

ARIECHA VIEIRA RODRIGUES TIBIRIÇÁ

**MANEJO AGROECOLÓGICO AUMENTA A MULTIFUNCIONALIDADE
ECOLÓGICA E O FORNECIMENTO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DA
PROPRIEDADE RURAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Felipe Nogueira Bello Simas

Coorientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa – Campus Viçosa**

T

T553m
2021 Tibiriçá, Ariecha Vieira Rodrigues, 1992-
Manejo agroecológico aumenta a multifuncionalidade ecológica e o fornecimento de serviços ecossistêmicos da propriedade rural / Ariecha Vieira Rodrigues Tibiriçá. - Viçosa, MG, 2021.
1 dissertação eletrônica (73 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Felipe Nogueira Bello Simas.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Solos, 2021.

Referências bibliográficas: f. 67-73.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.112>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Biodiversidade. 2. Recuperação ecológica. 3. Ecologia das paisagens. 4. Zona da Mata (MG : Mesorregião). I. Simas, Felipe Nogueira Bello, 1976-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em Agroecologia. III. Título.

CDD 22. ed. 333.95098151

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fátima Alves CRB6/2578

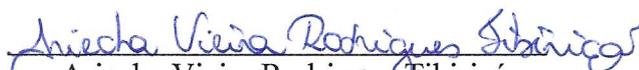
ARIECHA VIEIRA RODRIGUES TIBIRIÇÁ

**MANEJO AGROECOLÓGICO AUMENTA A MULTIFUNCIONALIDADE
ECOLÓGICA E O FORNECIMENTO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DA
PROPRIEDADE RURAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 19 de julho de 2021.

Assentimento:


Ariecha Vieira Rodrigues Tibiriçá

Autora


Felipe Nogueira Bello Simas

Orientador

*Dedico este trabalho a todas as pessoas que lutam
pelo meio ambiente e sua preservação.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à todas as pessoas que estiveram presentes de alguma forma nessa jornada que foi o mestrado.

Agradecer primeiramente aos meus pais Daniel e Meire por todo o apoio ao longo da vida, e principalmente durante a minha vida acadêmica.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Aos membros da minha banca, professor Felipe Simas, prof. Elpídio, prof. Carlos e Aianã, que me auxiliaram com muitas contribuições tanto no projeto quanto nas correções.

A todos os professores que tanto me mostraram e me ensinaram durante essa fase, principalmente os professores do departamento de Engenharia Florestal.

Aos meninos que me ajudaram no campo, na realização de alguns mapas, e em partes do projeto: Júlio César, Felipe Santana, Uriel, Lucas Carvalho e Lucas Timo.

A todos os funcionários do departamento de solos que de alguma forma me auxiliaram na minha pesquisa, em análise, conversas e até nos cafezinhos.

A todos os amigos que se fizeram presentes e parceiros nessa longa caminhada. Tantos que me ajudaram antes da entrada do mestrado, os que me auxiliaram na escrita e também aos que estavam comigo no meio desse caminho, meu muito obrigada, vocês não fazem ideia do quão importante foi a presença e a força de todos vocês durante esse processo. Em especial a Adalgisa, Rafael Gomes, Raphael Gonçalves, Ana, Luiza, Gabriel, Bárbara, Allie, Rebeca, Luana, Nina, Lucas, Deivison, Victor e minha biriguinha (Aika) que fez com que os dias em casa fossem mais felizes.

Obrigada a todos que de alguma forma contribuíram para esse trabalho chegar até aqui.

*“eu senti a paz do fim quando entendi:
são as rachaduras da terra
que fazem os rios
se tornarem grandes”*

- Tcd

RESUMO

TIBIRIÇÁ, Ariecha Vieira Rodrigues, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2021. **Manejo Agroecológico aumenta a multifuncionalidade ecológica e o fornecimento de Serviços Ecológicos da propriedade rural.** Orientador: Felipe Nogueira Bello Simas. Coorientador: Elpídio Inácio Fernandes Filho.

Os ambientes naturais sofrem modificações ao longo do tempo em função da forma como os seres humanos manejam a paisagem. A Agroecologia, em sua mais ampla aplicação (âmbitos social, econômico e ambiental), possui capacidade de estruturar as atividades humanas de maneira consonante à manutenção da qualidade dos ecossistemas manejados. Com uma perspectiva holística, o manejo agroecológico é capaz de unir o uso antrópico com a proteção e preservação das funções ecossistêmicas, conservando a diversidade dos processos do ecossistema em nível de paisagens. Na transição de um ecossistema natural para um agroecossistema, a elasticidade primitiva e a estabilidade biológica são substituídas pela combinação de fatores socioeconômicos e ecológicos. Isto aconteceu em larga escala no Brasil e na Zona da Mata mineira, com extensa substituição das florestas e ecossistemas nativos por culturas agrícolas como o café, que atualmente em sua maior parte deu lugar às pastagens. No presente trabalho buscamos investigar como o manejo agroecológico contribui para a regeneração da multifuncionalidade ecológica da paisagem. Selecionamos como estudo de caso uma propriedade na Zona da Mata mineira, que vem sendo manejada há quinze anos a partir de uma abordagem agroecológica, visando a regeneração de pastagens degradadas e a produção agroecológica de alimentos. Foram selecionadas características para se entender as mudanças na funcionalidade ecológica ao de 15 anos, a saber: i) uso e cobertura do solo; ii) estoque de carbono orgânico nos solos e na vegetação; iii) biodiversidade e; iv) susceptibilidade dos solos à erosão. A partir de imagens aéreas e conversas com os atuais proprietários, foi reconstruído o cenário do ano de 2004. Em 2019, foi realizado um levantamento com o uso de drone e elaborado um mosaico ortorectificado da área de estudo e feito o mapeamento e caracterização do uso atual do solo. Foram coletadas amostras de solo dos principais tipos de uso e utilizados dados secundários de inventário florestal para se avaliar estoques de carbono no solo e na fitomassa aérea do estrato arbóreo. A conversão da pastagem em outros tipos de uso de maior biodiversidade e com cobertura arbóreo-arbustiva é a principal alteração da paisagem contida na propriedade. Em termos do funcionamento ecológico avaliamos os impactos deste manejo em relação a três aspectos: i) conservação do solo e da água; ii) sequestro de carbono

atmosférico e; iii) aumento da biodiversidade. Quanto aos impactos da substituição das pastagens sobre as características químicas dos solos, os resultados indicam que a sucessão ecológica e maior produção de biomassa aérea aumenta a ciclagem de nutrientes, porém o teor de carbono orgânico no solo permanece próximo ao das pastagens, indicando um sistema dinâmico de transformação de matéria e utilização da energia pelos seres vivos. Os resultados mostram poucas diferenças nos teores médios de carbono orgânico nos solos das diferentes classes de uso. A regeneração natural levou ao expressivo aumento da biodiversidade vegetal devido a ocorrência de estrato arbustivo e arbóreo. Com isso, tem-se a ampliação da diversidade de nichos ecológicos para diversas espécies da fauna. A maior produção de biomassa e sua deposição e decomposição nos solos e a presença de sistemas radiculares mais profundos também indicam o provável aumento da diversidade de microfauna do solo. A presença de estratos arbustivos e arbóreos nas encostas e a implantação de técnicas de “Plantio de Água” contribuem para a redução da estimativa do potencial de erosão do solo. Enquanto uma pesquisa exploratória, os resultados evidenciam que após 15 anos de manejo agroecológico tem-se uma paisagem atual com maior multifuncionalidade ecológica. Incentivo à disseminação deste tipo de manejo de forma mais ampla pode ter efeitos significativos em escala local e regional, contribuindo para a regeneração ecológica de um território mais extenso.

Palavras-chave: Biodiversidade. Autorregulação. Paisagens funcionais.

ABSTRACT

TIBIRIÇÁ, Ariecha Vieira Rodrigues, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2021. **Manejo Agroecológico aumenta a multifuncionalidade ecológica e o fornecimento de Serviços Ecológico da propriedade rural.** Adviser: Felipe Nogueira Bello Simas. Co-Adviser: Elpídio Inácio Fernandes Filho.

Natural environments undergo changes over time as a result of the way humans manage the landscape. Agroecology, in its widest application (social, economic and environmental spheres), has the capacity to structure human activities in line with the maintenance of the quality of managed ecosystems. With a holistic perspective, agroecological management is able to unite anthropogenic use with the protection and preservation of ecosystem functions, conserving the diversity of ecosystem processes at the landscape level. In the transition from a natural ecosystem to an agroecosystem, primitive elasticity and biological stability are replaced by a combination of socioeconomic and ecological factors. This has happened on a large scale in Brazil and in the Zona da Mata of Minas Gerais, with extensive replacement of native forests and ecosystems by agricultural crops such as coffee, which has mostly gave way to pastures. In the present work, we seek to investigate how agroecological management contributes to the regeneration of the ecological multifunctionality of the landscape. We selected as a case study a property in the Zona da Mata of Minas Gerais, which has been managed for fifteen years from an agroecological approach, aiming at the regeneration of degraded pastures and the agroecological production of food. Some characteristics were selected to understand the changes in ecological functionality over 15 years, namely: i) land use and cover; ii) organic carbon stock in soils and vegetation; iii) biodiversity and; iv) susceptibility of soils to erosion. Based on remote sensing of old images and conversations with the current owners, the 2004 scenario was reconstructed. In 2019, a survey was carried out using a drone and an orthorectified mosaic of the study area was prepared and the mapping was carried out to demonstrate the characterization of current land use. Soil samples were collected from the main types of land use and secondary forest inventory data were used to assess carbon stocks in the soil and aerial phytomass of the tree stratum. The conversion of pasture to other types of use with greater biodiversity and with arboreal-shrubby cover is the main alteration to the landscape contained in the property. In terms of ecological functioning, we evaluated the impacts of this management in relation to three aspects: i) soil and water conservation; ii) atmospheric carbon sequestration and; iii) increase in biodiversity. As for the impacts of replacement of pastures

on the chemical characteristics of soils, the results indicate that ecological succession and greater production of aboveground biomass increases nutrient cycling, but the organic carbon content in the soil remains close to that of pastures, indicating a system dynamics of matter transformation and energy use by living beings. The results show few differences in the average levels of organic carbon in soils of different use classes. Natural regeneration led to a significant increase in plant biodiversity due to the occurrence of shrub and arboreal strata. As a result, there has been an expansion of the diversity of ecological niches for different species of fauna. The greater production of biomass and its deposition and decomposition in soils and the presence of deeper root systems also indicate the likely increase in soil microfauna diversity. The presence of shrub and arboreal strata on the slopes and the implementation of “Water Planting” techniques contribute to reducing the estimate of the potential for soil erosion. As an exploratory research, the results show that after 15 years of agroecological management there is a current landscape with greater ecological multifunctionality. Encouraging the dissemination of this type of management in a broader way can have significant effects on a local and regional scale, contributing to the ecological regeneration of a larger territory.

Keywords: Biodiversity. Autoregulation. Functional Landscape.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo - Sítio Palmital.....	18
Figura 2 - Unidades pedogeomorfológicas mapeadas na propriedade rural estudada, Viçosa, MG.....	27
Figura 3 - Imagem de satélite do ano de 2004, indicando o uso e cobertura do solo no.....	29
Figura 4 - Fotos da pastagem e da paisagem nos anos iniciais após a aquisição do terreno em 2004.	31
Figura 5 - Mapa indicando a separação de uma zona de manejo mais intensiva e outra menos intensiva, abrigo das encostas mais elevadas que formam a cabeceira da nascente.....	33
Figura 6 - Mapa com intervenções de plantio de água.	35
Figura 7 - Ortomosaico retificado obtido com imagens de VANT no ano de 2019.....	37
Figura 8 - Mapa de uso e cobertura do solo no ano de 2019.....	38
Figura 9 - Mata ciliar em processo de regeneração ao longo das cabeceiras do córrego Palmital, dentro da propriedade estudada.	38
Figura 10 - Horta de uso comunitário e quintais agroflorestais ocupando áreas que eram cobertas por pastagem em 2004, na propriedade estudada.....	39
Figura 11 - Sistema agroflorestal para recuperação de mata ciliar, com diversas espécies arbórea	40
Figura 12 - Fisionomias identificadas para realização de inventário florestal	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das unidades pedogeomorfológicas identificadas na propriedade rural estudada, Viçosa, MG.....	25
Tabela 2 - Áreas total e relativa das classes de uso e cobertura do solo na propriedade em 2004.	30
Tabela 3 - Distribuição das classes de uso e cobertura nas unidades pedogeomorfológicas identificadas.....	30
Tabela 4 - Características gerais das fitofisionomias de regeneração natural identificadas na propriedade estudada, Viçosa, MG.....	43
Tabela 5 - Volume de biomassa na parte aérea do estrato arbóreo e número de espécies presentes nas fitofisionomias inventariadas por ISAVIÇOSA (2021).	45
Tabela 6 - Ocorrência das fitofisionomias nas diferentes unidades pedogeomorfológicas mapeadas na propriedade estudada.....	49
Tabela 7 - Características químicas da camada de 0-10 cm das principais classes de uso do solo na propriedade estudada.	52
Tabela 8 - Características físicas da cama 0-10cm das principais classes de uso e ocupação do solo na propriedade estudada.....	54
Tabela 9 - Estoque de carbono orgânico na camada 0-10 cm de solos sob os principais tipos de uso identificados na propriedade estudada em 2019 em área de pasto limpo da propriedade vizinha.	55
Tabela 10 - Volume de biomassa e estoque de carbono orgânico na parte aérea do estrato arbóreo das diferentes fisionomias de regeneração natural estudadas.	55
Tabela 11 - Estimativa do C orgânico presente nos primeiros 10 cm de solo, na fitomassa aérea do estrato arbóreo e valores totais de C orgânico presentes nestes compartimentos em 2004, na propriedade estudada.	56
Tabela 12 - Estimativa do C orgânico presente nos primeiros 10 cm de solo, na fitomassa aérea do estrato arbóreo e valores totais de C orgânico presentes nestes compartimentos em 2004, na propriedade estudada.	59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. ÁREA DE ESTUDO	17
3. METODOLOGIA.....	19
3.1 ETAPAS DA PESQUISA	19
3.2. PROCEDIMENTOS.....	20
3.2.1. Elaboração de Mosaico Ortoretificado da Área de Estudo	20
3.2.2. Caracterização do meio físico.....	21
3.2.3 Mapeamento do uso e cobertura do solo	21
3.2.4 Coleta e Análise de solos.....	22
3.2.5 Estoque de carbono orgânico dos solos.....	23
3.2.6 Estoque de Carbono na Vegetação	23
4. RESULTADOS	25
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO	25
4.2 USO E COBERTURA DO SOLO EM 2004	28
4.3. PRÁTICAS DE MANEJO DA PROPRIEDADE.....	32
4.4. USO E COBERTURA DO SOLO EM 2019	35
4.4.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL	40
4.4.2. CARACTERÍSTICAS DA CAMADA SUPERFICIAL DO SOLOS	50
4.5. ESTIMATIVAS DO ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS E NA FITOMASSA AÉREA ARBÓREA.....	51
4.5.1 Estoque de carbono nos solos e na fitomassa aérea do estrato arbóreo.....	51
4.5.2 Cenário de 2004.....	56
4.5.3 Cenário de 2019.....	57
5. DISCUSSÃO.....	60
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

1. INTRODUÇÃO

A pressão humana no sistema Terra atingiu uma escala global e vem se acentuando aceleradamente nas últimas décadas, com aumento da exploração de recursos naturais e da emissão de poluentes, afetando cada vez mais o clima (IPPC, 2007a), degradando os ecossistemas naturais e prejudicando a sobrevivência de diversas espécies, inclusive a nossa (MEA, 2005a). A Terra entrou em uma nova era, o Antropoceno, na qual os seres humanos são a principal força motriz para a transformação do sistema terrestre (CRUTZEN, 2002; STEFFEN et al., 2007). O crescimento exponencial das atividades humanas vem minando a estabilidade dos principais sistemas biofísicos, desencadeando mudanças ambientais muitas vezes irreversíveis, que causam prejuízo ao bem-estar humano (ROCKSTROM et al., 2009).

