbiológicas com maior correlação com o NDVI. Chegou-se em um modelo para a predição do C-BMS com R^2 ajustado de 0,18, aplicando a fórmula $C-BMS = -180 + 640 \cdot NDVI$.

Propõe-se, o emprego de geoestatística para aumentar a acurácia dos modelos e gerar mapas pelos métodos de semivariância e krigagem,

Palavras-chave: Fertilidade do solo, NDVI, equações alométricas.

Paper 3 – Correlation of vegetation index by standardized difference (NDVI) and soil microbiology in agroforestry systems.

ABSTRACT

Biodiverse agroforestry systems create environmental heterogeneity, forming new niches and increasing biodiversity. They are the most suitable agroecosystems for climate mitigation and the provision of various ecosystem services. This study investigated a new approach to soil fertility assessment, based on Landsat8 satellite images and normalized difference vegetation index (NDVI), for the development of allometric models based on the spectral response of vegetation and soil microbiology. This is exploratory research on the application of remote sensing for environmental assessments. NDVI images of three agroforestry systems (SAFs), a conventional plantation (PC), and a fragment of native forest (MN) were produced. All areas are on the same type of soil, in the periurban region of the municipality of Dourados, Mato Grosso do Sul. Soil samples were collected to analyze microbial biomass carbon (C-BMS), microbial activity (C-CO₂), metabolic quotients (qCO₂), and microbial quotients (qMIC). The MN had an NDVI of 0.79, significantly differing from the other systems studied ($p=0.0001$). SAF1 0.67, SAF2 0.58, SAF3 0.57 and, with a lower value, PC 0.45. The results of the NDVI and soil microbiological attributes were submitted to

multiple regression analysis to identify the microbiological variables with the highest correlation with the NDVI. The model for the prediction of C-BMS was arrived at with an adjusted R² of 0.18, applying the formula $C-BMS = -180 + 640 \cdot NDVI$.

The use of geostatistics is proposed to increase the accuracy of the models and generate maps using semivariance and kriging methods.

Keywords: Soil fertility, NDVI, allometric equations.

7.1 INTRODUÇÃO

A busca por tecnologias indiretas, não destrutivas e mais baratas de avaliação ambiental, tem levado os pesquisadores das mais diferentes áreas usarem cada vez mais a geotecnologia (ROSENDO, 2005).

Dada a importância dos sistemas agroflorestais (SAF) para a mitigação climática, avaliações ambientais precisas de área de SAF em todo o mundo com base nas abordagens de sensoriamento remoto devem ser amplamente desenvolvidas (XU et al. (2018).

A partir das medidas de radiância detectadas por sensores remotos, podem ser estimados diversos parâmetros físicos/químicos e/ou biológicos importantes para o monitoramento de ambientes aquáticos (Brando et al., 2015; Barrett e Frazier, 2016), florestais (Majasalmi e Rautiainen, 2016; Wang et al., 2018) e agrícolas (Clevers et al., 2017; Gerstmann et al., 2018).

A precisão dessas estimativas é dependente do grau de relação entre as medidas de radiância e as variáveis biofísicas em análise (Lantzanakis et al., 2017).

As imagens são formadas a partir da reflectância gerada pelos objetos que compõem a superfície do planeta, por meio de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, (MENESES & ALMEIDA, 2012).

O monitoramento de áreas vegetadas tem sido usado para a identificação de padrões que permitem descrever as diferentes fitofisionomias, condições fisiológicas e mudanças

observadas na cobertura vegetal (JACKSON, HUETE, 1991). Esses padrões revelam uma assinatura espectral resultante da interação energia/matéria, desta forma são desenvolvidos os diferentes índices de vegetação (WANG et al., 2003).

Tuker (1979) avaliou e quantificou as relações entre várias combinações lineares de radiâncias infravermelhas fotográficas e vermelhas com biomassa experimental, conteúdo de água na folha e conteúdo de clorofila. Concluiu que essas podem ser empregadas para monitorar a biomassa fotossinteticamente ativa das plantas, então propôs o índice de vegetação por diferença normatizada (NDVI).

O NDVI é um dos mais empregados, devido sua capacidade em minimizar os efeitos topográficos e medir numa escala de -1 a 1 a atividade fotossintetizante dos vegetais (LI, SAPHORES E GILLESPIE, 2015), sendo o valor 0 indicativo de ausência de vegetação e valores negativos presença de água (ROSENDON, 2005).

Franke et al. (2019) investigaram uma região de ecótono entre árvores de pinheiro e áreas elevadas na Lapônia finlandesa usando dados de satélite multiespectrais durante 1984-2017, e por meio do NDVI verificaram aumento da densidade da floresta nos últimos anos, como resultado do aquecimento global.

Os índices de vegetação também podem ser usados para estimar o estoque de carbono na biomassa epígea utilizando técnicas de inventário florestal. Estudando SAFs na Amazônia brasileira, aplicando correlação entre diferentes índices de vegetação com a biomassa epígea. (LUIS BOLFE, BATISTELLA, et al., 2009).

Ramalho et al. (2014), avaliaram a relação entre o teor de carbono no solo e os aspectos biofísicos da cobertura vegetal referentes à Bacia Hidrográfica do Córrego Sarandi, região de Cerrado do Brasil Central, aplicando três índices de vegetação, o NDVI, o *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), desenvolvido para modelar de forma mais precisa a transferência de radiância do infravermelho próximo em dosséis incompletos, visando remover o ruído de fundo (HUETE, 1991) e o *Normalized Difference Water Index* (NDWI), evidencia o conteúdo de água na estrutura interna da folha (GAO, 1996).

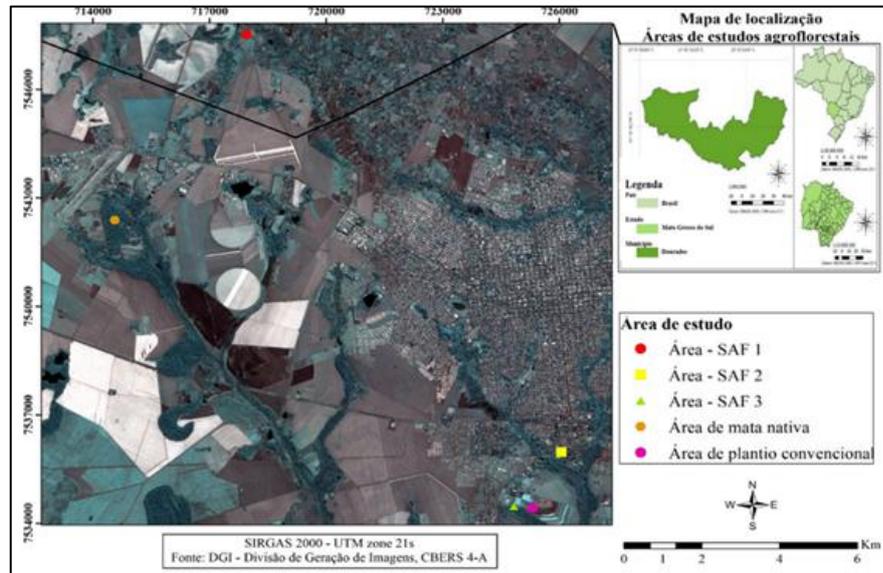
O sensoriamento remoto é uma ferramenta poderosa para vários tipos de monitoramento e tomadas de decisão envolvendo grandes territórios (FERRAZ et al., 2014).

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar o emprego do sensoriamento remoto em análises de fertilidade do solo, correlacionando o NDVI com os atributos microbiológicos do solo de SAFS, já que estão diretamente relacionados a fertilidade do solo (POWLSON et al., 1987) e ao fluxo de carbono no solo (VAN GROENIGEN et al., 2010).

7.2 MATERIAL E MÉTODOS

7.2.1 Áreas de estudo

Figura 1. Localização das áreas estudadas no município de Dourados e sua localização no estado de Mato Grosso do Sul.



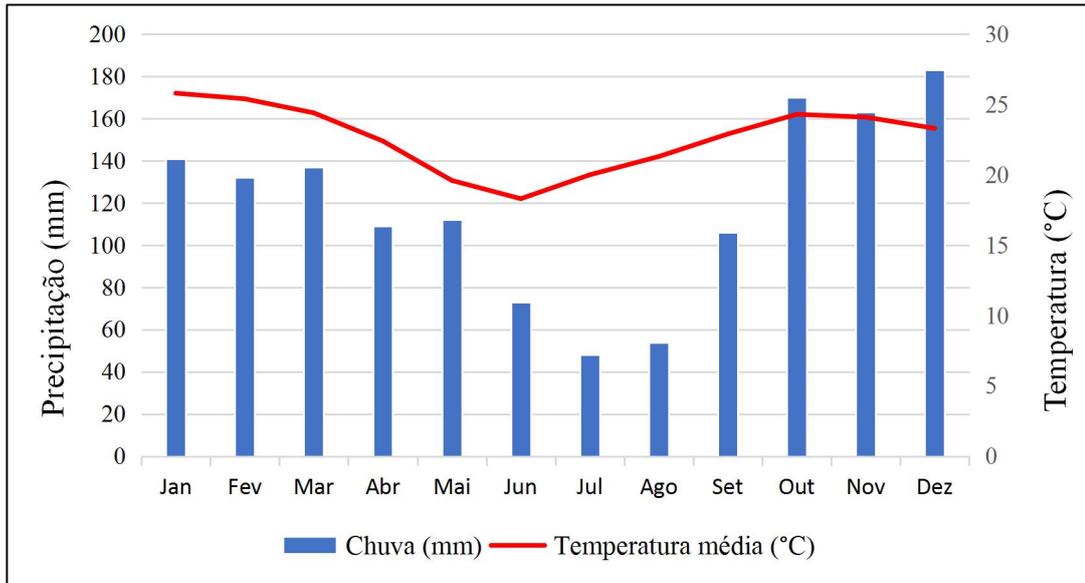
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O estudo foi desenvolvido na região Centro Oeste do Brasil que abriga os biomas Pantanal, Cerrado e Mata Atlântica. Foi escolhida a região periurbana da Cidade de Dourados, Mato Grosso do Sul, pois se encontra em um ecótono entre a Mata Atlântica e o Cerrado, dois dos *hotspots* mais ameaçados do mundo (IBGE, 2019).

O estudo foi realizado durante os anos de 2019 e 2020, envolvendo cinco áreas, sendo três SAFs biodiversos (SAF1, SAF2, SAF3), um plantio convencional (PC) e um fragmento de mata nativa (MN) (Figura 1).

Dourados está localizado a 450 m acima do nível do mar, o clima é tropical e na maioria dos meses do ano existe uma pluviosidade significativa. Existe uma curta época seca e não é muito eficaz. De acordo com a Köppen e Geiger, o clima é classificado como Am. A temperatura média anual é de 22.7 °C, a pluviosidade média anual é de 1428 mm. Em julho, a precipitação é de 48 mm, sendo este o mês mais seco do ano. Em dezembro, a precipitação é geralmente maior, com uma média de 183 mm (Figura 2).

Figura 2. Médias anuais de precipitação e temperatura da cidade de Dourados MS.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Todos os SAFs analisados são biodiversos e manejados em bases agroecológicas. As cinco áreas estudadas estão sobre Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa (EMBRAPA, 2018).

Na Tabela 1 são apresentados alguns dados das áreas estudadas.

Tabela 1. Dados gerais das áreas estudadas.

Dados das áreas de estudos	PC	SAF1	SAF2	SAF3	MN
Localização	Dourados - MS				
Latitude	22°16'51''	22°09'48''	22°16'00''	22°16'49''	22°12'38''
Longitude	54°48'48''	54°53'11''	54°48'21''	54°49'04''	54°55'08''
Altitude (m)	380	360	362	377	408
Temperatura média anual (°C)	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7
Precipitação média anual (mm)	1428	1428	1428	1428	1428
Tipo de solo	LVd	LVd	LVd	LVd	LVd
Tipo de uso de solo anterior	Lavoura	Lavoura	Pastagem	Pastagem	Reserva legal
Espaçamento entre árvores	nd	6x6	6x6	6x6	nd
Ano de implantação	nd	2007	2008	2011	nd
Riqueza de espécies vegetais arbustiva e arbórea	1	92	33	50	71
Principal produção	Mandioca	Frutíferas	Limão	Banana	nd

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O SAF1, foi implantado em 2007, arranjo multiestratificado e como foco na produção diversificada de frutíferas, esse SAF se desenvolve como uma floresta pomar, parte da renda produzida vem da produção de polpa, cana de açúcar para produção de garapa, horta e produção de plantas ornamentais. Atualmente não são feitas podas regulares nas árvores, com 14 anos de implantação, esse agroecossistema já é capaz de se auto regular com aporte de

serapilheira e o restabelecimento de funções ecossistêmica que já são compartilhando com os vizinhos, pode ser considerado um quintal florestal. O manejo é realizado por 4 pessoas, auxiliadas por um trator de pequeno porte para serviços diversos.

Os serviços ecossistêmicos culturais não foram alvo deste estudo, porém vale relatar que o SAF1 tem sido uma referência na região, tem sido objeto de dezenas de pesquisas, visitas de escolas para educação ambiental, ponto de parada para ecoturistas e grupos de ciclistas, apenas com essas ações já se percebe o volume de serviços ecossistêmicos deste SAF.

O SAF2 foi implantado em 2008, a principal produção é de limão taiti (*Citrus × latifolia* Tanaka e Q. Jiménez). Há também uma área para cultivo de mandioca e o início da produção de *Hylocereus polyrhizus* (Pitaya). Constituído por apenas um estrato arbóreo, que gera pouca biomassa para o solo. Há oito anos o solo vem recebendo como cobertura o *biochar* (fragmentos de carvão vegetal) e moídos de podas urbanas.

A decisão de usar o *biochar* como cobertura de solo nessa área ocorreu de forma empírica, de acordo com o relato do proprietário, que também gerenciava uma carvoaria, aplicou intuitivamente restos muito fragmentado de carvão descartado pela empresa e resolveu testar em uma pequena horta, observou resposta positiva ao perceber o vigor das hortaliças, então resolveu iniciar a deposição desse material em toda a área. A família reside no local e conta com força de trabalho de até 3 colaboradores.

O SAF3 foi implantado em 2011, tendo como foco a produção de *Musa paradisiaca* L. (banana.), cultivares de estrato herbáceo e árvores nativas com potencial extrativista, como por exemplo a *Dipteryx alata* Vogel (Baru), é do tipo multestrato e conta com equipe que realiza podas anuais e manejo constante na área.

O PC recebe manejo mecanizado e plantio com rotação de cultura de cana e mandioca. Seguindo o modelo tradicional, são aplicados periodicamente insumos para correção e nutrição do solo. No período de coletas deste estudo a produção era de mandioca.

O fragmento de MN, tipificado como Floresta Estacionária Semidescidual ou Caducifólia (IBGE, 1992), é remanescente de reserva legal de uma antiga fazenda, está localizada a oeste da cidade, e serviu como referencial para o estudo. Essa área sofre riscos de degradação em função da pressão imobiliária.

7.2.2 Aquisição dos dados microbiológicos

Com o auxílio de um trado, foram coletadas cinco amostras deformadas de solo, compostas por sete subamostras, em áreas sem herbáceas em cada sistema estudado (PC,

SAF1, SAF2, SAF3 e MN) e mais cinco em áreas com herbáceas nos SAFs (1, 2 e 3) na estação seca (23/09/2019) e na estação chuvosa (24/02/2020), totalizando 80 amostras. O solo coletado na profundidade de 0-10cm foi armazenado em sacos plásticos, protegidos da luz e levado para uma câmara fria.

No dia seguinte, as amostras foram levadas ao laboratório, separou-se de cada amostra, aproximadamente 20g de solo, para determinar o carbono orgânico total (COT). Após 24 horas na estufa em temperatura de 50°C, esses 20g de solo foram macerados com o auxílio de um almofariz e pistilo, 2g foram separadas em envelope de papel devidamente identificado. Posteriormente, foram preparadas quatro réplicas com aproximadamente 50mg e então processadas pelo aparelho analisador Vario T.O.C cube (Elementar® - Alemanha), gerando a planilha com os resultados de carbono total (COT %) e matéria orgânica (MO).

Os atributos microbiológicos analisados foram: carbono da biomassa microbiana (C-BMS), obtido pelo método da fumigação-extração, de acordo com Vance et al. (1987).

A atividade microbiana (C-CO₂) foi obtida por incubação das amostras durante sete dias, com captura de CO₂ em NaOH (1N) e feita titulação, pela adaptação do método da fumigação-incubação proposto por Jenkinson e Powlson (1976).

Foram determinados os quocientes metabólicos (qCO_2), conforme Anderson e Domsch (1990), a partir da relação C-CO₂/C-BMS, e os quocientes microbianos ($qMIC$), definido pela relação C-BMS/COT. As duas metodologias e processos analíticos estão descritos no anexo 4.

Para a determinação do estoque de carbono total do solo, foi empregada a equação 1.

$$\text{Est C} = (\text{COT} \times \text{Ds} \times e) / 10 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade (t/ha), COT = teor de C orgânico total na profundidade amostrada (g/kg), Ds = densidade do solo da profundidade (kg/dm³), e = espessura da camada considerada (cm).

7.2.4 Aquisição dos dados espectrais

As variáveis espectrais foram obtidas a partir de imagem do sensor OLI/TIRS do satélite Landsat 8 (Tabela 2).

Foram escolhidas cenas dos dias 2019-09-28 (período chuvoso) e 2020-03-06 (período seco) e obtidas as imagens na Divisão de Geração de Imagens – DGI, dentro da página do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. As imagens possuem resolução

de 30m multiespectral, o espectro eletromagnético vermelho é 0.630 - 0.680 μm , o espectro eletromagnético infravermelho próximo é 0.845 - 0.885 μm

Tabela 2. Informações básicas do Satélite Landsat8.

Instrumento/Sensor	OLI e TIRS
Operadora/Instituição Responsável	NASA (National Aeronautics and Space Administration)
País	Estados Unidos
Situação Atual	Ativo
Lançamento	41580
Altitude	705 Km
Inclinação	98,2°
Órbita	Circular, Polar, Heliossíncrona
Faixa Imageada	185 Km
Tempo de Duração da Órbita	99 min.
Horário da Passagem	10h / 12h
Período de Revisita	16 dias
Resolução Espacial	Pancromático: 15 m Multiespectral: 30 m Termal: 100 m reamostrada para 30 m

Fonte: INPE (2021).

Nos sensores OLI e TIRS as imagens são processadas em unidades de brilho absoluto usando ponto flutuante de 32 bits e depois são convertidos em valores inteiros de 16 bits finalizado o produto em número digital (DN). Por isso é necessária a correção para radiância espectral. Foram corrigidas apenas as bandas 4 e 5 das cenas baixadas para a composição do NDVI, usando a equação 2 com as informações fornecidas no arquivo de metadados de cada imagem.

$$L\lambda = ML * Qcal + AL \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$L\lambda$ = radiância espectral ($W / (m^2 * sr * \mu\text{m})$)

ML = fator de escala multiplicativo de radiância para a banda
(RADIANCE_MULT_BAND_n dos metadados)

AL = fator de escala aditivo de brilho para a banda
(RADIANCE_ADD_BAND_n dos metadados)

Qcal = valor de pixel de nível 1 em DN

As imagens também foram convertidas para refletância para correção da influência da atmosfera. A equação 3 foi usada para a conversão.

$$\rho\lambda = Mp * Qcal + Ap \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

$\rho\lambda$ = TOA Reflectância Espectral Planetária, sem correção para solar ângulo. (Sem unidade)

$M\rho$ = fator de escala multiplicativo de refletância para a banda (REFLECTANCEW_MULT_BAND_n dos metadados).

$A\rho$ = fator de escala aditivo de refletância para a banda (REFLECTANCE_ADD_BAND_N dos metadados).

Q_{cal} = valor de pixel de nível 1 em DN

Após a conversão para valores de reflectância, aplicou-se a equação 4 para ajustar a inclinação solar a para chegar em valores reflectância reais, assim conseguir um NDVI mais preciso.

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda}{\sin(\theta_{se})} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$\rho\lambda$ = refletância planetária TOA

θ_{SE} = ângulo de elevação local do sol; o ângulo de elevação do sol no centro da cena em graus é fornecido nos metadados

θ_{SZ} = ângulo zenital solar local; $\theta_{SZ} = 90^\circ - \theta_{SE}$

O NDVI, envolve a razão entre duas combinações lineares de bandas nas regiões espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, sendo expresso pela equação 5.

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde:

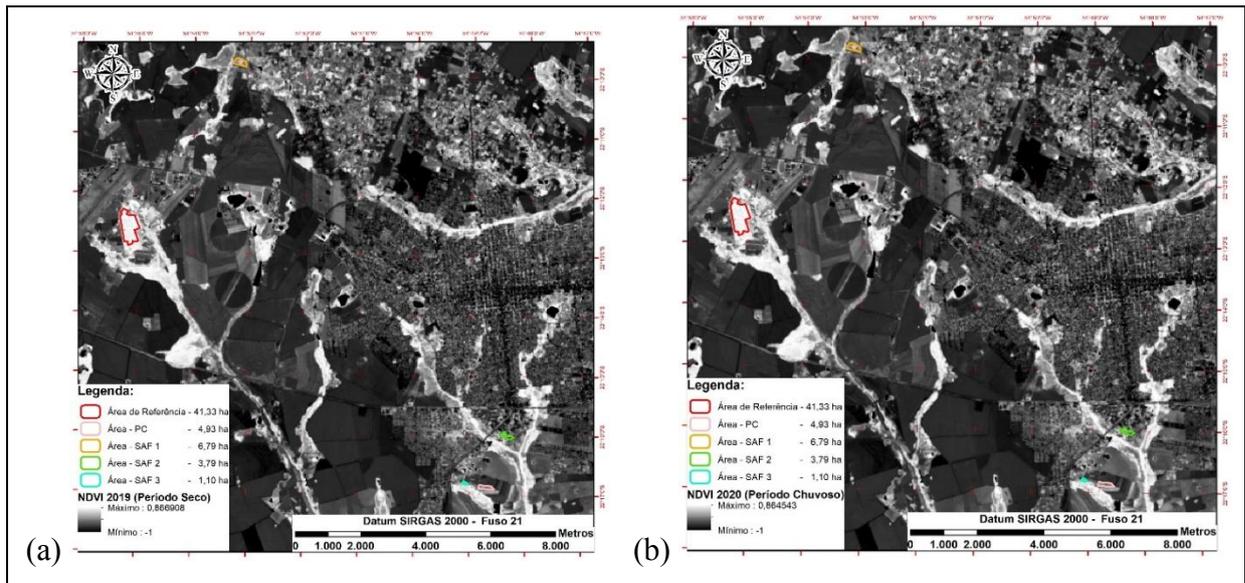
NDVI = índice de vegetação por diferença normalizada

NIR = banda espectral Infravermelho próximo

RED = banda espectral Vermelho

As correções radiométricas e o NDVI foram calculados no *software* ENVI 5.3. Os polígonos das áreas estudadas (PC, SAF1, SAF2, SAF3 e MN) foram feitos no *software Goggle Earth*, depois gerados arquivos KML e então importou-se esses polígonos para o ARCMAP 10.6, através da ferramenta *KML To Layer* encontrada no suplemento *Arctoolbox* do próprio programa (Figura 3).

Figura 3. Imagens em NDVI indicando os polígonos criados ao redor das áreas de estudo nos períodos seco (a) e chuvoso (b).



Fonte: Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Criou-se uma composição colorida com as bandas 4, banda 5 e banda 3 e o arquivo KML formando *shapefile* (arquivo formado por camadas de dados) com os polígonos referente as áreas de estudo, selecionou-se 10 *pixels* com valores de NDVI das áreas para calcular as médias de cada área em cada período amostrado.

Os resultados microbiológicos e de NDVI foram submetidos à análise de variância (ANOVA), com comparação de médias por Tukey a 5% de significância, por meio do programa estatístico Past, após análise da normalidade empregando o teste de Shapiro-Wilk das variâncias.

Aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk e o coeficiente de correlação de Pearson par a par entre as todas as variáveis para selecionar as com maior coeficiente de correlação entre o NDVI.

Através do *software* RStudio regressão linear múltiplas sendo o NDVI a variável dependente e os atributos microbiológicos (C-BMS, C-CO₂, qCO₂ e qMIC) as variáveis independentes.

Inicialmente, formulou-se um modelo com todas as variáveis, então foram feitas análises gráficas dos resíduos com correlações par a par de todas as variáveis para verificar os pressupostos de linearidade, normalidade, homoscedasticidade e verificação de outlier ou pontos influentes.

Novos modelos foram formados e testada a multicolinearidade usando o valor de inflação calculado (VIF) utilizando-se o RStudio.

7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.3.1 Microbiologia

O C-BMS apresentou aumento de aproximadamente 100% em todos os SAFs e na MN no período chuvoso (Tabela 3), mostram a respostas da população microbiana ao regime hídrico. No período seco apenas o SAF3 se diferenciou estatisticamente ($p < 0,001$) (Tabela 3).

Tabela 3. Médias dos atributos microbiológicos no solo de sistemas agroflorestais (SFA1, 2 e 3), plantio convencional (PC) e mata nativa (MN) nos períodos seco e chuvoso.

Período seco				
Sistemas de manejo e uso do solo	C-BMS $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco	C-CO2 $\mu\text{g C -CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo dia -1	q-CO2 $\mu\text{g C -CO}_2 \text{ g}^{-1}$ C-BMS h-1	qMIC %
MN	238,77a	33,32a	59,96a	0,66a
SAF1	90,13b	24,62ab	120,57a	0,40ab
SAF2	105,46b	21,01bc	257,92a	0,13b
SAF3	171,02a	23,67b	164,33a	0,65a
PC	104,97b	12,49c	103,44a	0,56ab
Período chuvoso				
Sistemas de manejo e uso do solo	C-BMS $\mu\text{g C g}^{-1}$ solo seco	C-CO2 $\mu\text{g C -CO}_2 \text{ g}^{-1}$ solo dia -1	q-CO2 $\mu\text{g C -CO}_2 \text{ g}^{-1}$ C-BMS h-1	qMIC %
MN	573,05a	57,86a	58,13a	1,56a
SAF1	186,60b	11,22b	41,58a	0,83b
SAF2	199,45b	21,48a	50,34a	0,23c
SAF3	306,24b	15,84a	23,88a	1,24a
PC	104,97b	28,75a	140,76b	1,12a

Fonte:

Elaborado pelo autor (2021).

Os dados corroboram com Gama-Rodrigues et al. (2005), Silveira et al. (2006), que observaram maior biomassa microbiana em períodos chuvosos.

A estimativa da C-BMS é um parâmetro sensível às mudanças iniciais no processo de transformação de matéria orgânica do solo, sendo um indicador útil para avaliar as alterações em ecossistemas com interferências antrópicas (JENKINSON & RAINER, 1977; POWLSON et al., 1987).