O paradigma de desenvolvimento social e econômico dominante ainda não demonstra efetividade em evitar colapsos ambientais em escala planetária, visto que segue baseado na exploração e esgotamento de recursos naturais finitos (STERN, 2007). É urgente encontrar caminhos e formas de “estarmos no mundo” que respeitem os limites planetários. Reconhecendo que a natureza possui ritmos de recuperação e retroalimentação que devem ser entendidos e respeitados para se evitar o esgotamento dos recursos e a desregulação de processos que garantem as condições que permitem a vida no planeta tal qual a conhecemos. Rockstrom et al (2009), demonstram que alguns limites planetários vêm sendo ultrapassados em função da atividade humana.

Nos ecossistemas terrestres, a substituição da vegetação nativa por áreas agrícolas, a partir de desmatamentos e queimadas é um dos principais vetores de degradação ambiental. Como resultado, tem-se o colapso contínuo das principais funções ecológicas dos ecossistemas naturais (UZEDA et al., 2017), como o sequestro de carbono atmosférico, regulação de populações de insetos, regulação do ciclo hidrológico etc, causando impactos em nível local e global, como as mudanças climáticas, aumento da incidência de pragas e doenças, escassez hídrica, alteração dos ciclos de nutrientes, perda da biodiversidade, entre outros. O Brasil, considerado um país de dimensões continentais, é um dos maiores produtores de alimentos do mundo, sendo que 172 milhões de hectares são ocupados por pastagens cultivadas e nativas, que correspondem a aproximadamente 75% da área utilizada para agricultura (IBGE, 2006). Segundo o IBGE (2021), no período de 2000 a 2018, houve uma redução de 7,6 % da área de vegetação florestal e de 10,1% da área de vegetação campestre, e o aumento de áreas antropizadas destinadas às pastagens com manejo (27,1 %), à produção agrícola (44,8 %) e à silvicultura (70,1 %). Segundo Kohlrausch e Jung (2015), a agropecuária está entre as principais ações antrópicas responsáveis por causar impactos ambientais negativos. Os autores estimam que 15% dos solos do mundo estejam degradados ou se encontram em processo de degradação e que nas regiões tropicais a situação é ainda mais preocupante, pois mais da metade destes solos apresentam algum nível de degradação.

O conceito de funções ecossistêmicas é relevante no sentido de que por meio delas se

dá a geração dos chamados serviços ecossistêmicos, que são os benefícios diretos e indiretos obtidos pelo homem a partir dos ecossistemas. São, em última instância, fluxos de materiais, energia e informações derivados dos ecossistemas naturais e cultivados que, combinados com os demais tipos de capitais (humano, manufaturado e social) produzem o bem-estar humano (De GROOT et al., 2002).

A despeito de sua grande variedade, as funções ecossistêmicas podem ser agrupadas em quatro categorias primárias, quais sejam: i. funções de regulação; ii. funções de habitat; iii. funções de provisão; e iv. funções de informação (De GROOT et al., 2002).

Entender a dinâmica de ecossistemas requer esforço no mapeamento das funções ecossistêmicas, as quais podem ser definidas como as constantes interações existentes entre os elementos estruturais de um ecossistema, incluindo transferência de energia, ciclagem de nutrientes, regulação de gases, regulação climática e do ciclo da água (DALY e FARLEY, 2004). O conceito de serviços ecossistêmicos é relativamente recente, sendo utilizado pela primeira vez no final da década de 1960 (KING, 1966; HELLIELL, 1969).

Ambientes de vegetação nativa ou naturais são mais complexos e biodiversos. Um dos principais efeitos da conversão de uma área natural da área de produção agrícola é a simplificação dos ecossistemas (BUTCHART et al., 2010), causando erosão e redução da fertilidade natural dos solos, degradação de cursos d'água e nascentes, aumento das emissões de CO₂ e a perda da biodiversidade. Ou seja, visando priorizar serviços de provisão (ex: produção de alimentos), a simplificação dos ecossistemas pelos sistemas de produção afeta diretamente diversas funções que garantem o fornecimento de serviços ecossistêmicos de regulação e de suporte, essenciais para a própria agricultura e para o bem-estar humano de forma geral (FRISON et al., 2011).

Neste sentido, são necessárias estratégias de manejo dos agroecossistemas que reduzam as emissões, conservem os solos e as águas, e aumentem o sequestro de carbono e a biodiversidade. Que mantenham os processos e serviços ecológicos e a biodiversidade na escala da paisagem, resultando em múltiplos serviços ecossistêmicos, caracterizando uma paisagem multifuncional (UZÊDA et al., 2017). As interações complexas entre vários tipos de uso da terra e os remanescentes de áreas naturais que podem resultar em relações correlacionais positivas, e complementariedade funcional podem ser consideradas propriedades multifuncionais da paisagem (CHAN et al., 2006; LATERRA, 2011; LATERRA et al., 2012). Ambientes de vegetação nativa ou naturais são mais complexos do ponto de vista de composição fitossociológica e fornecem serviços ecossistêmicos relacionados a serviços de suporte (agricultura, silvicultura e pesca, que são influenciadas e influenciam todos os tipos de serviços ecossistêmicos); serviços de provisionamento (alimentos, matérias-primas, água doce, recursos medicinais); serviços regulatórios (qualidade do ar, sequestro e armazenamento de carbono, moderação de eventos extremos, tratamento de águas residuais, prevenção e manutenção da fertilidade do solo, polinização, controle biológico, regulação do fluxo de água); serviços de suporte (habitat para espécies e manutenção de diversidade genética) e serviços culturais (recreação, saúde mental, turismo, apreciação estética e inspiração para cultura, arte e design, experiência espiritual e senso de lugar).

Os ambientes naturais sofrem modificações ao longo do tempo em função da forma como os seres humanos manejam a paisagem (RENARD et al., 2015). A Agroecologia, em sua mais ampla aplicação (âmbitos social, econômico e ambiental), possui capacidade de estruturar as atividades humanas de maneira consonante à manutenção da qualidade dos ecossistemas manejados. Com uma perspectiva holística, o manejo agroecológico é capaz de unir a proteção e preservação das funções ecossistêmicas com o uso antrópico. A adoção de práticas agroecológicas provaram ser importantes vetores de conservação da diversidade dos processos do ecossistema, principalmente quando se trata de paisagens (RIES et al., 2004). Incentivando o aumento da biodiversidade, ao considerar plantas e espécies cultivadas que possuem características importantes no sistema de produção.

A Agroecologia em sua mais ampla aplicação (âmbito social, econômico e ambiental), possui capacidade de estruturar as atividades humanas de maneira consonante à manutenção razoável dos ecossistemas manejados pelo indivíduo. Os princípios básicos da agroecologia consistem em manejar, estudar e delinear agroecossistemas de forma sustentável, com objetivo principal de obter equilíbrio e sustentabilidade para a manutenção da biodiversidade (ALTIERI, 1999). A prática de manejo sustentável seguindo os princípios da agroecologia considera as inter-relações entre os diversos elementos presentes no agroecossistema. Sendo este sustentável quando maximiza o potencial produtivo, mantendo a produtividade ao longo do tempo, com a utilização mínima de insumos externos, sem degradar os recursos naturais renováveis.

Na transição de um ecossistema natural para um agroecossistema, a elasticidade primitiva e a estabilidade biológica são substituídas pela combinação de fatores socioeconômicos e ecológicos (TONOLLI, 2012). Ao manter os processos e serviços ecológicos e a biodiversidade na escala da paisagem, o manejo agroecológico da biodiversidade agrícola melhora a qualidade dos substratos agrícolas, preservando a multifuncionalidade (UZÊDA et al., 2017). O fator do agroecossistema ser manejado para geração de serviços ambientais, além da produção de alimentos, consolida o conceito de paisagem multifuncional (UZÊDA et al., 2017).

As interações complexas entre vários tipos de uso da terra e os remanescentes de áreas naturais que podem resultar em relações correlacionais positivas, e complementariedade funcional podem ser consideradas propriedades multifuncionais da paisagem (CHAN et al., 2006; LATERRA, 2011; LATERRA et al., 2012). De forma que a consolidação das paisagens multifuncionais precisa de estudos que abranjam todos os tipos de uso da paisagem e suas relações, onde a transição agroecológica se torna muito importante para a consolidação das paisagens multifuncionais.

A pesquisa sobre serviços ecossistêmicos nas últimas décadas fez progresso significativo na conceituação, quantificação e avaliação dos serviços ecossistêmicos (De GROOT et al., 2012; COSTANZA et al., 2014; YI et al., 2018). Um dos grandes desafios permanece sendo transformar efetivamente as paisagens, visto que são compostas via de regra

por diversas propriedades particulares. A implantação de paisagens multifuncionais depende da vontade e do engajamento dos proprietários rurais.

Em áreas de recarga e com função ecológica bem definidas, como é o caso de cabeceiras de bacias hidrográficas, os tipos de ocupação e uso dos diferentes ambientes pela sociedade devem estar intimamente relacionados às características do ambiente físico e devem ser desenvolvidos de forma que o estado de equilíbrio dos serviços ecossistêmicos presentes não seja afetado de forma substancial. Este aspecto se torna essencial ao planejamento eficaz da gestão ambiental, pois é necessário entender as particularidades ambientais de cada local para que as intervenções humanas minimizem os impactos ambientais decorrentes da ocupação e uso da terra. Ades & Coelho (2005), consideram a bacia hidrográfica como unidade estratégica, onde diferentes formas de uso e ocupação do solo irão exacerbar uma série de processos possíveis: erosão, assoreamento, água, poluição do solo, perda cultural na nascente e qualidade e quantidade da água.

Partimos da premissa de que o manejo agroecológico leva à melhoria da funcionalidade ecológica da paisagem e do reconhecimento da necessidade de uma transição agroecológica em larga escala (UZEDA et al., 2017; PERFECTO, 1995). Para embasar as estratégias e práticas de manejo, e a elaboração de políticas públicas que incentivem a tão necessária regeneração ecológica das paisagens rurais, são necessários dados em escala local. São necessários estudos de caso, que ajudem a responder perguntas como: quais os ganhos em termos de funcionalidade ecológica e de fornecimento de serviços ecossistêmico resultantes do manejo agroecológico de uma propriedade?

Para responder essa pergunta, selecionamos como estudo de caso uma propriedade na Zona da Mata mineira, que vem sendo manejada há quinze anos a partir de uma abordagem agroecológica, visando a regeneração ecológica da paisagem e de sua multifuncionalidade ecossistêmica.

2. ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado em uma propriedade rural com cerca de 20,5 ha, na Zona da Mata mineira, no município de Viçosa, nas cabeceiras do córrego Palmital, na microbacia do Ribeirão São Bartolomeu (20° 50' 33.403" S, 42° 52' 9.742" W), no extremo sul do município (Figura 1). Em 2004, a propriedade foi adquirida por um grupo de pessoas para o estabelecimento de uma comunidade intencional de cunho ambientalista e espiritualista (CASTRO, 2014). Todo o processo de ocupação da área foi pautado pela premissa de que era necessário recuperar a área do ponto de vista ecológico. Foi realizado um zoneamento onde foram estabelecidas as áreas para construção das residências, áreas coletivas para o cultivo agroecológico, áreas para plantio de sistemas agroflorestais e para o estabelecimento da sucessão ecológica da vegetação nativa. Ao longo dos anos, foram realizadas diversas intervenções visando o “plantio de água”. Ou seja, um conjunto de práticas mecânica e vegetativas de conservação do solo visando reduzir a erosão e garantir a infiltração de água e abastecimento do lençol freático.