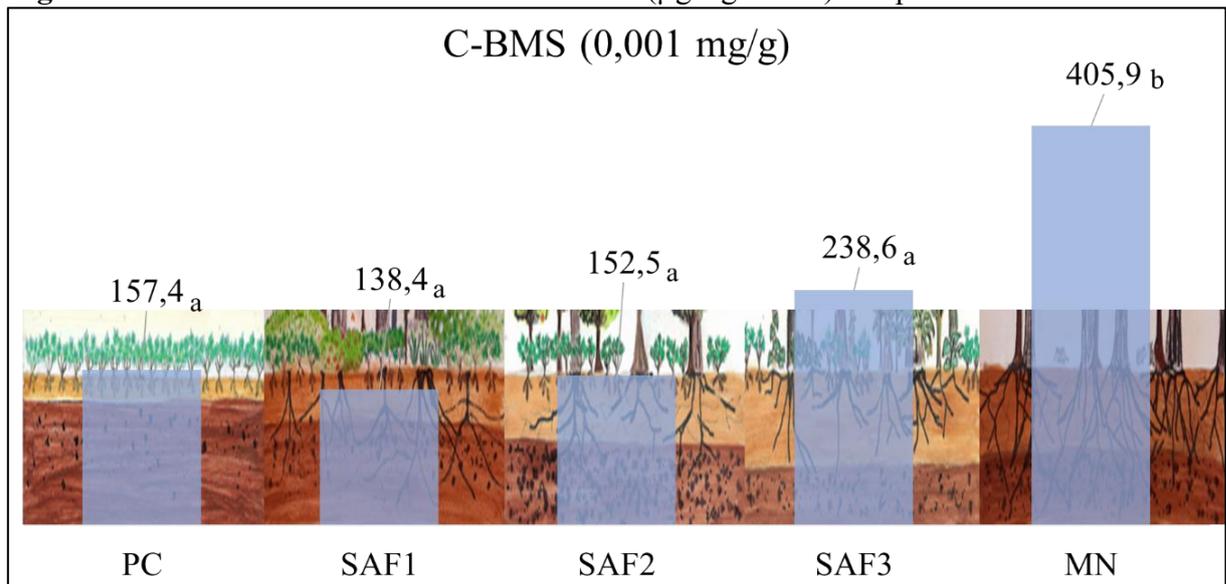
O SAF3 apresentou maiores resultados tanto na época seca ($171,02 \mu\text{g C g}^{-1}$ solo) como na época chuvosa ($306 \mu\text{g C g}^{-1}$ solo) entre os SAF1 e SAF2 (Figura 3), sugerindo que o manejo com podas e plantio de cultivares de estrato herbáceo possa ter contribuído para a entrada de matéria orgânica no solo.

Conforme Gama - Rodrigues (1997), os valores da biomassa microbiana indicam o potencial de reserva de carbono no solo que participa do processo de humificação. Desta

forma permite aferir o acúmulo ou perda de carbono em função de determinado manejo: quanto maior a biomassa microbiana, maior será a fertilidade e reserva de carbono no solo.

Analisando as médias de C-BMS dos dois períodos, apenas a MN apresentou diferença significativa ($p < 0,001$) (Figura 4).

Figura 4. Médias entre os resultados de C-BMS ($\mu\text{g Cg}^{-1}$ solo) nos períodos seco e chuvoso.



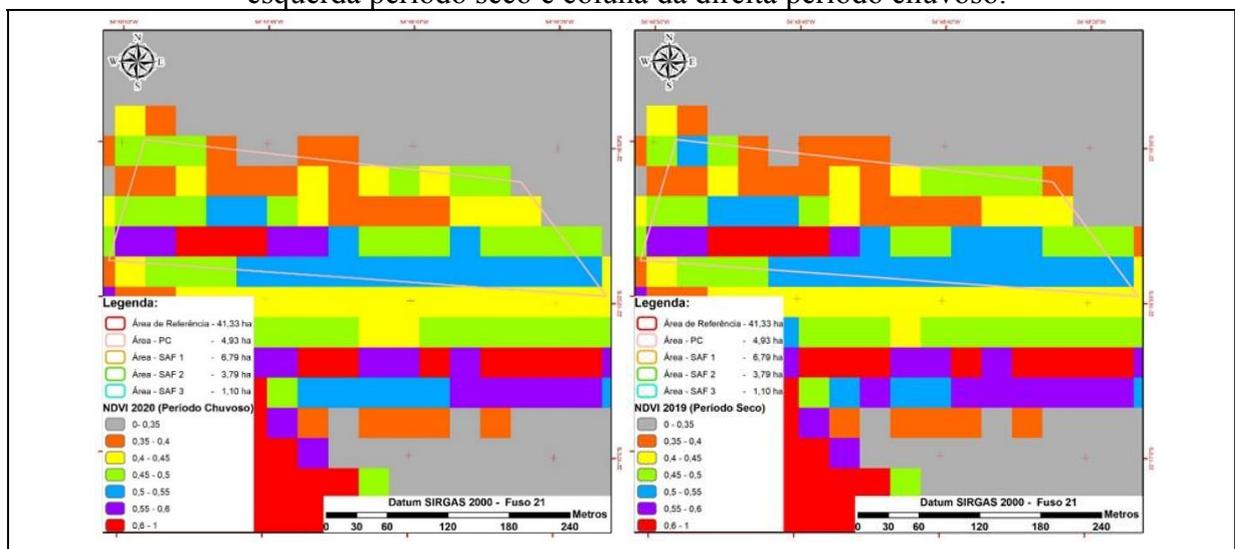
Letras minúsculas iguais ao lado das médias, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

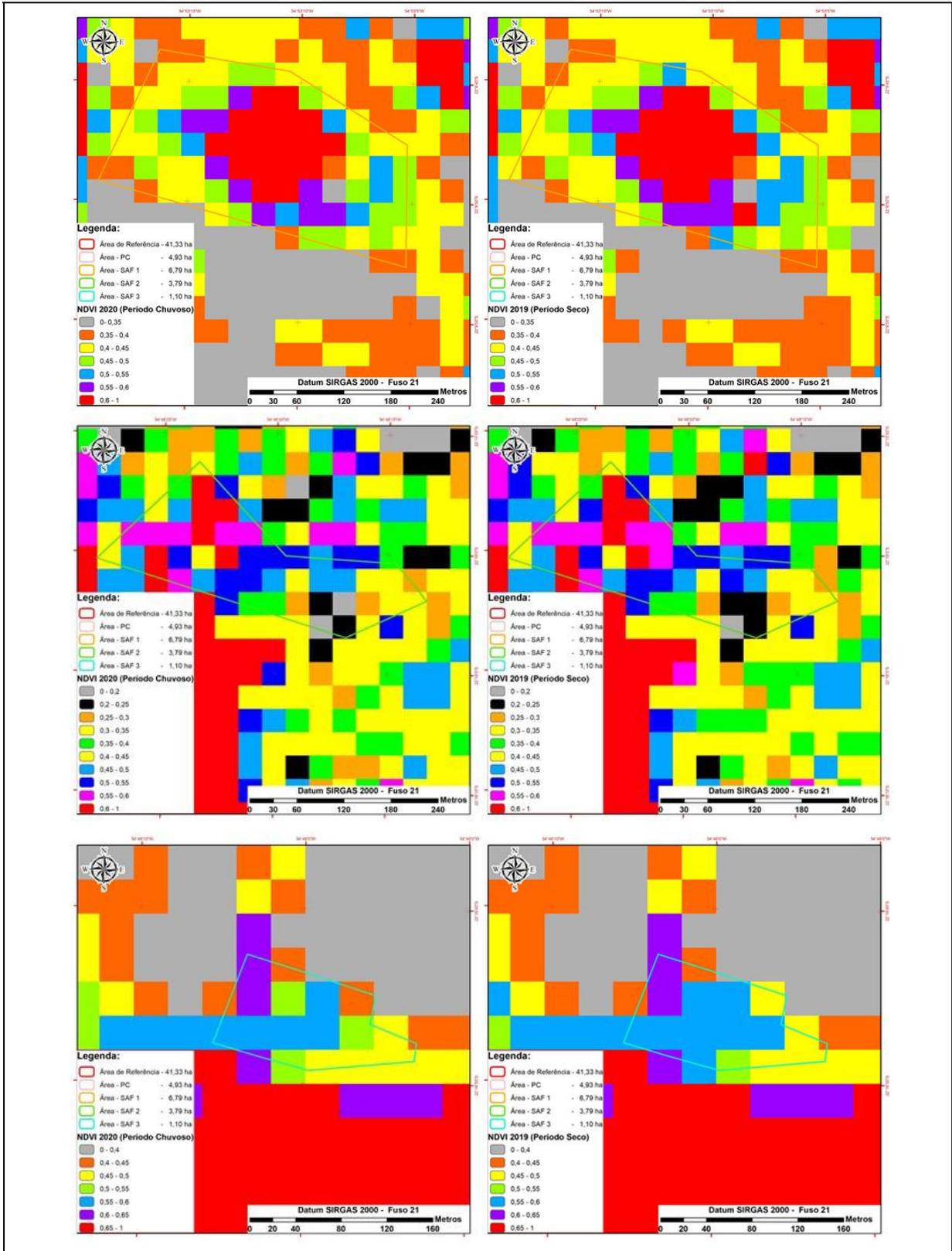
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

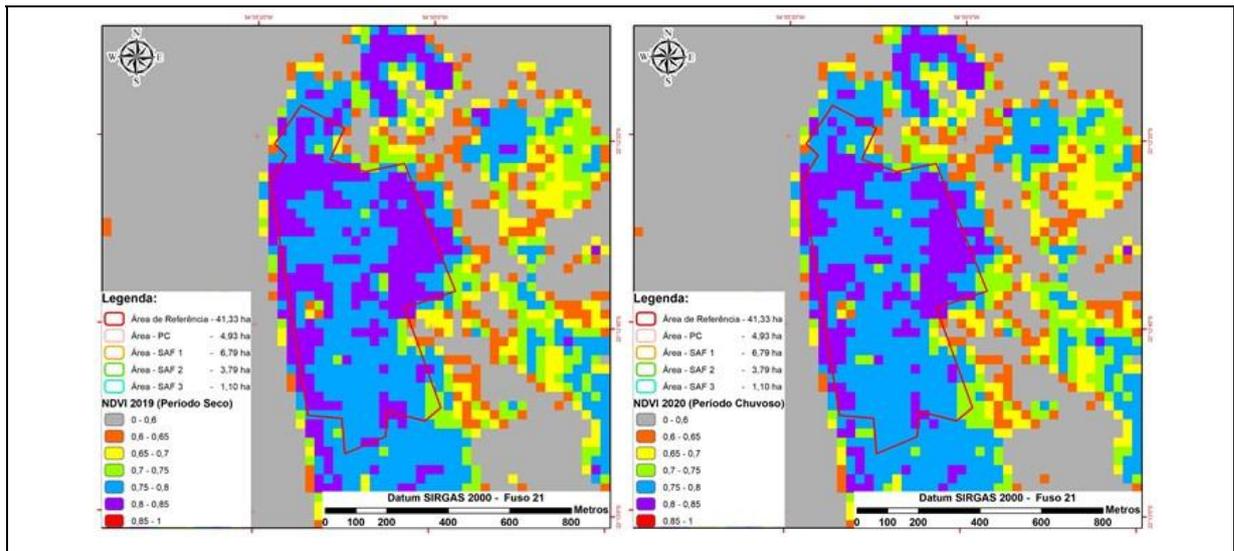
7.3.3 NDVI

A partir dos mapas de NDVI de cada área (Figura 5), os *pixels* próximos aos pontos de coleta de solo foram selecionados e os valores de NDVI compuseram 10 amostras de cada área estudada.

Figura 7. Mapas de NDVI dos sistemas estudados por classes de reflectância, na coluna da esquerda período seco e coluna da direita período chuvoso.



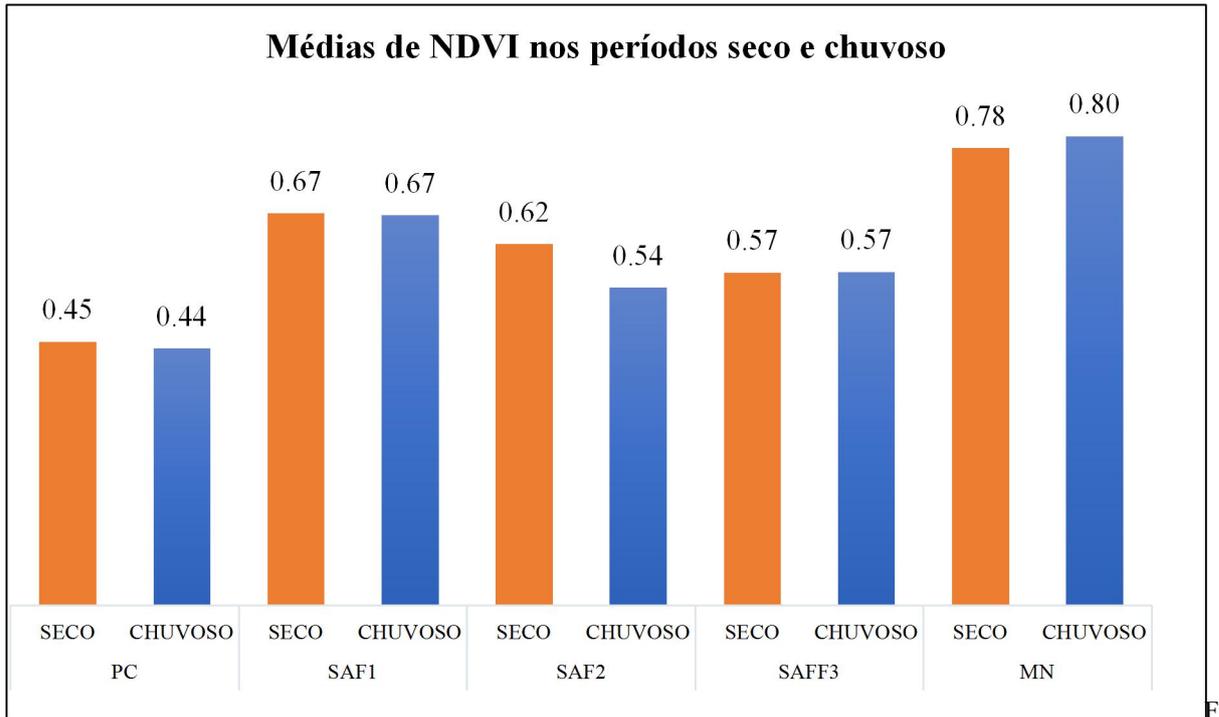




Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Não houve muita variação entre os períodos seco e chuvoso, como pode ser observado na Figura 8. No período chuvoso o PC e o SAF2 apresentaram os menores valores de NDVI, o SAF1 e o SAF3 mantiveram os valores nos dois períodos, apenas a MN apresentou aumento do NDVI no período chuvoso fato que pode estar relacionado pelo grande aumento na população microbiológica.