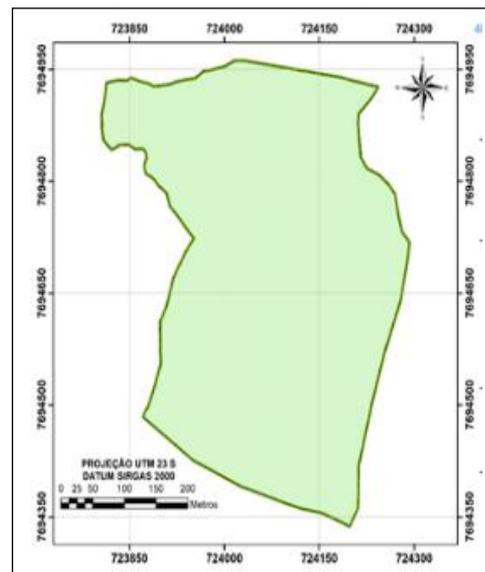
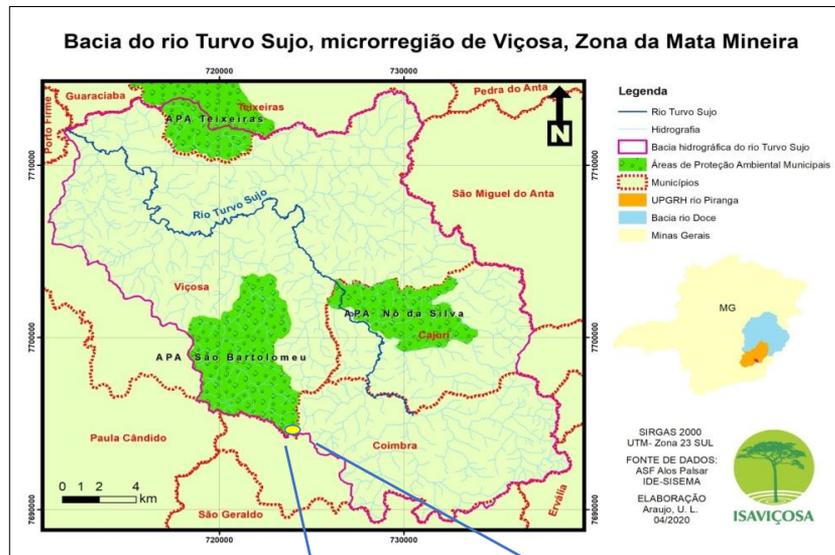
A propriedade estudada está localizada na porção mais elevada da bacia do ribeirão São Bartolomeu, abrigando as primeiras nascentes que abastece este que é um dos cursos d’água principais para o abastecimento urbano da cidade de Viçosa. É deste manancial que é captada a totalidade da água utilizada para consumo humano e parte do consumo da cidade pela Universidade Federal de Viçosa. A bacia do ribeirão São Bartolomeu está inserida na bacia do Rio Turvo Sujo, Rio Piranga, importante afluente do Rio Doce (FONTES et al, 2006).

Dada a importância da bacia do São Bartolomeu para o município de Viçosa, foi criada em 2017 (decreto municipal nº 5.124/2017), a Área de Proteção Ambiental (APA) São Bartolomeu (Figura 1). Com extensão de aproximadamente 3.600 hectares, a APA tem por objetivo a proteção dos recursos hídricos existentes e normatização do uso da Bacia do Ribeirão São Bartolomeu, com garantias adequadas de proteção (SAAE, 2017).

Do ponto de vista ecogeográfico, a área é parte do domínio morfoclimático dos Mares de Morros Florestados, na Zona da Mata de Minas Gerais. A temperatura média anual da região é de 20,6°C, a precipitação média anual é de 1229 mm e a região está inserida no domínio da Floresta Atlântica, sendo originalmente coberta por floresta estacional semidecidual, apresentando relevo forte ondulado a montanhoso (Mar de Morros) com solos profundamente intemperizados nas encostas e topos de morro (Latosolos e Cambissolos latossólicos), formados a partir de rochas gnáissicas pré-cambrianas, e solos mais jovens com gradiente textural (Argissolos) nos fundos de vale planos abrigando leitos maiores e terraços fluviais

onde também ocorrem solos hidromórficos (Gleissolos) (CORREA, 1984).

Figura 1 — Mapa de localização da área de estudo - Sítio Palmital, no extremo sul do município de Viçosa e da APA São Bartolomeu, na divisa com os municípios de Coimbra. Está localizada na porção mais elevada da bacia do ribeirão São Bartolomeu, abrigo microbacias de cabeceira onde estão localizadas as nascentes mais elevadas deste curso d'água. (Adaptado de ISAVIÇOSA, 2021).



Fonte: ISAVIÇOSA (2021)

Do ponto de vista do histórico de uso e ocupação da região, podem ser descritas duas grandes fases no processo de colonização e povoamento da Zona da Mata Mineira. Uma iniciada na primeira metade do século XVIII e ligada à abertura do Caminho Novo, na região sul da Zona da Mata e outra que se iniciou na segunda metade do mesmo século, a partir da colonização da porção central, localizada às margens do rio Pomba. Na Zona da Mata Mineira, após o ciclo de retirada da floresta para diversos usos, teve início o ciclo do café. Posteriormente, os solos degradados pelas lavouras de café, foram extensamente substituídas por pastagens (Souza et al., 2012). Atualmente, em torno de 42,5 % das pastagens desta região apresentam elevado nível de degradação (MAPA, 2015).

3. METODOLOGIA

A presente pesquisa é exploratória (KÖCHE, 2011) pois visa familiarizar-se com o fenômeno investigado, a fim de apontar caminhos para que futuros estudos possam ser desenhados com maior compreensão e precisão. A pesquisa exploratória não visa explicar a relação entre variáveis, mas sim o levantamento da presença das variáveis e da sua caracterização quantitativa ou qualitativa (KÖCHE, 2011). O objetivo básico da pesquisa exploratória é descrever ou caracterizar a natureza das variáveis. A pesquisa baseou-se no estudo de caso uma propriedade que vem sendo manejada de forma agroecológica há cerca de 15 anos, buscando avaliar mudanças termos da funcionalidade ecológica da propriedade neste período.

3.1 ETAPAS DA PESQUISA

Com base na literatura (UZEDA et al., 2017; TEIXEIRA, 2020; GOMES, 2020), foram selecionadas algumas características da paisagem para se entender as mudanças na funcionalidade ecológica da mesma, a saber: i) uso e cobertura do solo; ii) estoque de carbono orgânico nos solos e na vegetação; iii) biodiversidade e; iv) susceptibilidade dos solos à erosão.

Inicialmente, no ano de 2019, foi feito o reconhecimento da área, a descrição do uso atual e das principais práticas de manejo, através de visitas de campo e conversas com os proprietários. Em seguida, a partir da interpretação de imagem de satélite, fotografias e informações dos proprietários, foi realizada a caracterização do uso e cobertura do solo no ano de 2004 e feita uma avaliação da funcionalidade ecológica da paisagem naquele

cenário, considerando indicadores como biodiversidade, grau de conservação dos cursos d'água e nascentes, propensão à erosão e estoque de carbono orgânico nos solos e na fitomassa aérea.

Em setembro de 2019, foi realizado um levantamento com o uso de drone e elaborado um mosaico ortorretificado da área de estudo. Em seguida, foi feita a estratificação da paisagem em unidades pedogeomorfológicas, que foram mapeadas e caracterizadas em termos de seus atributos morfométricos (tipo de solo, geoforma, face de exposição, declividade e altitude). Posteriormente, foi realizado o mapeamento do uso e cobertura do solo no ano de 2019 e feita a comparação com o cenário de 2004. Foi realizado o estudo de propriedades físicas e químicas do horizonte A dos solos nas diferentes classes de uso, bem como a estimativa do estoque de carbono orgânico nos solos e na parte aérea da vegetação, a partir de dados obtidos em 2019. Por fim, foi feita a comparação entre a funcionalidade ecológica e o fornecimento de serviços ecossistêmicos da paisagem em 2019 em relação ao ano de 2004.

3.2. PROCEDIMENTOS

3.2.1. Elaboração de Mosaico Ortorretificado da Área de Estudo

Nos últimos anos, o uso de veículos aéreos remotamente tripulados (VANTs) se desenvolveu como uma excelente alternativa para coleta de dados de uso e cobertura vegetal. Entre os benefícios desta nova tecnologia, podemos citar os custos operacionais mais baixos, coleta de dados de alta intensidade, versatilidade de sensores incorporados (câmeras ópticas), a flexibilidade operacional do tempo necessário, registro de dados em áreas de difícil acesso, otimização do tempo de voo para evitar a cobertura de nuvens, aquisição de dados com alta resolução espacial, entre outras (TORRES SÁNCHEZ et al., 2013; COLOMINA e MOLINA, 2014; AASEN et al., 2015; TANG e SHAO, 2015; SAARINEN et al., 2017).

Foi elaborado um ortomosaico da propriedade em estudo, a partir de imagens obtidas no ano de 2019 por veículo aéreo não tripulado e controlado remotamente (VANT). Um drone comercialmente disponível (DJI Phantom 4 Pro (P4P)), foi usado para capturar as imagens na área de estudo sendo utilizado o aplicativo Drone Deploy para elaboração do plano de vôo. Com auxílio de GPS topográfico foram demarcados pontos de controle no terreno a fim de se corrigir o erro originado do sensor GNSS (Sistema de Navegação Global

por Satélite) embarcado no drone. As imagens foram processadas e georreferenciadas para geração do ortomosaico da área. Estes processos foram realizados utilizando o programa de computador de processamento de imagens Agisoft Photoscan versão 1.3.

3.2.2. Caracterização do meio físico

A partir do ortomosaico e visitas de campo foram mapeadas as unidades pedogeomorfológicas (SIMAS, 2002). Isto é, áreas com características semelhantes em termos de solos e relevo. A distribuição dos solos na paisagem foi realizada com base em observações de campo através de micro-trincheiras e no modelo de distribuição de solos no planalto de Viçosa (Corrêa, 1984). De acordo com este modelo, nos topos de morro, nas encostas convexas e em rampas de colúvio, predominam Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos, geralmente profundos e bem desenvolvidos. Nos terraços fluviais predominam os Argissolos Vermelho-Amarelos distróficos e nas encostas côncavas tem-se Cambissolos Latossólicos distróficos. Nos fundos de vale e brejos ocorrem os Gleissolos. As unidades de mapeamento foram vetorizadas utilizando-se o ArcGis 10.1.

A partir de curvas de nível com equidistância de 5m, obtidas a partir geradas a partir de restituição digital de dados do satélite IKONOS do ano de 2007, fornecida pelo PSA/SAAE/UFV (projeto Plano de Segurança da Água), foi gerado o modelo digital de elevação e mapa de declividade do terreno, utilizando-se o software ArcGis 10.1. Foram obtidos os seguintes atributos de cada unidade pedogeomorfológica: área total, área relativa ao terreno todo, variação altimétrica, altitude média e declividade média.

3.2.3 Mapeamento do uso e cobertura do solo

A análise temporal e espacial de uso e cobertura do solo tem como objetivo levantar as modificações ocorridas em determinada área ao longo do tempo, cujos resultados apresentam múltiplas finalidades, desde auxiliar o planejamento de órgãos públicos/privados até nas tomadas de decisões visando a conservação ambiental. Desta forma, esta análise permite estabelecer uma melhor compreensão da degradação ou conservação da área imageada, considerando as possíveis causas do aumento ou diminuição de determinadas classes.

Para o mapeamento do uso e cobertura do solo no ano de 2004, utilizou-se uma imagem do satélite IKONOS, com 10m de resolução espacial. Foi feita a classificação

visual das classes de uso, utilizando como apoio fotos antigas e informações coletadas junto aos proprietários. Para o mapeamento do uso e cobertura no ano de 2019, as classes de uso e unidades de mapeamento foram identificadas a partir da interpretação visual do ortomosaico e de visitas de campo, bem como a partir de dados obtidos por inventário florestal realizado no ano de 2020 (ISAVIÇOSA, 2021). Todos os procedimentos relacionados à aquisição e tratamento dos fatores de entrada para a classificação de uso e ocupação foram realizados no software ArcGIS 10.1®.

3.2.4 Coleta e Análise de solos

Foram coletadas e analisadas amostras de solo do horizonte A das principais classes de uso do solo. Foram coletadas três amostras compostas em cada classe de uso, sendo cada amostra composta obtida a partir de 5 amostras simples, coletadas aleatoriamente dentro das classes de uso estudadas. Também foram coletadas amostras indeformadas para cálculo da densidade do solo. As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com abertura de 2mm, para obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). As amostras de TFSA foram submetidas às seguintes análises físicas e químicas de rotina, de acordo com as recomendações de Embrapa (2017):

- Quantificação da areia grossa, areia fina, silte e argila pelo método da pipeta após dispersão mecânica e química com NaOH 0.1 mol L⁻¹.
- pH do solo em água e em KCL 1 mol L⁻¹.
 - P, K, Na disponíveis e micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn) extraídos através de análise de densidade do anel volumétrico com Mehlich-1 e determinados por emissão de chama (K e Na), fotolorimetria (P) e espectrometria de absorção atômica (micronutrientes).
 - Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ extraídos com solução de KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por espectroscopia de absorção atômica (Ca²⁺ e Mg²⁺) e titulação (Al³⁺).
 - A acidez potencial (H+Al) foi determinada por titulação, após extração com solução de Ca (CH₃COO₂) 0.5 mol L⁻¹ tamponada a pH 7.
 - O P remanescente (Prem) obtido após agitação por 1 h de 5 g de solo com solução de CaCl₂ 0.01 mol L⁻¹ contendo 60 mg L⁻¹ de P.
 - O C orgânico total determinado pela combustão úmida usando K₂Cr₂O₇ e o N total foi determinado usando digestão com H₂SO₄ e destilação Kjeldhal.

3.2.5 Estoque de carbono orgânico dos solos

Foi estimado o estoque de carbono no solo para os primeiros 10 cm de profundidade nos anos de 2004 e 2019. Para o ano de 2004, utilizou-se os resultados de análise de solos obtidas em 2019 para usos representativos das classes de uso identificadas em 2004 (fragmento de floresta estacional estágio médio, pastagem, pasto sujo e floresta de grota).

Para o cálculo de estoque de carbono orgânico dos solos na camada de 0-10cm de profundidade, foi utilizada a metodologia descrita no Manual de Métodos de Análise do Solo (Embrapa, 2009), onde a fórmula para o cálculo de estoque de carbono é:

$$\text{Est C} = (\text{COT} \times \text{Dap} \times e) / 10$$

Est C = estoque de C orgânico em determinada profundidade ($\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

COT = teor de C orgânico total na profundidade amostrada ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Dap = densidade aparente do solo da profundidade ($\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$)

e = espessura da camada considerada (cm)

3.2.6 Estoque de Carbono na Vegetação

No presente estudo, enquanto uma pesquisa exploratória, foi estimado o carbono orgânico apenas da parte aérea do estrato arbóreo, não sendo quantificados o carbono do estrato herbáceo, da serapilheira, da necromassa ou das raízes.

Para o ano de 2004, foram utilizados dados de estoque de carbono na vegetação obtidos no inventário de 2019, para classes similares às aquelas presentes em 2004 (pasto, pasto sujo, floresta de grota). No caso do fragmento da floresta estacional semidecidual, utilizou-se dados secundários de volume de biomassa obtidos em 2010 (AMARO, 2013) para fragmento de floresta estacional em estágio médio na região de Viçosa. No caso das pastagens, considerou-se a inexistência de estrato arbóreo. Para a estimativa do carbono da fitomassa aérea em 2019, foram utilizados dados de volume de biomassa obtidos por ISAVIÇOSA (2020), a partir de inventário florestal. Para as áreas com sistema agroflorestal, utilizou-se o mesmo valor de estoque de carbono obtidos para as áreas em regeneração inicial/pasto sujo. E no caso das hortas, considerou-se a não existência de estrato arbóreo.

Para conversão do volume de biomassa em massa seca, utilizou-se o valor de densidade básica média para madeiras de floresta estacional semidecidual de $0,586 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, proposto por Amaro (2013) para floresta estacional semidecídua na região de Viçosa. Para

conversão da biomassa seca em estoque de carbono, utilizou-se o coeficientes 0,47 indicado pelo IPCC (Amaro, 2013).

Utilizou-se a seguinte fórmula para a estimativa do estoque de carbono orgânico na parte aérea do estrato arbóreo:

$$CFTA = VTFM \times Db \times 0,47 \times A$$

Onde:

CFTA = Carbono orgânico na fitomassa aérea (Mg/ha)

VTFM = volume de fitomassa aérea (m³/ha)

Db = densidade básica média da fitomassa, sendo utilizado o valor de 0,586 kg.m⁻³

A = área total ocupada pelo tipo de vegetação (ha)

4. RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO

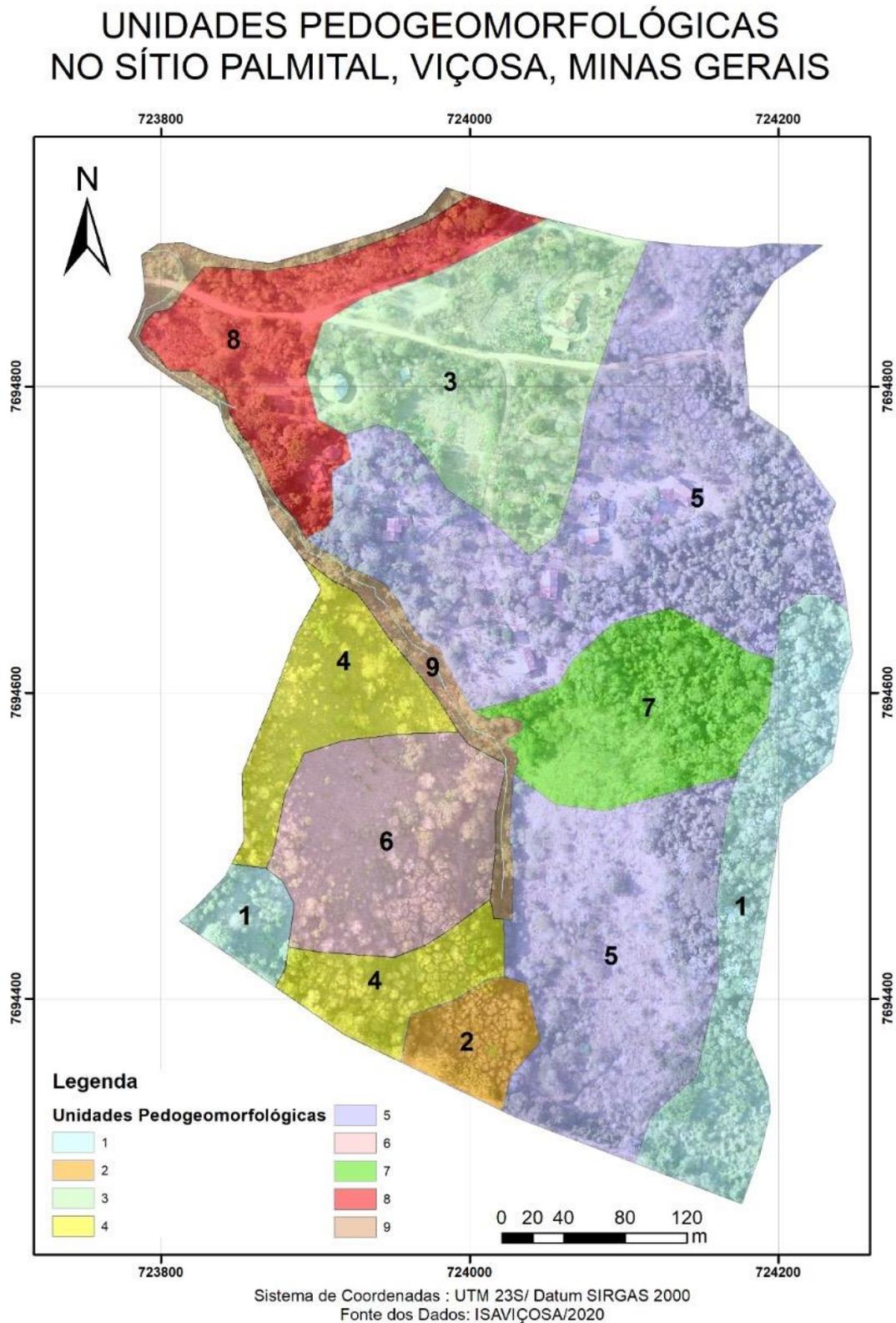
A área de estudo possui 20,5 ha e compreende uma microbacia de cabeceira, que guarda a nascente mais alta do córrego do Palmital, um dos principais afluentes do ribeirão São Bartolomeu. A porção mais elevada da propriedade é formada por um vale encaixado no sentido Sul-Norte (Figura 2), rodeado por encostas íngremes convexas, com porções côncavas, e rampas no terço inferior. A parte mais baixa da propriedade compreende uma área de brejos, terraços fluviais, rampas e encostas convexas mais suaves. De forma geral, a área apresenta uma amplitude altimétrica de 74 metros, com o ponto mais baixo tendo altitude de 756 m acima do nível do mar, chegando a 830 m de altitude no ponto mais elevado. A declividade média é 22 % caracterizando um relevo forte ondulado, com algumas encostas apresentando até 54 % de declividade na porção montanhosa da área estudada. A área abriga as nascentes de dois cursos d'água que se juntam para formar o córrego Palmital. A estratificação do meio físico resultou em nove unidades pedogeomorfológicas (Tabela 1), sendo que cerca de 37% da propriedade é formada por encosta convexa face oeste, com Latossolos.

Tabela 1 - Características das unidades pedogeomorfológicas identificadas na propriedade rural estudada, Viçosa, MG

Unidade Pedogeomorfológica	Área total (ha)	Área relativa (%)	Altitude (m)	Altitude média (m)	Declividade média (%)
1-Topos aplainados com Latossolo Vermelho Amarelo	2,1	10,2	811 a 840	826	14,8
2 – Rampa com LVA face norte	0,5	2,4	790 a 802	797	12,6
3- Rampa com LVA face oeste	2,7	13,2	755 a 783	767	15,9
4 – Encostas convexas com LVA face leste	1,7	8,3	769 a 822	795	28,0
5 – Encosta convexa com LVA face oeste	7,7	37,6	761 - 833	795	25,3
6 – Encosta côncava com Cambissolos face leste	1,8	8,8	773 - 822	797	31,2
7 – Encosta côncava com	1,6	7,8	774 - 832	805	32,2

Cambissolos face oeste							
8 – Terraço com Argissolos Vermelho Amarelos	1,6	7,8	751 - 764	755	9,7		
9 - Fundos planos com Gleissolos	0,8	3,9	752 - 786	754	12,7		

Figura 2 - Unidades pedogeomorfológicas mapeadas na propriedade rural estudada, Viçosa, MG.



4.2 USO E COBERTURA DO SOLO EM 2004

A análise de imagem aérea (Figura 3), revela que em 2004 a propriedade possuía quatro tipos de uso e cobertura do solo, sendo elas: i) Mata Ciliar (0,5 ha); ii) Regeneração Inicial (0,6 ha); iii) Floresta Secundária em estágio médio (4,5 ha) e; iv) Pastagem (15 ha).

A maior parte da área era coberta por pastagem (Tabela 2), ocupando cerca de 73,1 % da propriedade, distribuída em todas as unidades pedogeomorfológicas (Tabela 3). Segundo relatos, a pastagem apresentava sinais de degradação nas encostas mais íngremes, sendo composta por braquiária e em grande parte por capim gordura (Figura 4). Em certos trechos da pastagem ocorriam árvores isoladas. As nascentes e o córrego encontravam-se grande parte em meio a pastagem, com a mata ciliar ocupando apenas um pequeno trecho ao longo da hidrografia, na porção noroeste (Figura 3), em fundos de vale planos e trechos de rampas e encostas (Tabela 3). Até 2004, era comum observar a presença de gado ao longo do córrego e áreas de nascentes (informação pessoal dos moradores).

Na porção mais elevada da paisagem, ao longo do topo aplainado que marca o divisor da microbacia e da propriedade e a parte mais alta da encosta de face oeste (Figura 3, Tabela 3), tinha-se um fragmento remanescente de floresta estacional semidecidual em estágio médio de regeneração, ocupando 22% da área da propriedade.

Na parte superior das encostas convexas e côncavas de face leste e no topo aplainado que marca o limite sudoeste da propriedade (Figura 3), havia uma pequena área em regeneração inicial, já com alguns elementos arbóreos e arbustivos.

Figura 3 – Imagem de satélite IKONOS do ano de 2004, indicando o uso e cobertura do solo no Sítio Palmital