Figura 8. Gráfico comparando as médias de NDVI de casa sistema no período seco e chuvoso.

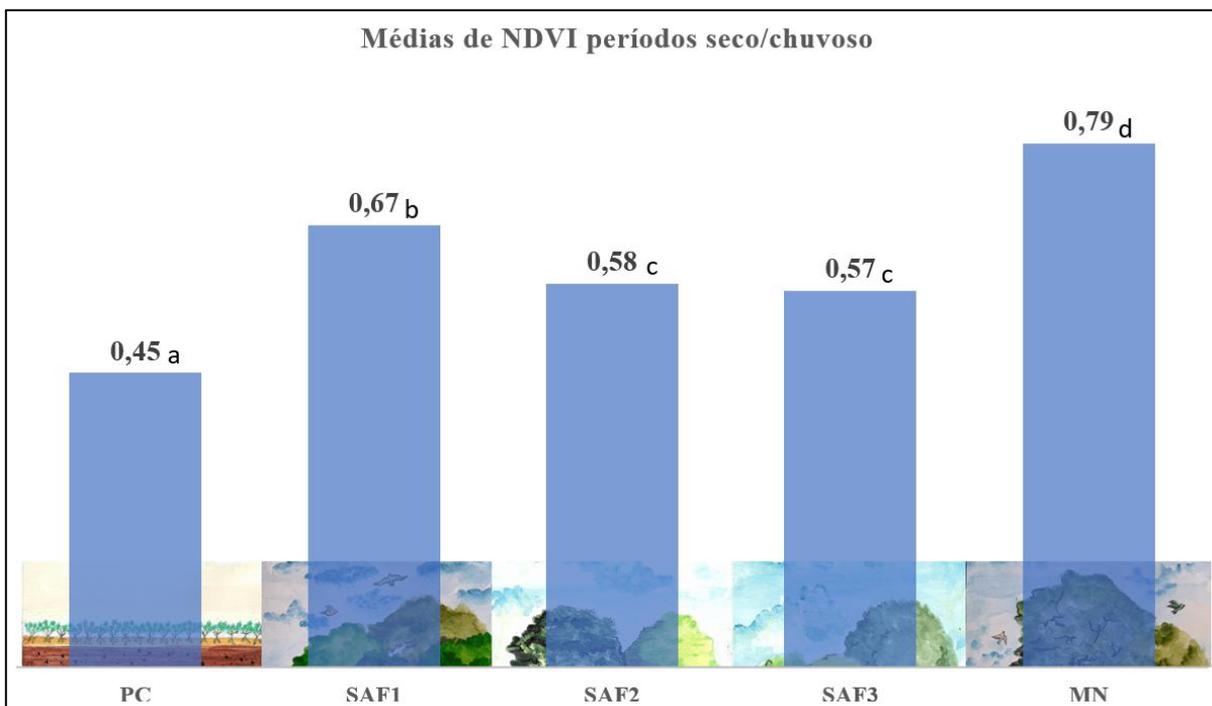


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A MN foi quem apresentou a maior média de NDVI (0,79) diferindo significativamente dos demais sistemas estudados ($p=0,0001$), seguido pelo SAF1 (0,67), SAF2 (0,58), SAF3 (0,57) e com menor valor o PC (0,45) (Figura 9). O SAF2 e o SAF3 não diferiram entre si ($p=0,9$).

O SAF1 diferenciou-se dos outros SAFs, o que pode ser explicado pela idade do sistema (13 anos de implantação) e o adensamento na área do quintal florestal da propriedade.

Figura 9. Médias de NDVI entre os períodos seco e chuvoso nas áreas estudadas.

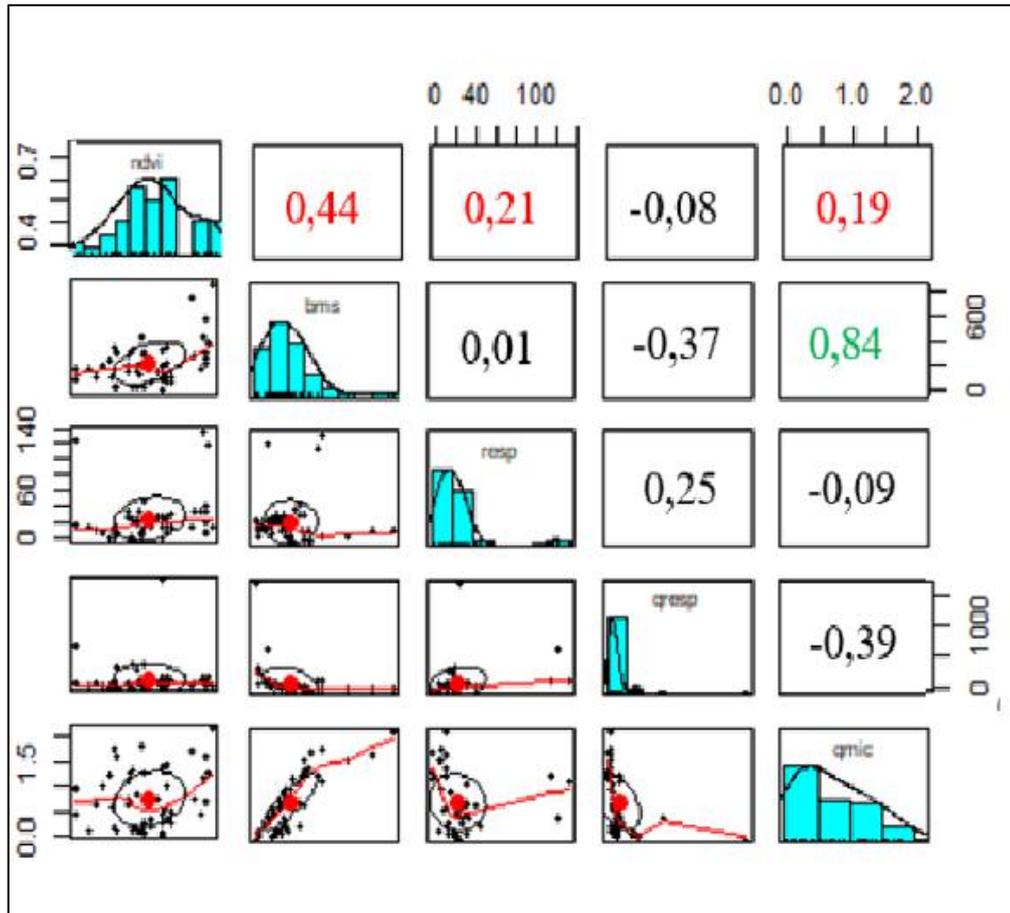


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os atributos microbiológicos do solo com os maiores coeficientes de correlação de Pearson entre o NDVI foram o C-BMS (0,44), C-CO₂ (0,21) e qMIC (0,19) (Figura 10).

Como as plantas reagem fisiologicamente às alterações no sistema solo e expressam essa reação por meio de reflectância, adotou-se a estratégia de correlacionar todos os atributos do solo como variável independentes e o NDVI como variável dependente.

Figura 10. - Acima da diagonal formada por gráficos de frequência das variáveis estudadas, estão os coeficientes de correlação de Pearson para cada par de variáveis, abaixo da diagonal os gráficos de dispersão para cada correlação.

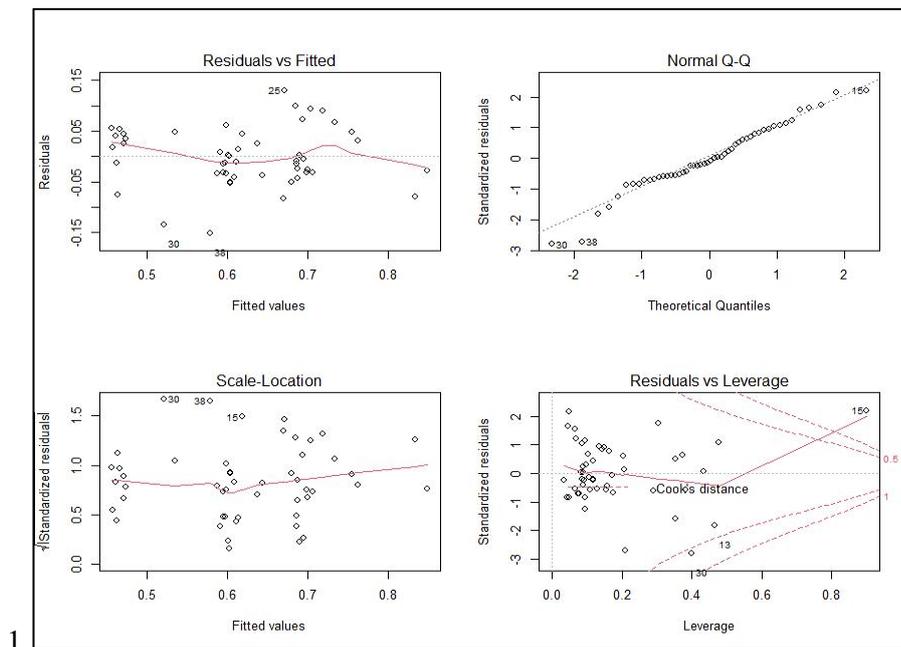


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Testou-se o modelo de regressão linear múltipla formado entre o NDVI em função do C-BMS, C-CO₂ e qMIC (Mod1). A análise gráfica dos pressupostos de linearidade, normalidade, homocedacidade e pontos influentes (Figura 11), pareceu normal, sendo confirmado pelo teste de Shapiro-Wilk para os resíduos do modelo ($p=0,73$).

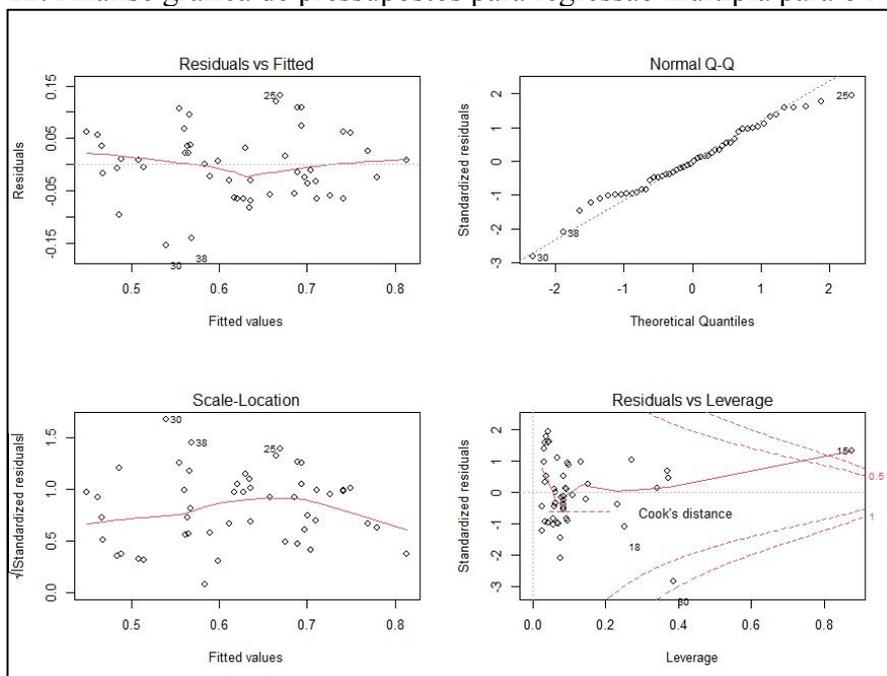
A independência dos resíduos testada pela estatística Durbin-Watson, validou a hipótese alternativa, neste caso havendo autocorrelação ($p=0,008$) entre pelo menos duas variáveis independente, neste caso entre o C-BMS e o qMIC.

Figura 11. Gráficos para análise de pressupostos para regressão múltipla Modelo



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 12. Análise gráfica de pressupostos para regressão múltipla para o Modelo 2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

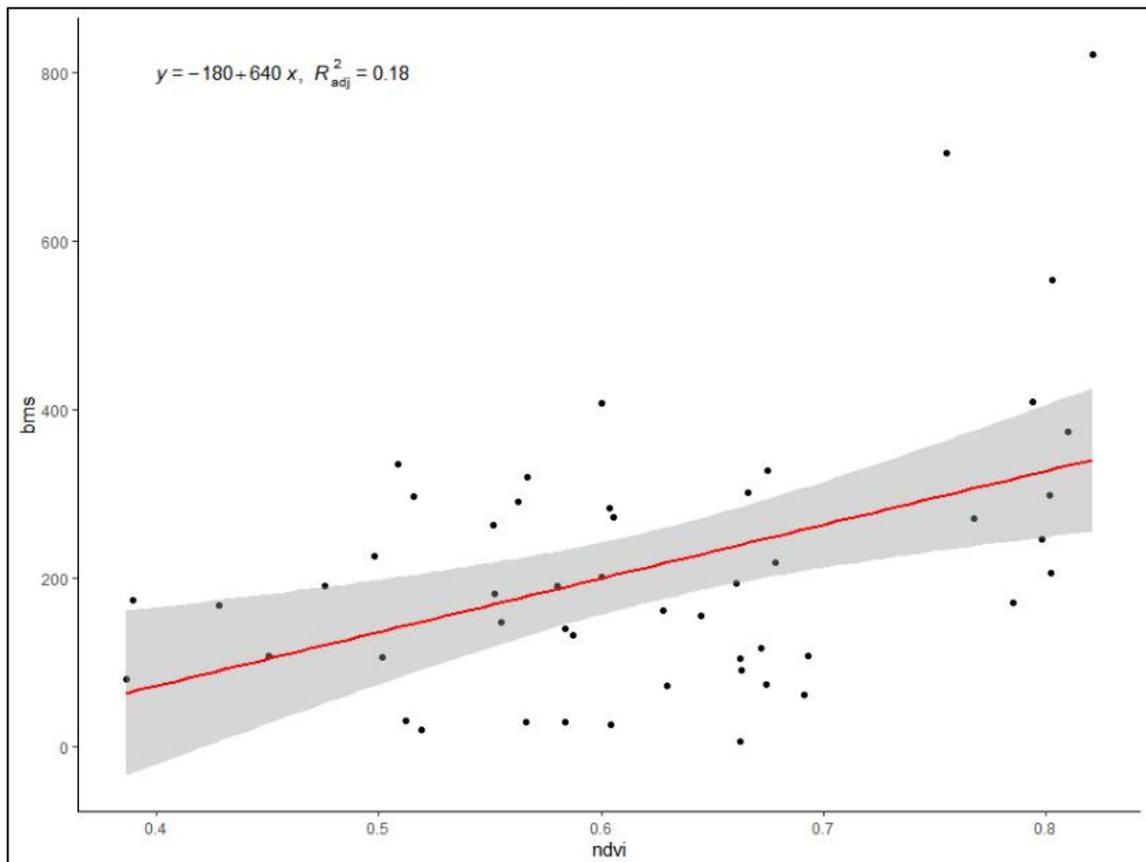
Formulou-se outro modelo (Mod2), agora com o C-BMS em função do NDVI. A análise gráfica para o Mod2 atendeu aos pressupostos de linearidade, normalidade, homoscedasticidade e pontos influentes (Figura 12).