Cobertura do Solo - Sítio Palmital - 2004

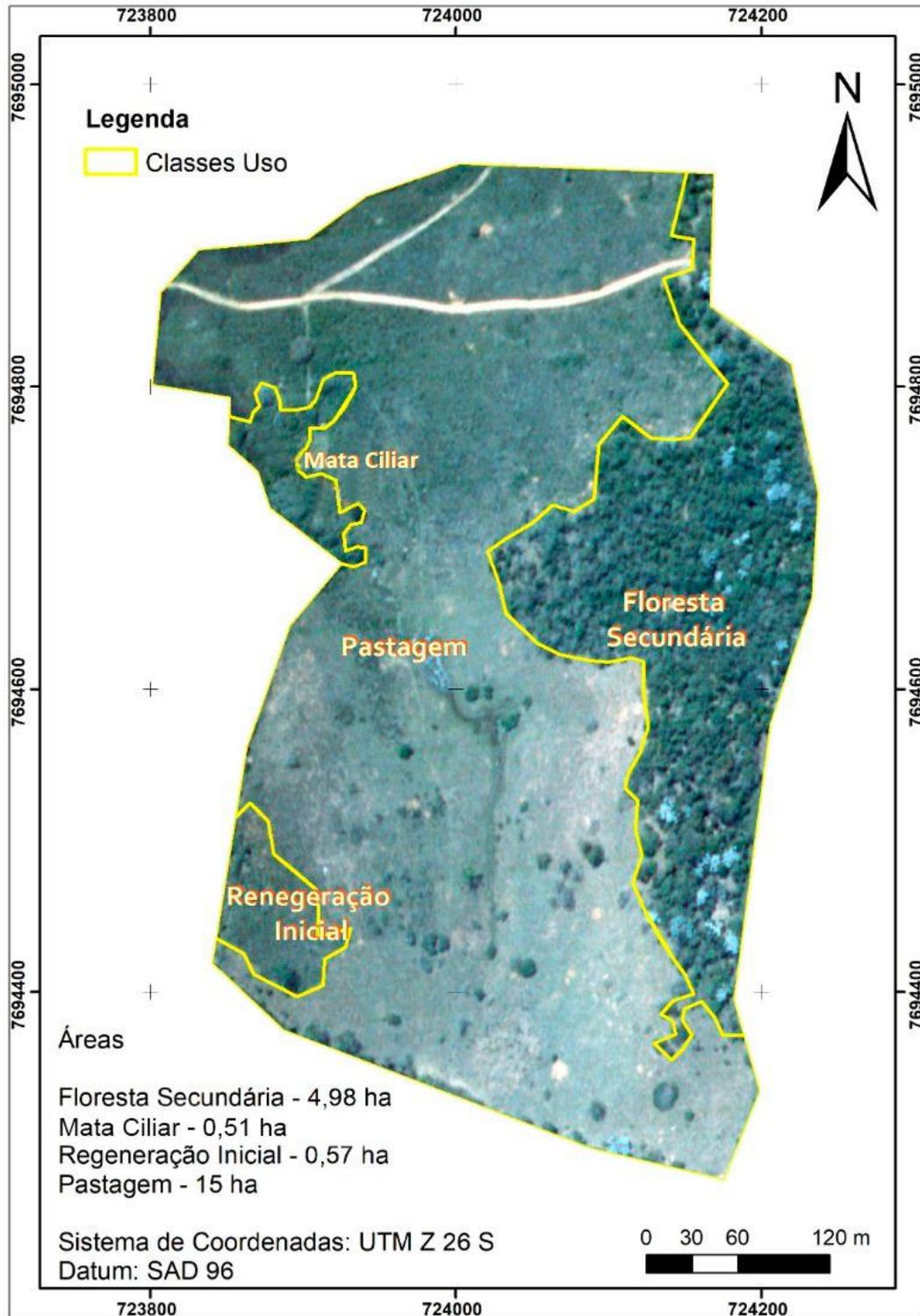


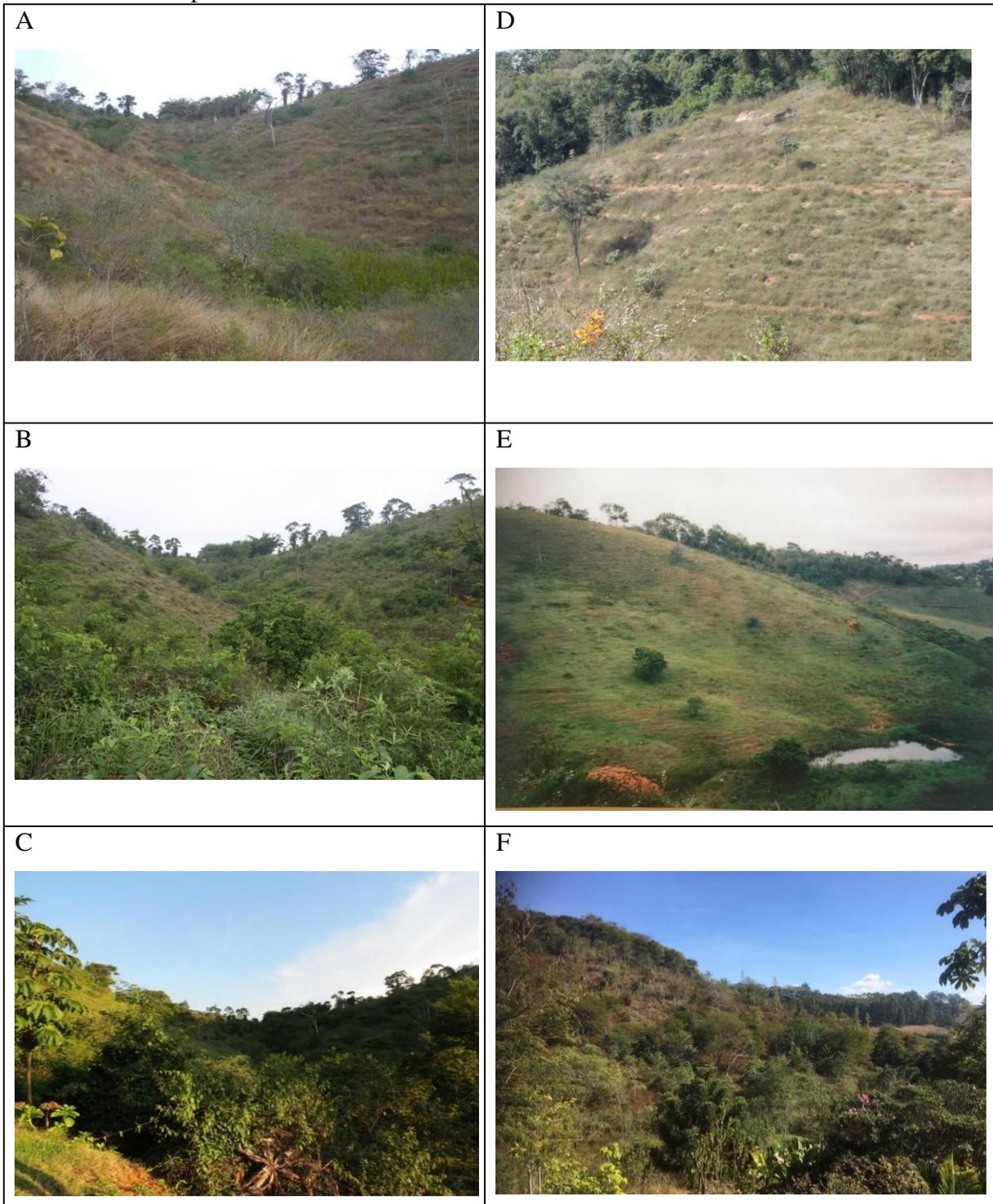
Tabela 2 - Áreas total e relativa das classes de uso e cobertura do solo na propriedade em 2004.

Uso e Cobertura	Área total (ha)	Área relativa (%)
Floresta Secundária	4,48	21,8
Pastagem	15	73,1
Regeneração inicial/ Pasto Sujo	0,57	2,9
Mata Ciliar	0,51	2,5

Tabela 3 - Distribuição das classes de uso e cobertura nas unidades pedogeomorfológicas identificadas

Unidade Pedogeomorfológica	Floresta secundária	Pastagem	Regeneração inicial	Mata Ciliar
	m ²			
1-Topos aplainados com Latossolo Vermelho Amarelo	10726,3	7039,6	2621,5	
2 – Rampa com LVA face norte		4907,2		
3- Rampa com LVA face oeste		25808,9		722,1
4 – Encostas convexas com LVA face leste		15454,6	1603,3	120,1
5 – Encosta convexa com LVA face oeste	31994,5	43925,0		1302,1
6 – Encosta côncava com Cambissolos face leste		16325,1	1658,4	
7 – Encosta côncava com Cambissolos face oeste	8004,4	7863,9		
8 – Terraço com Argissolos Vermelho Amarelos		13218,6		3122,3
9 - Fundos planos com Gleissolos		7228,5		1190,4

Figura 4 - Fotos ilustrando a regeneração da vegetação após a aquisição do terreno em 2004. As fotos A, D e E ilustram a paisagem em 2004, com predomínio de pastagens. As fotos A, B e C mostram a regeneração da grota que abriga a nascente principal, ao longo dos anos 2007 (foto A), 2009 (foto B) e 2014 (foto C). A foto D ilustra o plantio de mudas e implantação de terraços em nível realizada em 2007. Já as imagens E e F ilustram a regeneração de rampa e encosta face leste, mostrando a situação no ano de 2005 (foto E), com evidências de solo exposto e processos acelerados de erosão nas partes mais elevadas e próximo ao açude e em 2021 (foto F), com formação de bosques e pasto sujo, não sendo mais observados focos erosivos e solo exposto



4.3. PRÁTICAS DE MANEJO DA PROPRIEDADE

Em 2004, com a aquisição da área pelos atuais proprietários, deu-se início o manejo da propriedade visando a regeneração ecológica. Os novos proprietários, por não terem no uso da terra a sua fonte de renda, optaram por um manejo voltado para a produção de serviços ecossistêmicos. Os resultados esperados das práticas de manejo, eram a recuperação da vegetação nativa, a conservação da fauna silvestre e a recuperação das nascentes e cursos d'água e a formação de um ambiente biodiverso e que permitisse uma conexão com a natureza. Uma das primeiras ações foi impedir a entrada de gado na propriedade como um todo, em especial nas áreas de nascente e córregos. Além disso, desde 2004 não se faz o uso de fogo para a limpeza de áreas na propriedade. A partir da leitura ambiental da propriedade e com base em princípios agroecológicos e permaculturais, a opção de manejo foi concentrar as atividades mais intensivas, como construção de casas, plantio de pomares e hortas, acessos, nas porções mais baixas das encostas e rampas sob pastagem. Toda a área mais elevada da propriedade, que engloba as encostas íngremes que contornam a nascente mais alta, foi definida como uma área voltada exclusivamente para a regeneração ecológica (Figura 5).

Na porção de uso mais intensivo foram construídas as casas e, ao redor destas, implementados quintais agroflorestais e hortas agroecológicas voltadas para o consumo dos moradores, formando áreas de transição produtivas entre as residências. Foi escolhida uma área central para a produção coletiva de culturas anuais (milho, feijão, mandioca) e horta comunitária. As práticas agrícolas buscam seguir os princípios da agroecologia, visando o fechamento de ciclos de matéria e energia dentro da propriedade e reduzindo a importação de insumos. O cultivo das hortas e pomares agroflorestais é feito sem mecanização ou uso de fertilizantes industriais ou agrotóxicos. Há a importação de esterco e também de mudas e sementes e uso esporádico de calcário nas hortas e pomares. O cultivo mínimo, uso de adubos orgânicos, adubação verde, rotação de culturas e a implantação de diversos tipos de sistemas agroflorestais são as principais práticas de manejo voltado à produção para uso comunitário.

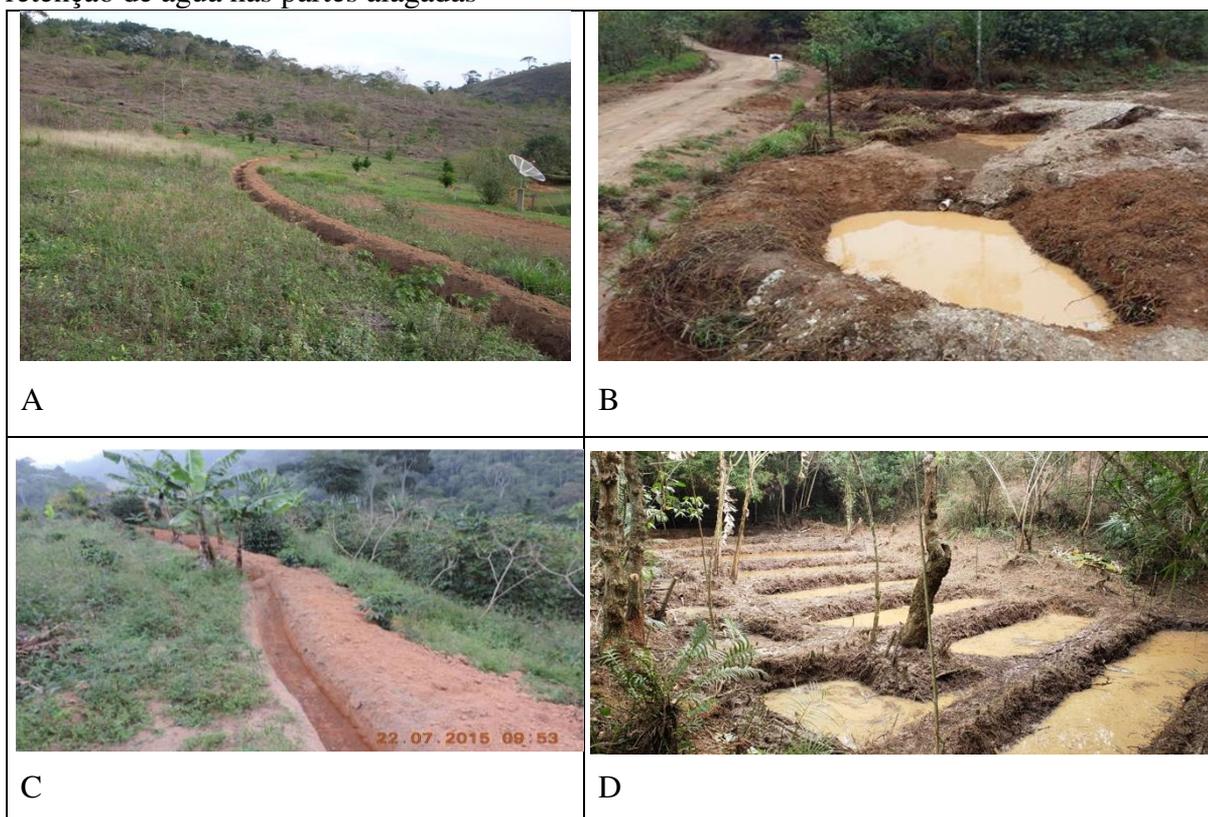
Figura 5 – Mapa indicando a separação de uma zona de manejo mais intensiva e outra menos intensiva, abrigo as encostas mais elevadas que formam a cabeceira da nascente



Nas encostas mais íngremes da parte mais elevada da paisagem, foi realizada em parceria com o SAAE, no ano de 2007, a implantação de medidas de conservação do solo e da água que consistiram na construção de terraços em nível e o plantio de cerca de 4000 mudas de árvores nativas e exóticas. Desde então, o manejo desta área visa a manutenção de caminhos e aceiros, o plantio de água e a proteção contra incêndios, para que possa ocorrer o processo de regeneração natural. A partir de 2015, foi implantada na propriedade uma unidade participativa de plantio de água, que compreende uma série de intervenções visando o aumento da recarga do lençol freático, a recuperação e proteção das nascentes, a recuperação das matas ciliares com sistemas agroflorestais e tecnologias sociais de saneamento. Com isto, aumentou-se o número de terraços nas encostas, foram implantadas caixas secas em pontos estratégicos, caixas cheias ao longo dos brejos e plantadas mudas nativas ao longo da mata ciliar (Figura 6).

Com o passar do tempo, intensificou-se na propriedade atividades de educação ambiental e realização de visitas técnicas voltadas para a disseminação de técnicas e abordagens para a recuperação ambiental. Atualmente, a propriedade abriga o projeto Microbacia Escola, desenvolvido pelo Instituto Socioambiental de Viçosa, que permite a diversos público observar, analisar e vivenciar diversas práticas de manejo agroecológico voltadas para a regeneração ambiental.

Figura 6 - Mapa com intervenções de plantio de água. A e C- Terraços em nível nas encostas; B – caixa seca na beira da estrada e áreas de concentração da enxurrada e; D caixas cheias para retenção de água nas partes alagadas



4.4. USO E COBERTURA DO SOLO EM 2019

A interpretação do mosaico ortoretificado obtido em 2019 (Figura 7) levou à identificação de 11 classes de uso do solo (Figura 8). A área de floresta secundária permaneceu semelhante àquela observada em 2004 (4,4 ha), ocupando a porção mais alta das encostas de face oeste. Já a área de pasto sujo aumentou mais de cinco vezes em relação a 2004, passando a ocupar 3,1 ha. Da mesma forma, observa-se o aumento da área de mata ciliar ao longo das grotas, passando a ocupar 1,4 ha. É notável na análise da imagem (Figura 7) e em campo (Figura 9), a presença de mata ciliar ao longo de todo o córrego e ao redor das nascentes.

Não foram identificadas áreas de pastagem em 2019, que foi substituída por diversos tipos de uso. Na porção de manejo mais intensivo da propriedade, a pastagem deu lugar a quintais interligando as casas (1,4ha), sistemas agroflorestais (0,3ha), hortas e cultivos anuais (0,22ha) e infraestruturas como casas, estradas, caminhos, estacionamento e área de uso público da sede da propriedade, onde se dão as atividades da Microbacia Escola.

Os quintais agroflorestais e a horta (Figura 10) possuem culturas variadas como: Feijão, milho, mandioca, banana, batata doce, inhame, berinjela, quiabo, alho, cebola, alho poró,

beterraba, cenoura, brócolis, couve flor, abóbora (tipos variados), alface (tipos variados), rúcula, couve, almeirão, azedinha, taioba, couve-chinesa, agrião, salsa, cebolinha, manjeriço, hortelã, lobrobró (*oropronobis*).

Os sistemas agroflorestais (SAF) possuem espécies arbóreas: Manga, goiaba, Pitanga, abacate, arueirinha, angico vermelho, mogno (africano e *grandifoliola*), jatobá, ipê preto e amarelo, jacarandá, guapuruvu, orelha de nego, copaíba, castanha mineira, cedro, quaresmeira, embaúba. O sistema agroflorestal é importante para a agricultura familiar pois combina vantagens econômicas e ambientais. Uso sustentável dos recursos naturais e menos dependência de insumos externos. Caracteriza-se por ser um sistema de produção para melhorar a segurança e economia alimentar, para agricultores e consumidores.

Do ponto de vista da regeneração natural, a pastagem deu lugar a diferentes fisionomias de sucessão secundária, englobando porções com maior adensamento e porte de indivíduos arbóreos e áreas com estrato arbustivo e herbáceo. Ao todo, estas áreas denominadas regeneração inicial ocupam cerca de 9,5ha, representando 46 % da propriedade. Dada a sua singularidade, foram mapeadas à parte áreas de monodominância de “Pau-Jacaré” (*Piptadenia gonocantha*), que formam bosques adensados nos extremos norte e sul da propriedade, ocupando a porção mais rebaixada de divisores de água em forma de sela, compreendendo 1,8 ha.

Figura 7 – Ortomosaico retificado obtido com imagens de VANT no ano de 2019, evidenciando a recuperação da mata ciliar e a substituição da pastagem por fisionomias de sucessão inicial

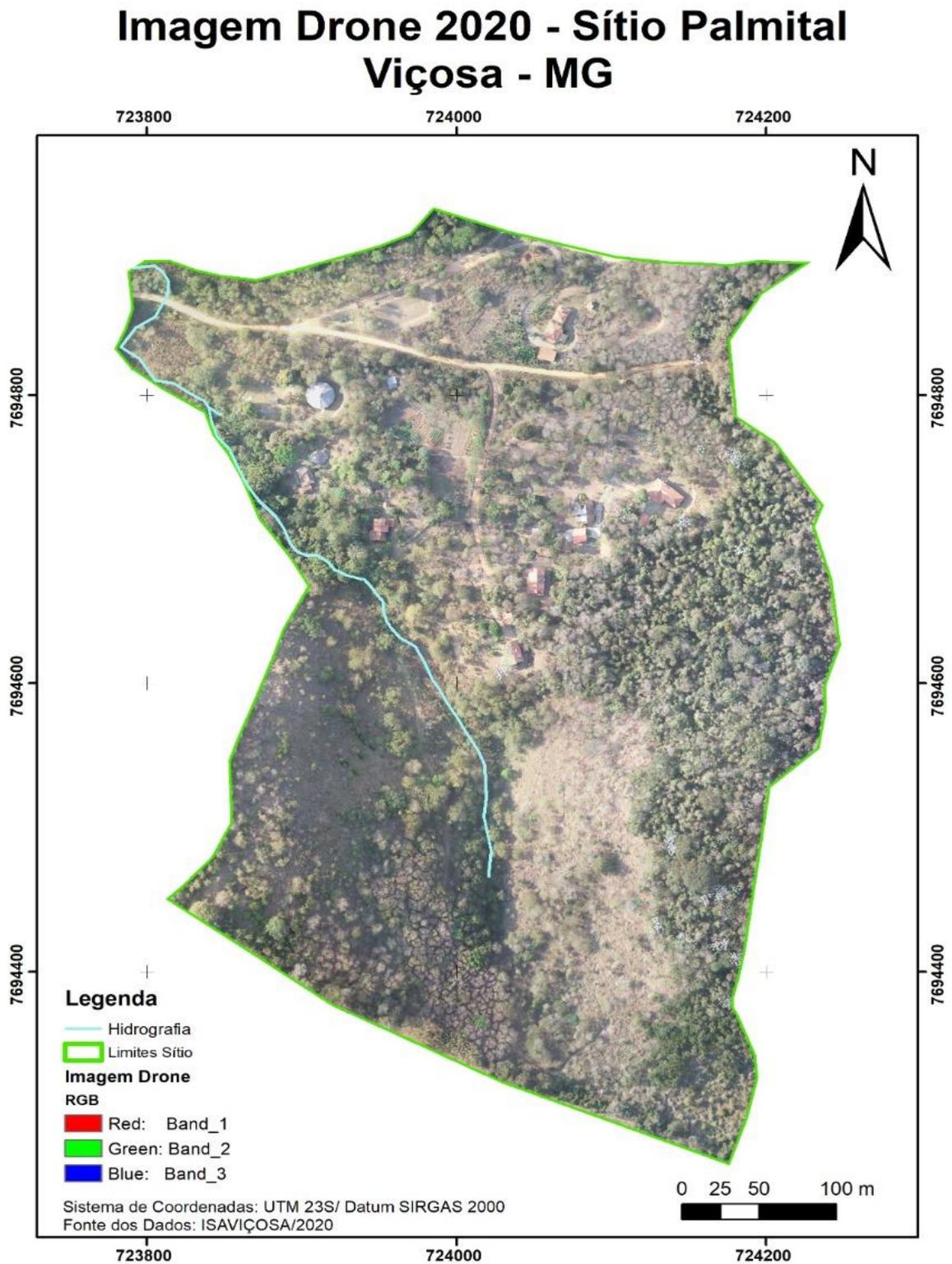


Figura 8 - Mapa de uso e cobertura do solo no ano de 2019

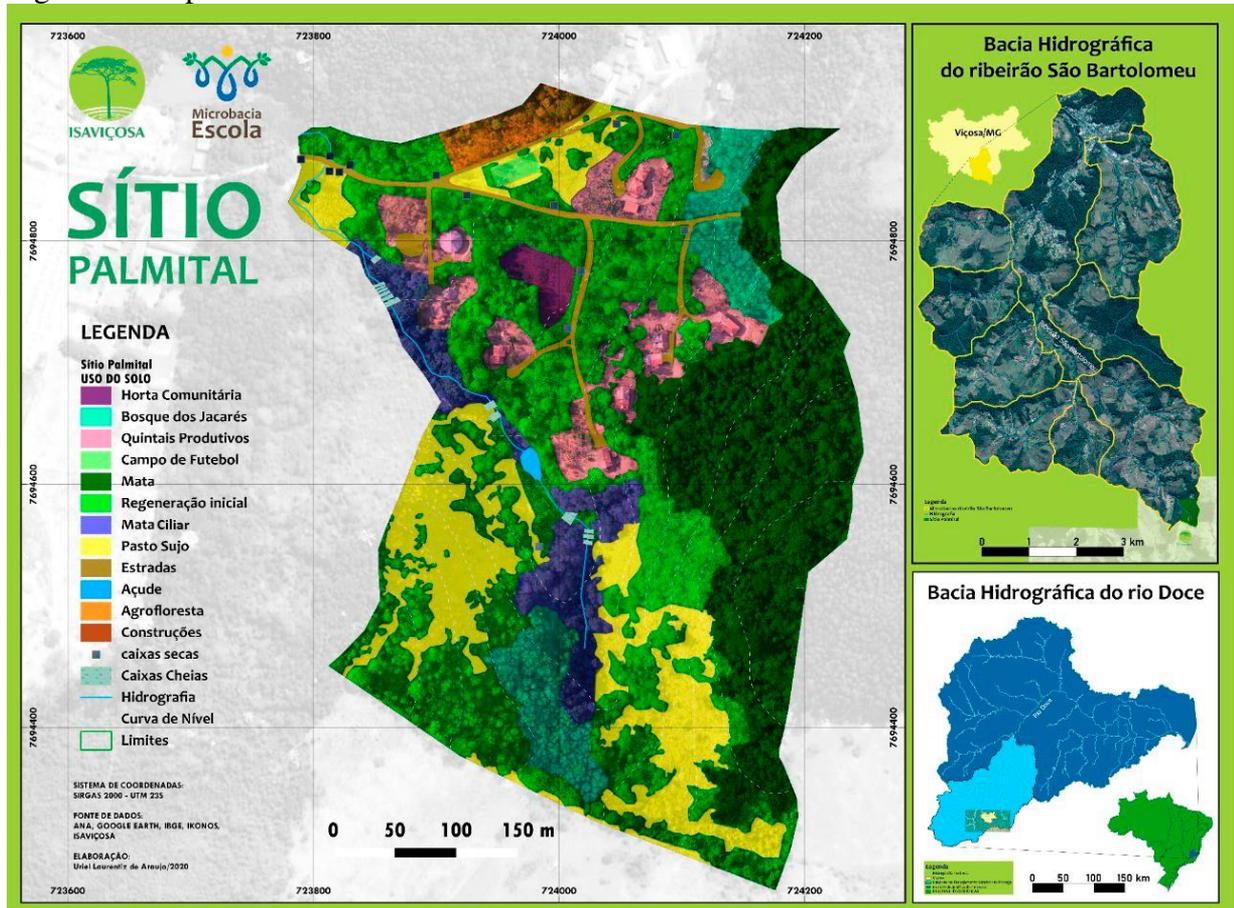


Figura 9 - Mata ciliar em processo de regeneração ao longo das cabeceiras do córrego Palmital, dentro da propriedade estudada.



Figura 10 - Horta de uso comunitário e quintais agroflorestais ocupando áreas que eram cobertas por pastagem em 2004, na propriedade estudada



Figura 11 - Sistema agroflorestal para recuperação de mata ciliar, com diversas espécies arbórea



4.4.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL

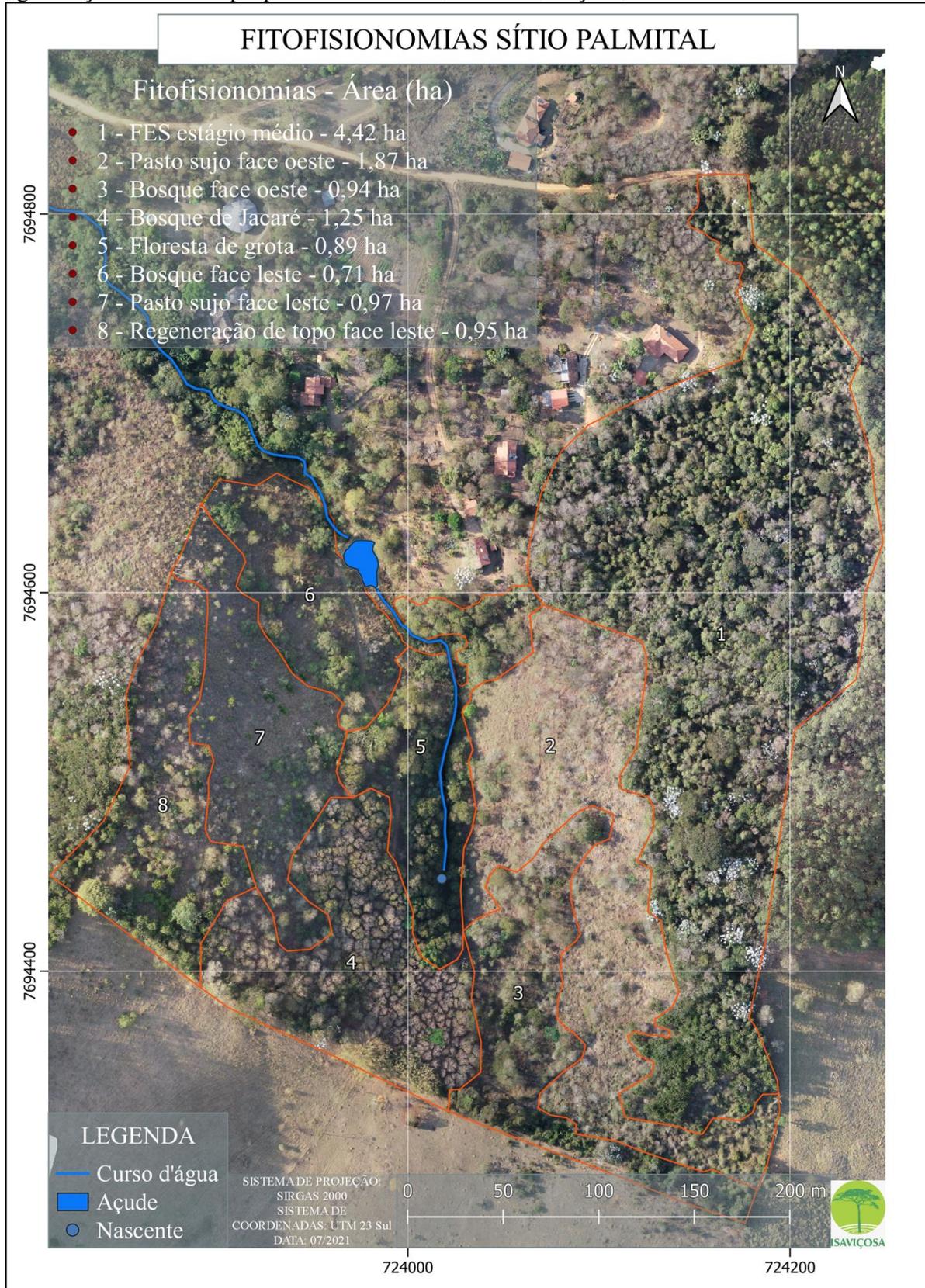
Para a melhor compreensão da regeneração natural, foi realizado um inventário florestal (ISAVIÇOSA, 2021), na porção da propriedade que vem sendo destinada especificamente à regeneração e conservação (cerca de 12 ha), sendo caracterizadas 8 fitofisionomias (Figura 12; Quadro 1; Tabelas 4 e 6). Com exceção do fragmento de floresta estacional semidecidual em estágio médio (FES), praticamente toda esta parte da propriedade era ocupada por pastagens em 2004. Atualmente, grande parte das encostas com face oeste apresenta-se sob pasto sujo (Tabela 6), com uma área de bosque ocupando 0,7ha e recebendo mais sol na parte da tarde. Já a encosta face leste, apresenta uma menor área de pasto sujo (1 ha) e uma maior proporção de áreas com mais elementos arbóreos como o Bosque face leste (0,7 ha), Regeneração de topo (1ha) e o Bosque de Jacaré (1,2 ha), recebendo maior incidência de sol na parte da manhã.

A FES é a fisionomia com maior acúmulo de biomassa na parte aérea ($35\text{m}^3/\text{ha}$) e também com o maior número de espécies arbóreas (Tabela 5) e número total de espécies

considerando-se aos estratos arbustivo e herbáceo. Dentre as fisionomias em estágio inicial, observa-se que a mata ciliar é a que apresenta maior volume acumulado (13,5 m³/ha) e maior número de espécies no estrato arbóreo (junto com o Bosque face leste), arbustivo e herbáceo. O bosque de jacaré e o pasto sujo face leste apresentaram valores elevados e similares de volume de biomassa aérea (11,7 m³/ha). O bosque de jacaré apresentou o menor número de espécies arbóreas (11 espécies), junto com o pasto sujo face oeste, porém o bosque de jacaré possui maior número de espécies arbustivas (14).