Na análise gráfica do pressuposto de pontos influentes, foram visualizados 2 pontos que não foram considerados como *outliers*, por se tratarem de valores obtidos na MN, referencial desse estudo.

Na Figura 13 é apresentado o gráfico de dispersão com a reta de regressão linear do Mod2. Existe relação linear crescente entre o C-BMS e o NDVI, sugerindo que não há pontos de dados incomuns no conjunto de dados. E ilustra que a variação em torno da linha de regressão estimada é constante, sugerindo que a suposição de variâncias de erro iguais é razoável.

O modelo 2 prevê que o valor de C-BMS é igual a $-180 + 640$ vezes o valor de NDVI ($y = -180 + 640 * x$). O R^2 ajustado foi de 0,18.

Figura 13 – Gráfico de dispersão com reta de regressão linear do C-BMS em função do NDVI.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para verificar a porcentagem de acerto do Mod2 em prever os valores de C-BMS a partir de valores de NDVI obtidos por imagens aéreas, testou-se sua acurácia comparando os valores obtidos em campo (Tabela 6).

O Mod2 subestimou valores de C-BMS no PC (-33,39%), no SAF3 (-14,14%) e na MN (-19,47%), e superestimou no SAF1 (61,82) e no SAF3 (-14,14%).

Tabela 6. Aplicação dos modelos 2 para teste de acurácia com base nos dados colhidos em campo.

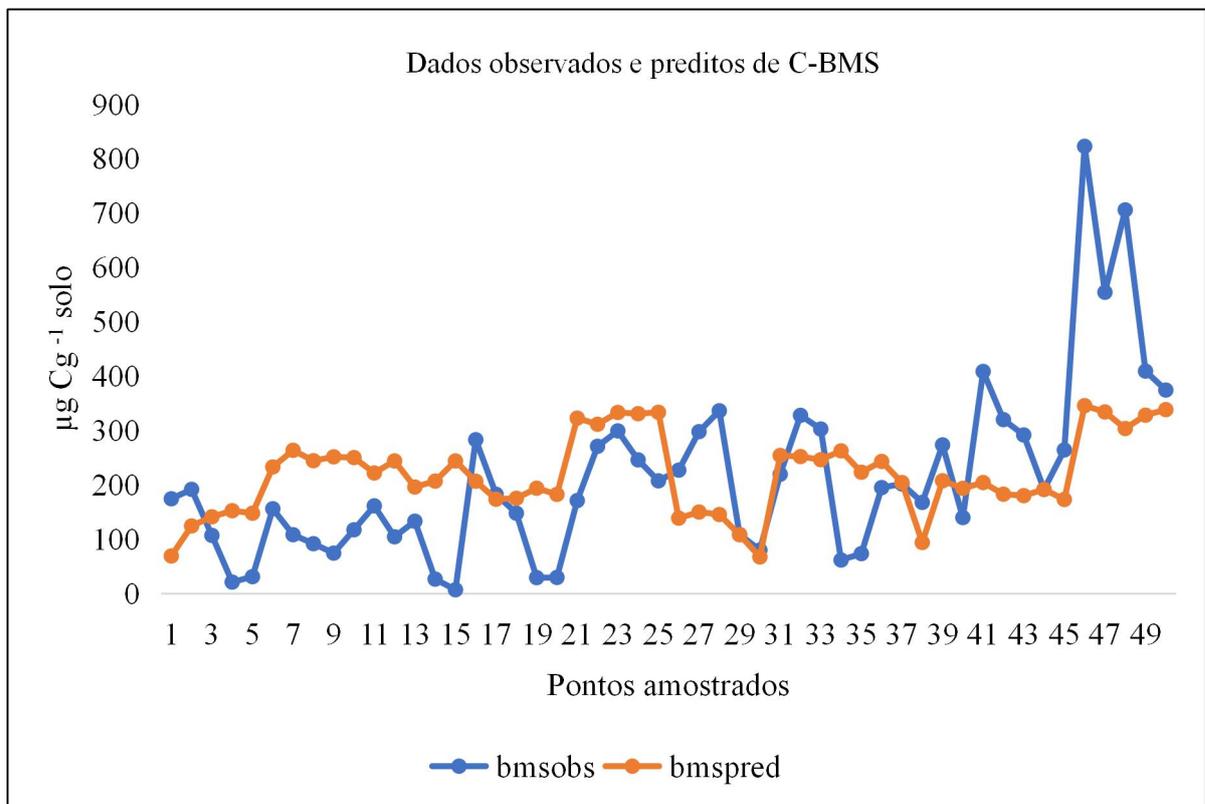
	Média - NDVI	C-BMS – campo	C-BMS = -180+640*NDVI	% de erro
PC	0,45	157,40	104,84	-33,39
SAF1	0,67	153,21	247,91	61,82
SAF2	0,58	140,92	191,50	35,90
SAF3	0,57	214,75	184,38	-14,14
MN	0,79	405,91	326,88	-19,47

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Pode-se observar na figura 14, onde são comparados graficamente os valores de C=BMS observados e os preditos, que em muitas amostras os valores são bem próximos.

Não foi encontrado na bibliografia nenhum estudo com a mesma abordagem da presente pesquisa

Figura 14 – Comparação entre os valores de C-BMS observados (bmsobs) em campo e os valores preditos pelo Mod2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

7.4 CONCLUSÕES

- 1 - Há correlação positiva entre o C-BMS e o NDVI.
- 2 - Aquisição de imagens com melhor resolução pode melhorar os modelos de predição de C-BMS em função do NDVI.
- 3- Novos estudos buscando maior precisão na coleta de dados, como o imageamento feito por veículo aéreo não tripulado e georreferenciamento dos pontos de coleta, devem ser realizados para melhor ajuste do modelo.

7.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHAVEZ, Pat S. et al. Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, v. 62, n. 9, p. 1025-1035, 1996.
- SOBRINO, José A.; JIMÉNEZ-MUÑOZ, Juan C.; PAOLINI, Leonardo. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. **Remote Sensing of environment**, v. 90, n. 4, p. 434-440, 2004.
- ROUSE JR, John W. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. 1973.
- SANTOS, FL de S. Teor de carbono orgânico do solo e aspectos biofísicos da cobertura vegetal da bacia do córrego Sarandi, Planaltina-DF. 2013.
- DOS SANTOS ROSENDO, B. "A utilização de sensores com resolução moderada (modis) no estudo da vegetação na bacia do rio Araguari-MG", v. 17, p. 91–104, 2005. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321327187007>. Acesso em: 1 fev. 2021.
- FERRAZ, A. S., SOARES, V. P., SOARES, C. P. B., "Estimativa do estoque de biomassa em um fragmento florestal usando imagens orbitais", **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 3, p. 286–296, 2014. DOI: 10.1590/2179-8087.052213. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.052213>. Acesso em: 1 fev. 2021.
- FRANKE, A. K., FEILHAUER, H., BRÄUNING, A., et al. "Remotely sensed estimation of vegetation shifts in the polar and alpine tree-line ecotone in Finnish Lapland during the last three decades", **Forest Ecology and Management**, v. 454, p. 117668, 15 dez. 2019. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.117668.
- GAO, B. C. "NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space", **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 257–266, 1 dez. 1996. DOI: 10.1016/S0034-4257(96)00067-3. Disponível em: <https://europepmc.org/article/agr/ind20555405>. Acesso em: 8 fev. 2021.

ISLAM, K. R., WEIL, R. R. "Land use effects on soil quality in a tropical forest ecosystem of Bangladesh", **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 79, n. 1, p. 9–16, jun. 2000. DOI: 10.1016/S0167-8809(99)00145-0.

JACKSON, R. D., HUETE, A. R. "Interpreting vegetation indices", **Preventive Veterinary Medicine**, v. 11, n. 3–4, p. 185–200, 1 dez. 1991. DOI: 10.1016/S0167-5877(05)80004-2.

LASCURAIN-RANGEL, M., RODRÍGUEZ-RIVAS, G., ANTONIO GÓMEZ-DÍAZ, J., et al. "Long-term enrichment with the camedor palm (*Chamaedorea elegans* Mart.) improved forest cover in an anthropogenic tropical landscape", **Forest Ecology and Management**, v. 450, p. 117499, 15 out. 2019. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.117499.

LI, W., SAPHORES, J. D. M., GILLESPIE, T. W. "A comparison of the economic benefits of urban green spaces estimated with NDVI and with high-resolution land cover data", **Landscape and Urban Planning**, v. 133, p. 105–117, 1 jan. 2015. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.09.013.

BOLFE, Edson Luis et al. Correlation Of Spectral Variables And Aboveground Carbon Stock Of Agroforestry Systems [correlação De Variáveis Espectrais E Estoque De Carbono Da Biomassa Aérea De Sistemas Agroflorestais]. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 2012.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Universidade de Brasília, Brasília**, 2012.

SHI, L., XU, J., KUZYAKOV, Y., et al. "Agroforestry systems: Meta-analysis of soil carbon stocks, sequestration processes, and future potentials", **Land Degradation and Development**, v. 29, n. 11, 2018. DOI: 10.1002/ldr.3136.

8 CONCLUSÃO GERAL

Verificamos neste estudo que o aumento da complexidade dos SAFs e consequentes ganhos de SE por eles produzidos, deve-se principalmente pela escolha do tipo de manejo.

A diversificação de espécies, cobertura do solo, cultivo de plantas herbáceas e espécies melíferas, aproveitamento de todos os estratos do sistema e podas regulares são ações catalisadoras para que a microbiologia do solo e raízes, atuem para a auto regulação do sistema.

O manejo em base agroecológica representa a forma mais moderna de uso do solo, muitos *trade-off* inerentes ao processo de implantação e manejo de um agroecossistema, podem ser caracterizados como de GANHA – GANHA.

As populações de microrganismos do solo são os principais agentes para o processo de estocagem de carbono no solo, além de mobilizarem nutrientes pela decomposição da serapilheira e participarem da agregação do solo, são fonte constante de carbono orgânico para o solo.

Os SAFs podem desde o início de sua implantação, calcular o incremento do estoque de carbono, tanto na biomassa aérea como no solo do sistema para futuras transações em crédito de carbono.

O emprego do sensoriamento remoto para avaliação da qualidade do solo através do NDVI mostrou-se promissor, contudo, novos procedimentos devem ser desenvolvidos para aumentar a precisão de predição dos modelos alométricos.

O imageamento de áreas feito por veículos aéreos não tripulados, georreferenciamento dos pontos de coleta e a utilização de geoestatística para a produção de mapas de fertilidades, podem auxiliar na tomada de decisão quanto ao manejo e monitoramento dos agroecossistemas.