A fisionomia pasto sujo face oeste é a que mais se assemelha da cobertura presente em 2004. Considerando que até 2004 a área era submetida ao manejo de limpeza de pasto, pode-se inferir que os estratos arbóreo e arbustivo eram menos presentes. Portanto a biodiversidade vegetal naquele cenário era basicamente composta pelo estrato herbáceo que, conforme os dados do inventário (Tabela 5), se limita a aproximadamente 9 espécies nas áreas de pasto.

Figura 12 - Fisionomias identificadas para realização de inventário florestal visando estudar a regeneração natural na propriedade estudada, Palmital, Viçosa, MG



Fonte: ISAVIÇOSA (2021).

Tabela 4 - Características gerais das fitofisionomias de regeneração natural identificadas na propriedade estudada, Viçosa, MG

Fisionomia	Área (ha)	Perímetro (m)	Posição na paisagem	Altitude (min - max)	Declividade	Face de exposição solar	Vegetação abundante	Dossel florestal	Sub bosq
FES	4,5	1419,6	Terço superior	791 - 830	Suave	Sol da tarde	Árvores + Lianas	Contínuo	Den regenera e t
Pasto Sujo face oeste	1,7	981,9	Terço médio	788 - 820	Muito Ingrime	Sol da tarde	Gramíneas	Descontínuo	Den gra
Bosque face oeste	0,7	477,5	Terço inferior e médio	795 - 813	Ingrime	Sol da tarde	Gramíneas	Descontínuo	Den gramíne
Bosque de Jacaré	1,2	645,2	Terço inferior e médio	791 - 817	Ingrime	Sol da manhã	Árvores + Lianas	Contínuo	Den regen li
Bosque face leste	0,7	399,6	Terço inferior	775 - 786	Suave	Sol da manhã	Gramíneas	Descontínuo	Den gra
Pasto Sujo face leste	1	620,3	Terço médio	787 - 808	Muito Ingrime	Sol da manhã	Gramíneas	Descontínuo	Den gra
Regeneração de topo face leste	1	542,4	Terço superior	800 - 830	Suave	Sol da manhã	Gramíneas + Lianas	Descontínuo	Den gramíne

Mata ciliar	0,9	666,1	Grota úmida	780 - 795	Muito Ingrime	Sol da manhã	Árvores + Lianas	Contínuo	Den regenera e a
-------------	-----	-------	-------------	-----------	---------------	--------------	---------------------	----------	------------------------

Tabela 5 - Volume de biomassa na parte aérea do estrato arbóreo e número de espécies presentes nas fitofisionomias inventariadas por ISAVIÇOSA (2021).

Fisionomia	Área (ha)	Volume (m3/ha)	Volume total (m3)	Espécies arbóreas	Espécies arbustivas	Espécies herbáceas
FES	4,5	350,0	157,7	32	13	9
Mata ciliar	0,9	135,0	12,1	20	16	16
Bosque de Jacaré	1,2	117,0	14,0	11	14	9
Pasto Sujo face leste	1	116,0	11,6	13	5	10
Bosque face leste	0,7	48,0	3,3	20	4	9
Bosque face oeste	0,7	46,0	3,2	14	5	12
Regeneração de topo face leste	1	29,0	2,9	12	9	13
Pasto Sujo face oeste	1,7	24,0	4,1	11	7	9

Quadro 1 – Descrição e ilustração das fisionomias de regeneração natural presentes da propriedade em estudo. Com exceção da área de floresta estacional, todas as outras eram ocupadas por pastagens em 2004 (Adaptado de: ISAVIÇOSA, 2021).

Características da Fitofisionomia	Foto ilustrativa do ambiente
<p>Floresta Estacional Semidecidual - Localizada no terço superior (topo de morro) da microbacia, com relevo suave, feição da área convexa e face de exposição solar norte (sol da tarde). A área possui formação florestal com dossel contínuo, com estrato arbóreo superior e inferior. A área apresenta abundância de árvores, líquens, lianas, além de arbustos, fungos ou touceiras de taquara. O sub-bosque caracteriza-se como denso e diversificado. Com predomínio de touceiras de taquarinha, lianas lenhosas e regenerantes de espécies arbóreas. Com serapilheira contínua por toda a área com aproximadamente entre 5 e 10 cm de espessura. Composta de folhas, galhos, flores, frutos, troncos e raízes, de mal a bem decomposta.</p>	

<p>Pasto Sujo face oeste - Localizada no terço médio da microbacia, com relevo muito íngreme, feição da área convexa, face de exposição solar norte (sol da tarde). A área que não possui formação florestal com dossel arbóreo contínuo. Abundância de gramíneas do tipo capim gordura. Baixa presença de árvores, arbustos, líquens, lianas, trepadeiras, fungos e epífitas. Alguns trechos da área apresentam regenerantes advindos da mata de topo. Também foi verificada a ocorrência de taquarinha. O sub-bosque caracteriza-se como denso com predomínio de capim gordura. Baixa presença de regenerantes de espécies arbóreas e arbustivas. Serrapilheira descontínua com espessura aproximada entre 2 a 4 cm. Composta principalmente por capim seco, além de folhas e galhos. Aparentemente mal decomposta.</p>	
<p>Bosque face oeste - Localizado no terço inferior e médio da microbacia, com relevo suave, feição da área convexa e face de exposição solar norte (sol da tarde). A área que não possui formação florestal com dossel arbóreo contínuo. Possui abundância de árvores, gramíneas, lianas e líquens. Baixa presença de arbustos. O sub-bosque caracteriza-se como denso e pouco diversificado, com predomínio de capim gordura e taquarinha. Algumas áreas com regenerantes de espécies arbóreas. Serrapilheira descontínua com espessura aproximada entre 1 a 3 cm. Composta de capim, folhas e galhos, de mal a bem decomposta.</p>	
<p>Bosque de Jacaré - Localizado no terço inferior e terço médio da microbacia, com relevo Ondulado (8-20% de declividade) e Forte Ondulado (20-45%), feição da área côncava e convexa e face de exposição solar sol da manhã. A área possui formação florestal com dossel arbóreo contínuo. Abundância de árvores, lianas, lianas lenhosas e líquens. O sub-bosque caracteriza-se como denso e diversificado com predomínio de regenerantes. Baixa presença de regenerantes de espécies arbóreas e arbustivas. Serrapilheira descontínua com espessura aproximada entre 1 e 2 cm. Composta principalmente de folhas, galhos e troncos, de mal a bem decomposta. Trechos da área com solo exposto.</p>	

<p>Floresta de grota - Localizado no terço inferior (grota úmida) da microbacia, com relevo muito íngreme, feição da área côncava e face de exposição solar sol da manhã. A área possui formação florestal com dossel contínuo, com estrato arbóreo superior e inferior. Área que apresenta abundância de árvores, líquens, lianas, lianas lenhosas, arbustos. Baixa ocorrência de samambaia, epífitas e fungos. O sub-bosque caracteriza-se como denso e diversificado. Com predomínio de regenerantes de espécies arbóreas e de piperaceae. Serrapilheira descontínua com espessura aproximada entre 4 e 5 cm. Composta de folhas, galhos, flores, frutos, troncos e raízes, de mal a bem decomposta.</p>	
<p>Bosque face leste - Localizado no terço inferior da microbacia, com relevo suave, feição da área côncava e face de exposição solar com sol no período da manhã. A área não possui formação florestal com dossel arbóreo contínuo. Abundância de gramíneas do tipo capim gordura. Baixa presença de árvores, arbustos, lianas. O sub-bosque é caracteriza-se como denso com predomínio de capim gordura. Baixa presença de regenerantes de espécies arbóreas e arbustivas. Serrapilheira contínua por toda a área com espessura aproximada entre 2 a 5 cm de espessura. Composta de capim, folhas e galhos, de mal a bem decomposta.</p>	
<p>Pasto sujo face leste - Localizado no terço médio da microbacia, com relevo íngreme, feição da área convexa e face de exposição solar com sol da manhã. A área não possui formação florestal com dossel arbóreo contínuo. Abundância de gramíneas do tipo capim gordura e lianas. Baixa presença de árvores, arbustos, líquens, lianas, trepadeiras, fungos e epífitas. O sub-bosque caracteriza-se como denso com predomínio de capim gordura. Presença de lianas e mudas plantadas. Baixa presença de regenerantes de espécies arbóreas e arbustivas. Serrapilheira contínua com espessura aproximada entre 1 e 3 cm. Composta principalmente por capim seco, além de folhas e galhos, de mal a bem decompostas.</p>	

Regeneração de topo face leste - Localizado no terço superior (topo de morro) da microbacia, com relevo suave e íngreme, feição da área convexa, e face de exposição solar com sol da manhã. A área não possui formação florestal com dossel arbóreo contínuo. Abundância de gramíneas do tipo capim gordura, além de alta ocorrência de lianas. Baixa presença de árvores e arbustos. O sub-bosque caracteriza-se como denso com predomínio de capim gordura. Baixa presença de regenerantes de espécies arbóreas e arbustivas. Serrapilheira descontínua com espessura aproximada entre 1 a 5 cm. Composta principalmente por capim, além de folhas e galhos e troncos, de mal a bem decomposta.



Tabela 6 - Ocorrência das fitofisionomias nas diferentes unidades pedogeomorfológicas mapeadas na propriedade estudada

Unidade Pedogeomorfológica	Floresta secundária	Mata de grota	Pasto Sujo face oeste	Bosque de Jacaré	Pasto Sujo face leste	Bosque face oeste	Bosque face leste	Regeneração de topo face leste
Unidades	ha							
1-Topos aplainados com Latossolo Vermelho Amarelo	1,36		0,19			0,13		0,34
2 – Rampa com LVA face norte		0,01		0,43		0,03		
3- Rampa com LVA face oeste				0,07				
4 – Encostas convexas com LVA face leste		0,09		0,50	0,24		0,45	0,36
5 – Encosta convexa com LVA face oeste	2,08	0,08	1,25	0,01		0,77		
6 – Encosta côncava com Cambissolos face leste		0,36		0,28	0,72		0,18	0,23
7 – Encosta côncava com Cambissolos face oeste	0,98	0,17	0,42					
9 -Fundos planos com Gleissolos		0,15					0,07	

4.4.2. CARACTERÍSTICAS DA CAMADA SUPERFICIAL DO SOLOS

O solo do remanescente de floresta estacional semidecidual (FES), que representa a área em estágio mais avançado de regeneração da propriedade, apresentou, na camada de 0-10 cm, os menores valores de pH, Ca^{2+} , soma de bases (SB) e saturação por bases (V) e o maior valor de carbono orgânico total (COT) e Al^{3+} quando comparado às demais áreas estudadas (Tabela 7).

No outro extremo da regeneração natural, tem-se a área de pastagem. O solo da pastagem, amostrado em propriedade vizinha, apresenta valores um pouco mais elevados de pH em relação a FES, e os valores mais baixos de P disponível, Mg^{2+} e P remanescente em relação a todos os demais ambientes, bem como o segundo menor valor de V, após o solo da FES. Em relação ao carbono orgânico total, o valor (2,49 dag/kg) é um pouco mais baixo do que em solos sob FES (2,86 dag/kg), e solos sob regeneração do topo com face leste (2,65 dag/kg) e sob o bosque face oeste (2,63 dag/kg).

As áreas de pasto sujo (face leste e face oeste), apresentam valores semelhantes ao da pastagem, com pH ligeiramente mais elevado, e valores muito baixos e próximos ao da pastagem em relação à disponibilidade de nutrientes e à saturação por bases (V). Juntamente com a área de FES e de pastagem, as áreas de pasto sujo foram as que apresentaram os valores mais elevados de saturação por Al^{3+} . Os valores de COT (próximos a 2,0 dag/kg) são ligeiramente inferiores ao da pastagem. Seguindo o gradiente de regeneração natural, as áreas de bosque face oeste, bosque de jacaré, floresta de grota apresentam pH próximo a 4,9, ligeiramente mais elevado que as áreas de pasto, pasto sujo e FES. A área de bosque face leste apresentou o maior valor de pH de todos os solos estudados (5,4). Dentre os nutrientes trocáveis, percebe-se valores mais elevados de Ca^{2+} e Mg^{2+} e, conseqüentemente, de SB e V. A área de bosque de jacaré e o bosque face leste apresentaram os maiores valores de Ca^{2+} (1,74 cmolc/dm^3) dentre as áreas de regeneração. Estes solos apresentam valores mais baixos de Al^{3+} e de saturação por alumínio (m). Já os valores de P e K disponíveis são semelhantes às demais áreas de sucessão natural, bem como os teores de COT (2,0 a 2,6 dag/kg).

As áreas sob manejo voltado para a produção (Quintais, horta e SAF) possuem valores mais elevados de pH (5,1-5,2), quando comparadas a área de pasto e às demais fisionomias de regeneração natural (com exceção do bosque face leste). Estes solos apresentam os maiores valores de P disponível, semelhantes ao apresentado nos solos sob FES, chegando a 6,0 mg/dm^3 na área da horta comunitária. Os valores de K, Ca^{2+} , Mg^{2+} foram os mais elevados em relação às outras áreas estudadas, assim como SB e V e Al^{3+} . Os valores de COT foram

relativamente baixos, em especial em um dos quintais e no SAF.

De forma geral, a maior parte dos solos possuem a camada superficial com textura argilosa, com mais de 48 % de argila, chegando a muito argilosa (63% de argila) no horizonte superficial da área de pastagem amostrada em propriedade vizinha (Tabela 8). Apenas os solos do bosque face leste e dos quintais apresentaram menos de 42% de argila, caracterizando uma textura argilo-arenosa. A relação silte/argila é extremamente baixa, indicando materiais altamente intemperizados, típicos de áreas com predomínio de Latossolos.

4.5. ESTIMATIVAS DO ESTOQUE DE CARBONO NOS SOLOS E NA FITOMASSA AÉREA ARBÓREA.

4.5.1 Estoque de carbono nos solos e na fitomassa aérea do estrato arbóreo

Com base nos resultados das análises de solos e dos dados do inventário florestal, foram obtidos os valores de C orgânico estocado na camada de 0-10cm das classes de uso e cobertura estudadas (Tabela 9) e na parte aérea da vegetação arbórea (Tabela 10).