9 ANEXOS

9.1 LISTA DAS ESPÉCIES ARBUSTIVA E ARBÓREA ENCONTRADAS NAS ÁREAS DE ESTUDO.

PC		
Família	Espécie	Nome Popular
Euphorbiaceae	<i>Manihot esculenta</i> Crants	Mandioca
SAF1		
Família	Espécies	Nome Popular
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Aroeira-verdadeira
Anacardiaceae	<i>Spondias dulcis</i> Parkinson	Cajamanga
Anacardiaceae	<i>Anacardium occidentale</i> L.	Cajú
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	Manga
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i> L.	Chorão
Anacardiaceae	<i>Schinus polygama</i> (Cav.) Cabrera	Assobiadeira
Anacardiaceae	<i>Spondias purpurea</i> L.	Seriguela
Anacardiaceae	<i>Spondias tuberosa</i> L.	Umbú
Annonaceae	<i>Annona squamosa</i> L.	Fruta-pinha
Apocynaceae	<i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC.	Guatambu
Apocynaceae	<i>Plumeria rubra</i> L.	Jasmim-manga
Aquifoliaceae	<i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.	Erva-mate
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	Pinhão
Arecaceae	<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	Pupunha
Arecaceae	<i>Acrocomia aculeata</i> (Jacq.) Lodd. ex Mart.	Macaúba
Arecaceae	<i>Syagrus oleracea</i> (Mart.) Becc.	Palmeira-gueiroba
Arecaceae	<i>Roystonea oleracea</i> (Jacq.) O.F. Cook	Palmeira-imperial
Arecaceae	<i>Euterpe edulis</i> Mart.	Palmeira-juçara
Asteraceae	<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	Alecrim-do-campo

Asteraceae	<i>Moquiniastrum polymorphum</i> (Less.) G. Sancho	Candeia
Bignoniaceae	<i>Crescentia cujete</i> L.	Coité
Bignoniaceae	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex A. DC.) Mattos	Ipê-amarelo
Bignoniaceae	<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	Ipê-roxo
Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Ipê-roxo
Bignoniaceae	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	Ipê-branco
Bignoniaceae	<i>Spathodea campanulata</i> P. Beauv.	Bisnagueira
Bixaceae	<i>Bixa orellana</i> L.	Urucum
Boraginaceae	<i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.S. Mill.	Guajuvira
Cannabaceae	<i>Celtis iguanaea</i> (Jacq.) Sarg.	Juá-mirim
Caricaceae	<i>Carica papaya</i> L.	Mamão
Combretaceae	<i>Terminalia capitata</i> (Vahl) C. Wright	Sete-copas
Dilleniaceae	<i>Dillenia indica</i> L.	Flor-do-dinheiro
Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	Capixingui
Euphorbiaceae	<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	Branquilha-de-leite
Fabaceae	<i>Acacia mangium</i> Willd.	Acácia-australiana
Fabaceae	<i>Albizia lebeck</i> (L.) Benth.	Lingua-de-sogra
Fabaceae	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	Farinha-seca
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Angico-branco
Fabaceae	<i>Bauhinia forficata</i> Link	Pata-de-vaca
Fabaceae	<i>Clitoria fairchildiana</i> R.A. Howard	Sombreiro
Fabaceae	<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Baru
Fabaceae	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Canafistula
Fabaceae	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	Amendoim-bravo
Fabaceae	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F. Blake	Guapuruvu
Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	Abacate
Lauraceae	<i>Cinnamomum verum</i> J.Presl	Canela-pau
Lythraceae	<i>Punica granatum</i> Linnaeus	Romã
Malpighiaceae	<i>Malpighia emarginata</i> DC.	Acerola
Malpighiaceae	<i>Bunchosia argentea</i> (Jacq.) DC.	Manteiga-de-amendoim
Malvaceae	<i>Dombeya wallichii</i> (Lindl.) Baill.	Astrapéia-rosa
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Mutambo
Malvaceae	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	Paineira
Malvaceae	<i>Sterculia striata</i> A. St.-Hil. & Naudin	Chichá
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro
Meliaceae	<i>Melia azedarach</i> L.	Santa-barbára
Meliaceae	<i>Swietenia macrophylla</i> King	Mogno
Meliaceae	<i>Azadirachta indica</i> A.Juss.	Nim
Moraceae	<i>Morus nigra</i> L.	Amora
Moraceae	<i>Ficus guaranitica</i> Chodat	Figueira-branca

Moringaceae	<i>Moringa oleifera</i> Lam.	Moringa
Muntingiaceae	<i>Muntingia calabura</i> L.	Calabura
Musaceae	<i>Musa paradisiaca</i> L.	Banana
Myrtaceae	<i>Psidium guineense</i> Sw.	Araçá
Myrtaceae	<i>Psidium cattleianum</i> Sabine	Araçá-vermelho
Myrtaceae	<i>Eugenia involucrata</i> DC.	Cereja do RS
Myrtaceae	<i>Eucalyptus</i> sp.	Eucalipto
Myrtaceae	<i>Eugenia pyriformis</i> Cambess.	Uvaia-verdadeira
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	Goiaba
Myrtaceae	<i>Myrcianthes pungens</i> (O.Berg) D.Legrand	Guabiju
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg	Guabiroba
Myrtaceae	<i>Eugenia brasiliensis</i> Lam.	Grumixama
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Pitanga
Myrtaceae	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Pokã
Myrtaceae	<i>Syzygium jambos</i> (L.) Alston	Jambo
Myrtaceae	<i>Plinia cauliflora</i> (Mart.) Kausel	Jaboticaba
Myrtaceae	<i>Syzygium cumini</i> (L.) Skeels	Jamelão
Nyctaginaceae	<i>Bougainvillea glabra</i> Choisy	Flor-primavera
Rosaceae	<i>Malus pumila</i> Mill.	Maçã
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i> (Thunb.) Lindl.	Nêspera
Rosaceae	<i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	Pêssego
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i> L.	Genipapo
Rutaceae	<i>Citrus limettioides</i> Tanaka	Limão-galego
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i> (L.) Osbeck	Laranja-champanhe
Rutaceae	<i>Citrus × aurantiifolia</i> (Christm.) Swingle	Lima
Rutaceae	<i>Citrus × limon</i> (L.) Osbeck	Limão-rosa
Salicaceae	<i>Casearia gossypiosperma</i> Briq.	Pau-de-espeto
Sapindaceae	<i>Litchi chinensis</i> Sonn.	Lichia
Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i> L.	Saboneteira
Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz & Pav.) Radlk	Abiu
Solanaceae	<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	Fumo-bravo
Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Embaúba
Verbenaceae	<i>Duranta erecta</i> L.	Pingo-de-ouro
SAF2		
Família	Espécies	Nome Popular
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Aroeira-verdadeira
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i> L.	Manga
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	Pinhão
Arecaceae	<i>Bactris gasipaes</i> Kunth	Pupunha
Arecaceae	<i>Butia capitata</i> (Mart.) Becc.	Butiá
Bignoniaceae	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex A. DC.)	Ipê-amarelo

	Mattos	
Caricaceae	<i>Carica papaya</i> L.	Mamão
Clusiaceae	<i>Garcinia gardneriana</i> (Planch. & Triana) Zappi	Bacubari
Euphorbiaceae	<i>Ricinus communis</i> L.	Mamona
Fabaceae	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	Amendoim-bravo
Fabaceae	<i>Leucaena leucocephala</i> (Lam.) de Wit	Leucena
Lauraceae	<i>Cinnamomum verum</i> J.Presl	Canela-pau
Lauraceae	<i>Laurus nobilis</i> L.	Folha de louro
Moraceae	<i>Ficus carica</i> L.	Figo
Moringaceae	<i>Moringa oleifera</i> Lam.	Moringa
Myrtaceae	<i>Eugenia brasiliensis</i> Lam.	Grumixama
Myrtaceae	<i>Psidium cattleyanum</i> Sabine	Araçá-vermelho
Myrtaceae	<i>Eugenia involucrata</i> DC.	Cereja do RS
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i> L.	Goiaba
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> Mart. ex O. Berg	Guabiroba
Myrtaceae	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Maricota
Myrtaceae	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Mixiriquinha
Myrtaceae	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Pokã
Rosaceae	<i>Malus pumila</i> Mill.	Maçã
Rosaceae	<i>Pyrus communis</i> L.	Pera
Rutaceae	<i>Citrus reticulata</i> Blanco	Bergamota
Rutaceae	<i>Citrus limettoides</i> Tanaka	Limão-galego
Rutaceae	<i>Citrus ×aurantium</i> L.	Laranja-pera
Rutaceae	<i>Citrus ×latifolia</i> Tanaka ex Q. Jiménez	Limão-taiti
Sapindaceae	<i>Litchi chinensis</i> Sonn.	Lichia
Sapindaceae	<i>Talisia esculenta</i> (A. St.-Hil.) Radlk.	Pitomba
Sapotaceae	<i>Manilkara zapota</i> (L.) P.Royen	Sapoti
Verbenaceae	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	Pau-viola
SAF3		
Família	Espécie	Nome Popular
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Aroeira-verdadeira
Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Guaritá
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	Aroeira-pimenteira
Anacardiaceae	<i>Schinus polygama</i> (Cav.) Cabrera	Assobiadeira
Apocynaceae	<i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC.	Guatambu
Asteraceae	<i>Baccharis dracunculifolia</i> DC.	Alecrim-do-campo
Asteraceae	<i>Moquiniastrum polymorphum</i> (Less.) G. Sancho	Candeia
Bignoniaceae	<i>Handroanthus heptaphyllus</i> (Vell.) Mattos	Ipê-roxo
Bignoniaceae	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex A. DC.) Mattos	Ipê-amarelo
Bignoniaceae	<i>Tabebuia roseoalba</i> (Ridl.) Sandwith	Ipê-branco

Bignoniaceae	<i>Jacaranda cuspidifolia</i> Mart.	Jacarandá
Boraginaceae	<i>Cordia americana</i> (L.) Gottschling & J.S. Mill.	Guajuvira
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arráb. ex Steud.	Louro-pardo
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i> (L.) Blume	Candiúva
Caricaceae	<i>Jacaratia spinosa</i> (Aubl.) A.DC.	Jaracatiá
Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	Capinxingui
Euphorbiaceae	<i>Sapium haemospermum</i> Müll.Arg.	Leiteiro
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Angico-branco
Fabaceae	<i>Dipteryx alata</i> Vogel	Baru
Fabaceae	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Canafistula
Fabaceae	<i>Leptolobium elegans</i> Vogel	Genciana
Fabaceae	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C.Sm.	Cumaru-de-cheiro
Fabaceae	<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	bracatinga
Fabaceae	<i>Myrocarpus frondosus</i> Allemão	Cabreúva-vermelha
Fabaceae	<i>Erythrina mulungu</i> Mart.	Mulungu
Fabaceae	<i>Inga vera</i> Willd.	Ingá
Fabaceae	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	Jatobá
Fabaceae	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	Tamboril
Lamiaceae	<i>Aegiphila integrifolia</i> (Jacq.) Moldenke	Tamanqueiro
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Mutambo
Malvaceae	<i>Ceiba speciosa</i> (A.St.-Hil.) Ravenna	Paineira
Malvaceae	<i>Pseudobombax longiflorum</i> (Mart.) A.Robyns	Imbiruçu
Malvaceae	<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.	Açoita-cavalo
Malvaceae	<i>Luehea candicans</i> Mart. & Zucc	Açoita-cavalo
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro
Moraceae	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	Amora-brava
Musaceae	<i>Musa paradisiaca</i> L.	Banana
Phytolaccaceae	<i>Phytolacca dioica</i> L.	Cebolão
Phytolaccaceae	<i>Gallesia integrifolia</i> (Spreng.) Harms	Pau-d'alho
Polygonaceae	<i>Triplaris gardneriana</i> Wedd.	Pau-formiga
Rosaceae	<i>Pyrus communis</i> L.	Pera
Rubiaceae	<i>Genipa americana</i> L.	Genipapo
Rubiaceae	<i>Chomelia obtusa</i> Cham. & Schultdl.	Viuvinha
Salicaceae	<i>Casearia decandra</i> Jacq.	Guaçatunga-branca
Sapindaceae	<i>Talisia esculenta</i> (Cambess.) Radlk.	Pitomba
Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i> L.	Saboneteira
Solanaceae	<i>Solanum mauritianum</i> Scop.	Fumo-bravo
Solanaceae	<i>Cestrum strigilatum</i> Ruiz & Pav.	Anilão
Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	Embaúba
Verbenaceae	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	Pau-viola

MN		
Família	Espécie	Nome Popular
Anacardiaceae	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	Guaritá
Anacardiaceae	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Peito-de-pombo
Annonaceae	<i>Unonopsis guatterioides</i> (A.DC.) R.E.Fr.	Embira-preta
Apocynaceae	<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll.Arg	Peroba-rosa
Aquifoliaceae	<i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.	Erva-mate
Araliaceae	<i>Dendropanax cuneatus</i> (DC.) Decne. & Planch.	Maria-mole
Araliaceae	<i>Didymopanax morototoni</i> (Aubl.) Decne. & Planch	Mandiocão
Boraginaceae	<i>Cordia sellowiana</i> Cham.	Juretê
Burseraceae	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Breu
Burseraceae	<i>Protium opacum</i> Swart	Breu preto
Calophyllaceae	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	Guanandi
Caricaceae	<i>Jacaratia spinosa</i> (Aubl.) A.DC.	Jaracatiá
Clusiaceae	<i>Garcinia gardneriana</i> (Planch. & Triana) Zappi	Bacubari
Euphorbiaceae	<i>Actinostemon conceptionis</i> (Chodat & Hassl.) Hochr.	Canudo-de-pito
Euphorbiaceae	<i>Actinostemon concolor</i> (Spreng.) Müll.Arg.	Laranjeira-do-mato
Euphorbiaceae	<i>Actinostemon klotzschii</i> (Didr.) Pax	Branquilho
Euphorbiaceae	<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl.	Tapiá
Euphorbiaceae	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	Capinxingui
Euphorbiaceae	<i>Alchornea sidifolia</i> Müll.Arg.	Tapiá
Fabaceae	<i>Holocalyx balansae</i> Micheli	Alecrim
Fabaceae	<i>Inga marginata</i> Willd.	Ingá-feijão
Fabaceae	<i>Inga vera</i> Willd.	Ingá
Fabaceae	<i>Machaerium stipitatum</i> Vogel	Sapuva
Fabaceae	<i>Ormosia macrocalyx</i> Ducke	Olho-de-cabra
Fabaceae	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	Angico-da-mata
Fabaceae	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	Canafistula
Fabaceae	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	Pau-jacaré
Fabaceae	<i>Sweetia fruticosa</i> Spreng.	Sucupira-amarela
Lauraceae	<i>Cinnamomum triplinerve</i> (Ruiz & Pav.) Kosterm.	Falsa congonha
Lauraceae	<i>Nectandra cissiflora</i> Nees	Canela-fedida
Lauraceae	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	Canela-fedorenta
Lauraceae	<i>Nectandra pulverulenta</i> Nees	Canela-preta
Lecythidaceae	<i>Cariniana estrellensis</i> (Raddi) Kuntze	Jequitibá
Loganiaceae	<i>Strychnos brasiliensis</i> Mart	Pula-pula
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Mutambo
Melastomataceae	<i>Miconia affinis</i> DC.	Canela-de-velho
Meliaceae	<i>Cabrlea canjerana</i> (Vell.) Mart.	Canjerana
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	Cedro

Meliaceae	<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	Marinheiro
Meliaceae	<i>Guarea kunthiana</i> A.Juss.	Peloteira
Meliaceae	<i>Trichilia catigua</i> A.Juss.	Catiguá-vermelho
Meliaceae	<i>Trichilia pallida</i> Sw.	Catiguá
Meliaceae	<i>Trichilia silvatica</i> C.DC.	Café-do-mato
Moraceae	<i>Ficus americana</i> Aubl.	Mata-pau
Moraceae	<i>Maclura tinctoria</i> (L.) D.Don ex Steud.	Amora-brava
Moraceae	<i>Pseudolmedia laevis</i> (Ruiz & Pav.) J.F.Macbr.	Pama-preta
Moraceae	<i>Sorocea bonplandii</i> (Baill.) W.C.Burger et al	Folha-de-Serra
Moraceae	<i>Sorocea hilarii</i> Gaudich.	Folha-de-Serra
Myrtaceae	<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	Murta
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> (Mart.) O.Berg	Guabiroba
Myrtaceae	<i>Eugenia florida</i> DC.	Guamirim cereja
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i> L.	Pitanga
Myrtaceae	<i>Myrcianthes pungens</i> (O.Berg) D.Legrand	Guabiju
Myrtaceae	<i>Plinia rivularis</i> (Cambess.) Rotman	Guapuriti
Nyctaginaceae	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	Maria-mole
Piperaceae	<i>Piper amalago</i> L.	Pariparoba
Primulaceae	<i>Myrsine lancifolia</i> Mart.	Capororoca
Primulaceae	<i>Geissanthus ambiguus</i> (Mart.) G.Agostini	Café-do-mato
Rubiaceae	<i>Randia calycina</i> Cham.	Guaticuruzú-mirim
Rubiaceae	<i>Randia ferox</i> (Cham. & Schltdl.) DC.	Limoeiro-do-mato
Rutaceae	<i>Citrus x aurantium</i> L.	Laranja
Rutaceae	<i>Zanthoxylum ekmanii</i> (Urb.) Alain	Mamica-de-porca
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	Mamica-de-porca
Salicaceae	<i>Casearia aculeata</i> Jacq.	Guaçatonga
Salicaceae	<i>Casearia decandra</i> Jacq.	Guaçatunga-branca
Salicaceae	<i>Casearia gossypiosperma</i> Briq.	Pau-de-espeto
Salicaceae	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	Guaçatonga
Sapindaceae	<i>Averrhoidium paraguayense</i> Radlk	Maria-preta
Sapindaceae	<i>Talisia esculenta</i> (Cambess.) Radlk	Pitomba
Sapindaceae	<i>Diatenopteryx sorbifolia</i> Radlk.	Maria-preta
Sapotaceae	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler ex Miq.) Engl.	Aguai-da-serra

9.2 META DADOS DAS IMAGENS LANDSAT8.

(i) Imagem 2019-09-28

ROUP = L1_METADATA_FILE

GROUP = METADATA_FILE_INFO

ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"

REQUEST_ID = ""
LANDSAT_SCENE_ID = "LO82250752019271CUB00"
FILE_DATE = 2019-09-30T17:21:01Z
STATION_ID = "CUB"
PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.4.0"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
DATA_TYPE = "L1T"
ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
SENSOR_ID = "OLI"
WRS_PATH = 225
WRS_ROW = 75
NADIR_OFFNADIR = "NADIR"
TARGET_WRS_PATH = 225
TARGET_WRS_ROW = 75
DATE_ACQUIRED = 2019-09-28
SCENE_CENTER_TIME = 13:41:23.1444948Z
CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -20.62130
CORNER_UL_LON_PRODUCT = -56.55562
CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -20.60130
CORNER_UR_LON_PRODUCT = -54.33380
CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -22.74082
CORNER_LL_LON_PRODUCT = -56.54907
CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -22.71856
CORNER_LR_LON_PRODUCT = -54.29458
CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 546300.000
CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -2280300.000
CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 777900.000
CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -2280300.000
CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 546300.000
CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -2514900.000
CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 777900.000
CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -2514900.000
PANCHROMATIC_LINES = 15641
PANCHROMATIC_SAMPLES = 15441
REFLECTIVE_LINES = 7821
REFLECTIVE_SAMPLES = 7721
FILE_NAME_BAND_1 = "LO82250752019271CUB00_B1.TIF"

FILE_NAME_BAND_2 = "LO82250752019271CUB00_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 = "LO82250752019271CUB00_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 = "LO82250752019271CUB00_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 = "LO82250752019271CUB00_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 = "LO82250752019271CUB00_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 = "LO82250752019271CUB00_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 = "LO82250752019271CUB00_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_9 = "LO82250752019271CUB00_B9.TIF"
METADATA_FILE_NAME = "LO82250752019271CUB00_MTL.txt"
BPF_NAME_OLI = "LO8BPF20190928031933_20190928045826.01"
CPF_NAME = "L8CPF20190701_20190930.01"
RLUT_FILE_NAME = "L8RLUT20150303_20431231v11.h5"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
CLOUD_COVER = -1
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 57.93581140
SUN_ELEVATION = 56.68766745
EARTH_SUN_DISTANCE = 1.0021372
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 130
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 8.022
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 4.947
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 6.315
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 756.82416
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -62.49879
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 774.99719
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -63.99952
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 714.15326
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -58.97501
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 602.21429
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -49.73105
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 368.52512
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -30.43292
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 91.64884
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.56839
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 30.89057
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.55095

RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 681.54083
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -56.28186
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 144.02797
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -11.89388
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_6 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_8 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_9 = -0.099980
END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1

QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_9 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_9 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2502E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.2802E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.1797E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 9.9482E-03
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.0878E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5140E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.1029E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1259E-02
RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.3793E-03
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -62.51129
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -64.01232
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -58.98681
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -49.74100
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -30.43901
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.56991
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.55146
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -56.29312
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -11.89626
REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.10000

```

REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.100000
REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.100000
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.89
K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.89
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.08
K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.14
END_GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 21
GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
ORIENTATION = "NORTH_UP"
RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE
END

```

(ii) Imagem de 2020-03-06

```

GROUP = L1_METADATA_FILE
GROUP = METADATA_FILE_INFO
ORIGIN = "Image courtesy of the U.S. Geological Survey"
REQUEST_ID = ""
LANDSAT_SCENE_ID = "LO82250752020066CUB00"
FILE_DATE = 2020-03-06T18:23:10Z
STATION_ID = "CUB"
PROCESSING_SOFTWARE_VERSION = "LPGS_2.4.0"
END_GROUP = METADATA_FILE_INFO
GROUP = PRODUCT_METADATA
DATA_TYPE = "L1T"
ELEVATION_SOURCE = "GLS2000"
OUTPUT_FORMAT = "GEOTIFF"
SPACECRAFT_ID = "LANDSAT_8"
SENSOR_ID = "OLI"
WRS_PATH = 225
WRS_ROW = 75

```

NADIR_OFFNADIR = "NADIR"
TARGET_WRS_PATH = 225
TARGET_WRS_ROW = 75
DATE_ACQUIRED = 2020-03-06
SCENE_CENTER_TIME = 13:40:57.9395766Z
CORNER_UL_LAT_PRODUCT = -20.62125
CORNER_UL_LON_PRODUCT = -56.53834
CORNER_UR_LAT_PRODUCT = -20.60108
CORNER_UR_LON_PRODUCT = -54.31942
CORNER_LL_LAT_PRODUCT = -22.74077
CORNER_LL_LON_PRODUCT = -56.53154
CORNER_LR_LAT_PRODUCT = -22.71831
CORNER_LR_LON_PRODUCT = -54.27999
CORNER_UL_PROJECTION_X_PRODUCT = 548100.000
CORNER_UL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -2280300.000
CORNER_UR_PROJECTION_X_PRODUCT = 779400.000
CORNER_UR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -2280300.000
CORNER_LL_PROJECTION_X_PRODUCT = 548100.000
CORNER_LL_PROJECTION_Y_PRODUCT = -2514900.000
CORNER_LR_PROJECTION_X_PRODUCT = 779400.000
CORNER_LR_PROJECTION_Y_PRODUCT = -2514900.000
PANCHROMATIC_LINES = 15641
PANCHROMATIC_SAMPLES = 15421
REFLECTIVE_LINES = 7821
REFLECTIVE_SAMPLES = 7711
FILE_NAME_BAND_1 = "LO82250752020066CUB00_B1.TIF"
FILE_NAME_BAND_2 = "LO82250752020066CUB00_B2.TIF"
FILE_NAME_BAND_3 = "LO82250752020066CUB00_B3.TIF"
FILE_NAME_BAND_4 = "LO82250752020066CUB00_B4.TIF"
FILE_NAME_BAND_5 = "LO82250752020066CUB00_B5.TIF"
FILE_NAME_BAND_6 = "LO82250752020066CUB00_B6.TIF"
FILE_NAME_BAND_7 = "LO82250752020066CUB00_B7.TIF"
FILE_NAME_BAND_8 = "LO82250752020066CUB00_B8.TIF"
FILE_NAME_BAND_9 = "LO82250752020066CUB00_B9.TIF"
METADATA_FILE_NAME = "LO82250752020066CUB00_MTL.txt"
BPF_NAME_OLI = "LO8BPF20200306131402_20200306145032.01"
CPF_NAME = "L8CPF20200101_20200331_01"
RLUT_FILE_NAME = "L8RLUT20150303_20431231v11.h5"
END_GROUP = PRODUCT_METADATA
GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES

CLOUD_COVER = -1
IMAGE_QUALITY_OLI = 9
ROLL_ANGLE = -0.001
SUN_AZIMUTH = 67.88887477
SUN_ELEVATION = 54.22564094
EARTH_SUN_DISTANCE = 0.9922030
GROUND_CONTROL_POINTS_MODEL = 145
GEOMETRIC_RMSE_MODEL = 8.126
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_Y = 5.561
GEOMETRIC_RMSE_MODEL_X = 5.926
END_GROUP = IMAGE_ATTRIBUTES
GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 772.05518
RADIANCE_MINIMUM_BAND_1 = -63.75657
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 790.59393
RADIANCE_MINIMUM_BAND_2 = -65.28751
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 728.52557
RADIANCE_MINIMUM_BAND_3 = -60.16188
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 614.33380
RADIANCE_MINIMUM_BAND_4 = -50.73188
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 375.94165
RADIANCE_MINIMUM_BAND_5 = -31.04538
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 93.49326
RADIANCE_MINIMUM_BAND_6 = -7.72070
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 31.51224
RADIANCE_MINIMUM_BAND_7 = -2.60229
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 695.25677
RADIANCE_MINIMUM_BAND_8 = -57.41453
RADIANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 146.92651
RADIANCE_MINIMUM_BAND_9 = -12.13324
END_GROUP = MIN_MAX_RADIANCE
GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_1 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_1 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_2 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_2 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_3 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_3 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_4 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_4 = -0.099980

REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_5 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_5 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_6 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_6 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_7 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_7 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_8 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_8 = -0.099980
REFLECTANCE_MAXIMUM_BAND_9 = 1.210700
REFLECTANCE_MINIMUM_BAND_9 = -0.099980
END_GROUP = MIN_MAX_REFLECTANCE
GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_1 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_1 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_2 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_2 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_3 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_3 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_4 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_4 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_5 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_5 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_6 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_6 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_7 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_7 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_8 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_8 = 1
QUANTIZE_CAL_MAX_BAND_9 = 65535
QUANTIZE_CAL_MIN_BAND_9 = 1
END_GROUP = MIN_MAX_PIXEL_VALUE
GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
RADIANCE_MULT_BAND_1 = 1.2754E-02
RADIANCE_MULT_BAND_2 = 1.3060E-02
RADIANCE_MULT_BAND_3 = 1.2035E-02
RADIANCE_MULT_BAND_4 = 1.0148E-02
RADIANCE_MULT_BAND_5 = 6.2103E-03
RADIANCE_MULT_BAND_6 = 1.5444E-03
RADIANCE_MULT_BAND_7 = 5.2056E-04
RADIANCE_MULT_BAND_8 = 1.1485E-02

RADIANCE_MULT_BAND_9 = 2.4271E-03
RADIANCE_ADD_BAND_1 = -63.76932
RADIANCE_ADD_BAND_2 = -65.30056
RADIANCE_ADD_BAND_3 = -60.17391
RADIANCE_ADD_BAND_4 = -50.74203
RADIANCE_ADD_BAND_5 = -31.05159
RADIANCE_ADD_BAND_6 = -7.72225
RADIANCE_ADD_BAND_7 = -2.60281
RADIANCE_ADD_BAND_8 = -57.42602
RADIANCE_ADD_BAND_9 = -12.13567
REFLECTANCE_MULT_BAND_1 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_2 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_3 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_4 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_5 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_6 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_7 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_8 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_MULT_BAND_9 = 2.0000E-05
REFLECTANCE_ADD_BAND_1 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_2 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_3 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_4 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_5 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_6 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_7 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_8 = -0.10000
REFLECTANCE_ADD_BAND_9 = -0.10000
END_GROUP = RADIOMETRIC_RESCALING
GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
K1_CONSTANT_BAND_10 = 774.89
K1_CONSTANT_BAND_11 = 480.89
K2_CONSTANT_BAND_10 = 1321.08
K2_CONSTANT_BAND_11 = 1201.14
END_GROUP = TIRS_THERMAL_CONSTANTS
GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
MAP_PROJECTION = "UTM"
DATUM = "WGS84"
ELLIPSOID = "WGS84"
UTM_ZONE = 21

```
GRID_CELL_SIZE_PANCHROMATIC = 15.00
GRID_CELL_SIZE_REFLECTIVE = 30.00
ORIENTATION = "NORTH_UP"
RESAMPLING_OPTION = "CUBIC_CONVOLUTION"
END_GROUP = PROJECTION_PARAMETERS
END_GROUP = L1_METADATA_FILE
END
```

9.3 LISTA DOS ODS.

- 01 - Erradicação da pobreza: acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares;
- 02 - Fome zero e agricultura sustentável: acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável;
- 03 - Saúde e bem-estar: assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades;
- 04 - Educação de qualidade: assegurar a educação inclusiva, e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos;
- 05 - Igualdade de gênero: alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas;
- 06 - Água limpa e saneamento: garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos;
- 07 - Energia limpa e acessível: garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos;
- 08 - Trabalho decente e crescimento econômico promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo, e trabalho decente para todos;
- 09 - Inovação infraestrutura: construir infraestrutura resiliente, promover a industrialização inclusiva e sustentável, e fomentar a inovação;
- 10 - Redução das desigualdades: reduzir as desigualdades dentro dos países e entre eles;
- 11 - Cidades e comunidades sustentáveis: tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;
- 12 - Consumo e produção responsáveis: assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis;
- 13 - Ação contra a mudança global do clima: tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos;

14 - Vida na água: conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares, e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável;

15 - Vida terrestre: proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da Terra e deter a perda da biodiversidade;

16 - Paz, justiça e instituições eficazes promover sociedades pacíficas e inclusivas par ao desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis;

17 - Parcerias e meios de implementação: fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

9.4 METODOLOGIA PARA ANÁLISE DE C-BMS E ATIVIDADE MICROBIANA (C-CO₂):

1 - Determinação do carbono da biomassa microbiana por espectrofotometria

Procedimentos analíticos:

- destorroar e peneirar (malha de 2 mm) a amostra de solo (0-10cm de profundidade, massa original de 500g), sendo, posteriormente, retirados possíveis fragmentos de raízes, vegetais e organismos remanescentes;

- acondicionar as amostras em recipientes plásticos retangulares (com tampas; dimensões: 10cmX20cmX30cm);

- através de um borrifador, abastecido com água destilada, umedecer a amostra de solo de forma uniforme, submetendo seu recipiente a movimentos circulares no plano horizontal, até que atinja cerca de 40-60% da capacidade máxima de retenção de água (Capacidade de Campo); fechar o recipiente e reservar;

- após decorridas 24 horas, pesar, em frascos cilíndricos de vidro (“snaps”) e com tampa, quatro sub-amostras de 20g (três para Fumigada e três para Não Fumigada) derivadas da amostra original (reservada), através de balança semi-analítica com uma precisão de 0,1g (observar procedimentos de pesagem);

- acondicionar duas das quatro sub-amostras anteriores em dessecador, juntamente com um frasco contendo 10mL de clorofórmio puro e analítico (CHCl₃); tampar o dessecador e submetê-lo à aspiração (5 minutos, no mínimo) por meio de uma bomba de vácuo, até que sua pressão interna atinja valores próximos a -600 mmHg, quando, então, a válvula do dessecador deverá ser fechada (a bomba deverá, ainda, estar ligada!) para que sua pressão interna se mantenha reduzida (função: acelerar a volatilização e a saturação da fase gasosa pelo

clorofórmio líquido); mantê-lo por 24 horas em sala escura com temperatura por volta dos 30°C;

- separar e marcar dois erlenmeyers para cada amostra;
- decorridas as 24 horas, remover com uma bomba de vácuo o vapor de clorofórmio remanescente a partir de três aspirações sucessivas; cada aspiração terá duração correspondente ao tempo necessário para que a pressão atinja valores próximos a – 550 mmHg;
- retirar os frascos de amostras de solo do dessecador e adicionar em cada um deles 50mL de sulfato de potássio K_2SO_4 0,5 mol/L e pH 6,5-6,8;
- tampar os frascos e acondicioná-los em suporte específico para serem submetidos à agitação (250 rpm) durante 30 minutos;
- decorridos 30 minutos, retirar os frascos do suporte, remover suas tampas, agrupá-los (em triplicatas) em bancada e reservá-los para decantação por, no mínimo, vinte minutos;
- com uma pipeta (capacidade de 10mL, divisões de 0,1 mL) retirar uma alíquota de aproximadamente 10mL do líquido sobrenadante da amostra e transferi-la para o papel-filtro (dobrado em forma de cone) sobre o erlenmeyer;
- com uma pipeta, retirar uma alíquota de 2mL (observar rigorosamente o menisco) do líquido filtrado da amostra e transferi-lo para um tubo de ensaio de 20 mL.

Preparo das amostras para leitura.

- Após pipetagem de 2 mL do extrato filtrado, adicionar, em ordem, 3 mL de água deionizada, 2,5 mL da solução de trabalho (ST) e 2,5 mL de ácido sulfúrico concentrado.
- Agitar e deixar em repouso, por um período de 02 horas. Após este período, ler a absorbância da curva padrão e das amostras em espectrofotômetro utilizando-se um comprimento de ondas de 495 nm. Em seguida, encontrar a equação de reta entre a absorbância e a concentração de C. Na tabela 2 e figura 1 é dado um exemplo.

Observações:

Na leitura da curva padrão, zerar o aparelho com a concentração máxima de carbono (24mg L⁻¹), tendo em vista que o processo é de redução do permanganato de potássio reduzido pelo carbono.

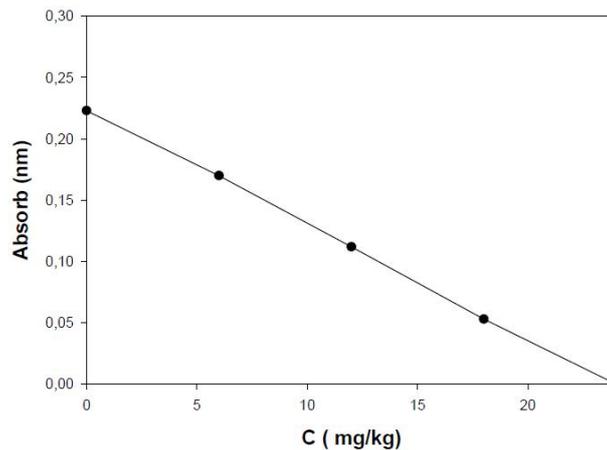
A concentração máxima de carbono admitida, considerando este procedimento, é o correspondente a 24 mg L⁻¹. A partir desta concentração, não é observado linearidade entre a absorbância e a concentração de carbono, conforme a lei de Lambert & Beer.

Tabela 2. Concentrações de carbono e respectivas absorbâncias a 495 nm.

C (mg kg ⁻¹)	Abs (nm)
24	0
18	0,053
12	0,112
6	0,170
0	0,223

Equação dessa curva:

$$\text{Abs} = 0,2242 - (0,0094 * C) \quad R^2 = 0,9996$$

Figura 1. Relação entre a absorbância (Abs) e concentração de carbono

Cálculo da concentração de carbono.

O cálculo da concentração de carbono é feito utilizando-se a equação da reta encontrada, semelhante à da figura 1, obtida a partir da curva padrão.

$$\text{Cálculo: } C \text{ (mg.L-1)} = ((\text{Absorb}-a) / b) * (V/P) * F$$

Onde,

C, concentração de carbono

Abs, absorvância da amostra analisada

a, intercepto da reta encontrada na curva padrão

b, coeficiente de declividade da reta

V, volume usado na extração

P, peso seco do solo

F, fator de diluição

Cálculo do C BMS

O cálculo do carbono da biomassa microbiana do solo é obtido através da subtração do C das amostras fumigadas pelo C das amostras não-fumigadas, utilizando um fator de correção $K_c = 0,33$.

$$C \text{ BMS} = C (\text{amostras fumigadas}) - C (\text{amostras não-fumigadas}) / 0,33$$

Preparo da solução extratora

K_2SO_4 0,5 M - (água destilada) => Utiliza-se 50 ml por amostra de 20 g de solo.

Solução	gramas K_2SO_4
1,0 litros	87,135
2,0 litros	174,260
3,0 litros	261,405
4,0 litros	348,540

Preparo das soluções analíticas

- Pirofosfato de sódio ($Na_4P_2O_7$) 0,1 M

Pesar 26,583 g do produto e dissolver em 1000 ml de água desmineralizada.

- Ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0,5 M

Considerando um H_2SO_4 concentrado com densidade 1,84 e pureza 97%, tomar 27,47ml deste produto e diluir para 1000 ml.

As duas soluções acima podem ser preparadas antecipadamente e estocadas em recipientes limpos.

- Permanganato de potássio ($KMnO_4$) 0,1 M

Pesar 1,580 g do $KMnO_4$ e diluir para 100 ml de água desmineralizada, dissolver bem.

- Sulfato de manganês mono-hidratado ($MnSO_4 \cdot H_2O$) 0,1 M

Pesar 1,690 g deste produto e diluir para 100 ml de água desmineralizada.

As soluções de $KMnO_4$ e $MnSO_4 \cdot H_2O$ devem ser preparadas no mesmo dia de preparo da solução de trabalho (ST).

Preparo da solução de trabalho (ST).

Em um balão volumétrico de 1000 ml, contendo 200 ml de H_2O desmineralizada, adicionar em ordem:

- 300 ml de pirofosfato de sódio ($Na_4P_2O_7$) 0,1 M;
- 46 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0,5 M;

- 20 ml de permanganato de potássio (KMnO₄) 0,1 M;
- 80 ml de sulfato de manganês mono-hidratado (MnSO₄H₂O) 0,1 M.

Ao colocar o KMnO₄ 0,1 M, misturar e imediatamente adicionar o MnSO₄H₂O 0,1 M misturando. Ao final, completar o volume para 1000 ml.

A solução de trabalho (ST) deve ser armazenada em recipiente escuro envolvido por papel alumínio e guardado em ambiente escuro à temperatura ambiente. Este procedimento é necessário para que não ocorra a decomposição do permanganato de potássio, o qual é sensível à luz. Nestas condições, a solução de trabalho pode ser armazenada por semanas. Caso seja notado formação de precipitado, descartar esta solução e preparar outra. Guardar até um mês se não precipitar.

Preparo da solução estoque de carbono (solução padrão).

Esta solução será utilizada para preparar a curva padrão de C. Pode-se utilizar qualquer fonte de carbono, desde que não sofra degradação rápida com o tempo. Sugerimos a utilização, como fonte de C, o ácido oxálico (H₂C₂O₄.2H₂O).

- Solução padrão de carbono C 500 mg L⁻¹

Pesar 2,623 g de ácido oxálico e dissolver em 1000 ml de água desmineralizada.

Esta solução deve ser guardada em vidro escuro e armazenada em geladeira, podendo se utilizar por um longo período de tempo.

- Preparo da solução de C 60 mg L⁻¹.

Tomar 6 ml da solução 500 mg L⁻¹ de C, colocar num balão volumétrico de 50 ml e completar o volume com água desmineralizada. Esta solução tem uma concentração de carbono de 60 mg L⁻¹. Pipetar as quantidades da solução C 60 mg L⁻¹ e água (tabela 1), para obtenção das respectivas concentrações e adicionar em ordem 2,5 ml de ST e ácido sulfúrico concentrado.

Tabela 1: Volumes de solução 60 mg L⁻¹ de C (V), água, solução de trabalho (ST) e ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄) para preparação da curva padrão.

C (mg L ⁻¹)	V (ml)	H ₂ O (ml)	ST (ml)	H ₂ SO ₄
0	0	5	2,5	2,5→ vermelho escuro
6	1	4	2,5	2,5
12	2	3	2,5	2,5
18	3	2	2,5	2,5
24	4	1	2,5	2,5→ incolor

C, concentração de carbono da curva padrão obtida a partir da adição dos respectivos

volumes de V, água, ST e H₂SO₄.

2 - Determinação da atividade microbiana (liberação de CO₂) por titulação.

Procedimento analítico:

- Pesar diretamente em frascos de vidro tipo “snap”, 50 g do solo peneirado e limpo (livre sem material vegetal). Duas repetições para cada amostra;
- Preparar amostras em branco (“snaps” sem solo);
- As amostras e os brancos deverão ser incubados em frascos herméticos de 500 mL, contendo em seu interior, frascos com 10 mL de uma solução de NaOH (1N). Vedar bem os frascos herméticos e proceder à incubação por sete dias;
- Após esse período de incubação, procede-se a titulação do NaOH 1N com HCl 0,5N, acrescentando-se 2 mL de solução saturada de BaCl₂ 10% para precipitação do Na₂CO₃;
Adiciona-se 2 gotas da solução alcoólica 1% de fenolftaleína como indicador.

Cálculo do C-CO₂

$$\text{C-CO}_2 \text{ (mg)} = (\text{BR-HCl}) * 0,5 * 40 * (44/80) * 1000 * (12/44) / \text{PS50g/7}$$

Onde:

- (BR-HCl): indica, indiretamente, a presença da espécie química (CO₂) que reagiu com o NaOH;
- 0,5: normalidade do HCl (meq-g/ml);
- (BR-HCl)*0,5: número de equivalentes do HCl correspondentes à espécie química (CO₂) que reagiram com o NaOH;
- 40: meq-g do NaOH (mg);
- [(BR-HCl)*0,5]*40: massa (mg) do NaOH que reagiu com a espécie química (CO₂);
- 1CO₂ + 2NaOH = 1Na₂CO₃ + 1H₂O;
- 44/80: CO₂/NaOH (massa de CO₂ que reage com NaOH);
- 1000: 1mg=1000 microgramas (resultado em microgramas);
- 12/44=C/CO₂ (massa). Massa do C determinado a partir do CO₂ metabolizado;
- Br – Amostra em branco;
- HCl – Solução de HCl 0,5N gasto na titulação;
- PS50g – Peso seco do solo a partir de 50g;
- 7 – dias de incubação.

Preparo das soluções:

- NaOH 1N

Pesar 40g do NaOH e diluir em 1000 mL de água destilada.

- HCl 0,5N

41,75 mL de ácido clorídrico concentrado e diluir em 1000mL de água destilada.

- BaCl₂ 10%

Pesar 10g do BaCl₂ e diluir em 100 mL de água destilada.

- Fenolftaleína 1%

Pesar 1g de fenolftaleína e diluir em 1000 mL de água destilada.