Tabela 7 - Características químicas da camada de 0-10 cm das principais classes de uso do solo na propriedade estudada

Ambientes	pH H ₂ O		P		K		Ca ²⁺		Mg ²⁺		Al ³⁺		H+Al		SB		t	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
	(mg/dm ³)				(cmolc/dm ³)													
Pastagem	4.69	0.08	1.03	0.15	22.33	1.15	0.34	0.08	0.11	0.02	1.24	0.06	8.23	0.29	0.51	0.11	1.75	0.16
FES	4.10	0.10	2.47	0.51	39.00	5.29	0.15	0.05	0.12	0.02	2.21	0.32	10.70	1.73	0.38	0.03	2.59	0.30
Topo face leste	4.51	0.19	1.70	0.10	39.67	3.06	0.50	0.13	0.32	0.12	1.30	0.25	9.53	0.57	0.92	0.22	2.22	0.21
Pasto sujo																		
oeste	4.65	0.10	1.17	0.23	21.00	2.00	0.36	0.04	0.11	0.02	1.07	0.10	6.70	0.66	0.52	0.06	1.59	0.12
Bosque oeste	4.78	0.13	1.53	0.42	33.00	2.00	1.10	0.31	0.64	0.19	0.78	0.26	8.40	0.78	1.83	0.49	2.61	0.24
Bosque Jacaré	4.86	0.05	1.70	0.10	29.67	3.06	1.74	0.43	0.82	0.19	0.45	0.20	7.60	0.46	2.64	0.62	3.09	0.42
Floresta Grota	4.85	0.12	1.20	0.10	31.00	9.17	1.12	0.30	0.56	0.08	0.49	0.20	6.87	0.64	1.76	0.37	2.24	0.18
Bosque leste	5.43	0.20	1.23	0.15	39.67	9.45	1.74	0.41	1.10	0.18	0.13	0.23	5.13	1.27	2.94	0.61	3.07	0.44
Pasto Sujo face																		
leste	4.99	0.03	1.23	0.42	23.67	5.03	0.48	0.18	0.16	0.06	1.04	0.25	6.30	0.70	0.70	0.24	1.74	0.34
Quintal 1	5.22	0.25	2.30	0.20	45.00	5.29	1.94	0.49	0.76	0.24	0.26	0.11	5.50	0.17	2.81	0.73	3.07	0.62
Quintal 2	5.02	0.40	2.43	3.94	51.67	41.33	1.77	0.64	0.86	0.23	0.42	0.46	5.50	1.05	2.76	0.98	3.19	0.57
Horta	5.06	0.40	6.07	3.94	105.00	41.33	1.76	0.64	0.64	0.23	0.36	0.46	5.30	1.05	2.67	0.98	3.03	0.57
SAF	5.08	0.08	2.13	0.40	46.33	4.16	1.57	0.31	0.68	0.08	0.32	0.06	5.30	0.44	2.38	0.39	2.70	0.33

Tabela 7 – Continuação...

Ambientes	T		V		m		COT		P-Rem		Cu		Mn		Fe		Zn	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
	(%)				(mg/dm ³)													
Pastagem	8.74	0.27	5.83	1.24	71.03	3.52	2.49	0.16	17.10	1.18	1.14	0.11	6.63	0.90	132.43	45.42	0.57	0.03
FES	11.08	1.72	3.47	0.81	85.23	2.64	2.86	0.28	19.80	2.21	1.06	0.13	3.13	0.55	170.77	5.64	0.73	0.13
Topo face leste	10.46	0.36	8.90	2.41	58.40	8.94	2.65	0.36	19.37	0.38	1.37	0.36	14.40	3.12	140.97	27.89	1.02	0.07
Pasto sujo face																		
oeste	7.22	0.67	7.23	0.97	67.37	3.16	2.08	0.31	20.73	2.24	1.18	0.31	11.20	3.58	106.00	14.39	0.58	0.12
Bosque oeste	10.23	0.32	17.97	5.22	30.70	13.06	2.63	0.13	22.63	4.06	1.27	0.03	34.07	10.11	85.27	11.83	1.09	0.14
Bosque Jacaré	10.24	0.26	25.70	5.64	15.50	9.13	2.29	0.40	23.90	3.29	1.25	0.11	51.03	5.39	60.97	10.85	1.22	0.24
Floresta Grota	8.62	0.38	20.43	4.70	22.20	10.21	2.16	0.15	24.00	2.72	2.53	0.62	65.00	1.25	148.17	36.51	2.86	0.63
Bosque face																		
leste	8.07	0.89	36.90	9.40	4.73	8.20	2.08	0.50	29.73	2.97	1.64	0.35	69.27	11.36	82.40	18.42	1.59	0.24
Pasto Sujo leste	7.00	0.88	9.83	2.68	60.17	11.36	2.03	0.04	18.93	1.67	1.38	0.10	17.00	3.40	134.10	41.70	0.61	0.06
Quintal 1	8.31	0.67	33.47	6.47	9.37	6.18	2.08	0.41	27.47	2.48	1.60	0.21	58.30	11.34	80.63	26.64	1.55	0.51
Quintal 2	8.26	0.15	32.77	12.40	14.97	17.82	1.77	0.72	28.53	3.32	1.10	0.13	53.20	3.10	52.80	20.41	1.48	1.37
Horta	7.97	0.15	33.57	12.40	13.63	17.82	2.36	0.72	31.63	3.32	1.47	0.13	61.17	3.10	96.93	20.41	3.09	1.37
SAF	7.68	0.44	30.93	4.64	12.30	3.90	1.75	0.04	31.23	1.42	1.36	0.47	76.90	11.71	62.60	28.25	2.05	0.69

Tabela 8 - Características físicas da camada 0-10cm das principais classes de uso e ocupação do solo na propriedade estudada.

Ambientes	Areia Grossa		Areia Fina		Silte		Argila		Classificação
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP	
	(kg/kg)								
Pastagem	0.18	0.01	0.13	0.01	0.06	0.05	0.63	0.04	Muito Argilosa
FES	0.23	0.02	0.14	0.01	0.06	0.01	0.56	0.02	Argila
Topo face									
leste	0.19	0.01	0.14	0.01	0.10	0.01	0.57	0.02	Argila
Pasto sujo									
face oeste	0.20	0.02	0.16	0.02	0.10	0.03	0.54	0.02	Argila
Bosque face									
oeste	0.26	0.02	0.13	0.02	0.08	0.02	0.53	0.02	Argila
Bosque									
Jacaré	0.26	0.03	0.18	0.01	0.05	0.04	0.51	0.02	Argila
Floresta									
Grota	0.24	0.04	0.16	0.01	0.12	0.03	0.49	0.02	Argila
Bosque face									
leste	0.28	0.02	0.18	0.01	0.12	0.02	0.42	0.03	Argilo-Arenosa
Pasto Sujo face									
leste	0.19	0.01	0.13	0.02	0.12	0.01	0.56	0.03	Argila
Quintal 1	0.28	0.02	0.15	0.01	0.09	0.01	0.48	0.02	Argila
Quital 2	0.27	0.05	0.23	0.02	0.08	0.03	0.42	0.05	Argilo-Arenosa
Horta	0.35	0.02	0.20	0.01	0.08	0.02	0.37	0.04	Argilo-Arenosa
SAF	0.28	0.01	0.17	0.01	0.11	0.00	0.44	0.01	Argila

Tabela 9 - Estoque de carbono orgânico na camada 0-10 cm de solos sob os principais tipos de uso identificados na propriedade estudada em 2019 em área de pasto limpo da propriedade vizinha.

Uso e Cobertura	Ds (g/cm ³)	COT (g/kg)	Estoque C (Mg/ha)
Floresta Estacional			
Semidecidual	1,01	28,6	28,9
Regeneração de topo			
face leste	1,01	26,5	26,8
Bosque face oeste	1,25	26,3	32,9
Pastagem	1,01	24,9	25,1
Bosque de Jacaré	1,09	22,9	25,0
Mata ciliar	1,11	21,6	24,0
Bosque face leste	1,10	20,8	22,9
Pasto Sujo face oeste	1,20	20,8	25,0
Pasto sujo face leste	1,20	20,3	24,4
Quintais	1,2	19,3	23,1
Horta	1,2	23,6	28,3
Agrofloresta	1,35	17,5	23,6

Tabela 10 - Volume de biomassa e estoque de carbono orgânico na parte aérea do estrato arbóreo das diferentes fisionomias de regeneração natural estudadas.

Uso e Cobertura	V (m ³ /ha)	Estoque C (Mg/ha)
FES	350,7	93,6
Mata ciliar	134,8	36,0
Bosque de Jacaré	117,2	31,3
Bosque face leste	47,7	12,7
Bosque face oeste	46,6	12,4

Regeneração de topo face leste	28,7	7,7
Pasto Sujo face oeste	24,0	6,4
Pasto Sujo face leste	14,7	3,9

4.5.2 Cenário de 2004.

Para o cálculo do estoque de C orgânico nos solos e na parte aérea, utilizou-se: i) os valores de densidade do solo e de COT obtidos em 2019 para a FES e mata ciliar; ii) a média dos valores obtidos em 2019 para pasto sujo e; iii) os valores obtidos para a área de pastagem amostrada na propriedade vizinha, que busca representar a área de pastagem em 2004.

A estimativa do C orgânico estocado na camada de 0-10 cm dos solos da propriedade é de 532,23 Mg/ha, sendo que cerca de 70% deste estoque se deve aos solos sob pastagem (Tabela 11). O solo da área de FES é o que apresentou o maior valor de C orgânico por hectare estocado nos primeiros 10 cm de solo, seguida pela área de pastagem, pasto sujo e mata ciliar, que apresentaram valores semelhantes entre si.

Para o cálculo do C orgânico na biomassa aérea do estrato arbóreo, utilizou-se para FES o valor encontrado em 2010 por Amaro (2013) para fragmento de FES em estágio médio, no município de Viçosa, em condições ecogeográficas muito semelhantes ao fragmento de FES presente na propriedade estudada no presente trabalho. Para as áreas de pasto sujo, utilizou-se a média dos valores encontrado para fisionomias semelhantes presentes em 2019 (pasto sujo face leste e pasto sujo face oeste). Para a floresta de grota, utilizou-se o valor encontrado para esta fisionomia em 2019.

Tabela 11 - Estimativa do C orgânico presente nos primeiros 10 cm de solo, na fitomassa aérea do estrato arbóreo e valores totais de C orgânico presentes nestes compartimentos em 2004, na propriedade estudada.

Uso	Área total	Corg solo	Corg arbóreo	Corg total solo	Corg Arbóreo Total arbóreo	Corg total
-----	------------	-----------	--------------	-----------------	----------------------------	------------

	ha	Mg/ha		Mg		
FES	4,48	28,9	76,0	129,47	340,5	469,95
Pastagem	15	25,1	0	376,50	0	376,50
Pasto Sujo	0,57	24,6	5,2	14,02	3,0	16,99
Floresta de grotá	0,51	24	37,2	12,24	19,0	31,21
Total	20,5	-	-	532,23	362,4	894,65

4.5.3 Cenário de 2019

Para o cálculo do estoque de C orgânico nos solos e na parte aérea (Tabela 12), utilizou-se os valores obtidos das análises de solo e do inventário florestal. Para as áreas de pasto sujo, incluindo porções não inventariadas, utilizou-se os valores médios de C orgânico no solo e na biomassa aérea. Para os quintais e SAF, utilizou-se o valor médio de biomassa aérea médio encontrado para as áreas de pasto sujo, uma vez que não houve quantificação de biomassa aérea nos quintais ou no SAF. Para a horta, considerou-se a ausência de estrato arbóreo.

Para os valores de C orgânico por hectare no solo, observa-se que as áreas de bosque face oeste apresentou o maior valor, seguida pelo fragmento de FES e pela horta, que apresentaram valores semelhantes entre si. Em relação ao estoque total no solo, a área de pasto sujo é a que apresenta o maior estoque, seguida pelo fragmento de FES. Dentre as áreas em regeneração natural, o bosque de jacaré é a fisionomia com o terceiro maior estoque absoluto de C orgânico do solo. Em relação às áreas sob uso produtivo, os quintais se destacam como a classe de uso com maior estoque total de C orgânico nos primeiros 10cm de solo, sendo superior ao do bosque de jacaré.

Já para o carbono orgânico na fitomassa aérea do estrato arbóreo, obteve-se o valor de 96,4 Mg/ha de carbono para a FES, que é apresenta o maior reservatório por hectare. As áreas

de floresta de grota e bosque de jacaré, respectivamente, são as que apresentaram os maiores valores de carbono estocado, depois da FES (Tabela 12). Os bosques de ambas as encostas apresentaram valores muito semelhantes entre si (aproximadamente 12 Mg/ha). A regeneração de topo e o pasto sujo apresentaram 7,7 e 5,2 Mg/ha de carbono.

Tabela 12 - Estimativa do C orgânico presente nos primeiros 10 cm de solo, na fitomassa aérea do estrato arbóreo e valores totais de C orgânico presentes nestes compartimentos em 2004, na propriedade estudada.

Uso	Área	Corg solo	Corg arbóreo	Corg solos total	Corg Arbóreo Total	Corg total
	ha	Mg/ha		Mg		
Floresta Secundária	4,4	28,9	96,4	127,16	424,16	555,1
Pasto sujo	5,7	24,6	5,2	140,22	29,64	177,8
Floresta de grotá	1,4	24	37,2	33,6	52,08	85,7
Quintais	2,5	23,1	5,2	57,75	13	77,8
Agrofloresta	0,3	24,6	5,2	7,38	1,56	9,8
Bosques face oeste	0,7	32,9	12,4	23,03	8,68	12,4
Bosque face leste	0,7	22,9	12,7	16,03	8,89	12,7
Bosque de Jacaré	1,8	25	31,3	45	56,34	101,8
Regeneração de topo face leste	1	26,8	7,7	26,8	7,7	34,8
Horta	0,2	28,3	0	5,66	0	6,2
Outros	1,5	0	0	0	0	0
Total	20,5	-	-	482,63	602,05	1084,68

5. DISCUSSÃO

No ano de 2004, a propriedade apresentava características típicas das pequenas propriedades da Zona da Mata, com cerca de 73 % da área coberta com pastagens em processo de degradação e remanescentes de floresta estacional semidecidual ocupando próximo a 22 % da propriedade. Até 2004, a propriedade vinha sendo manejada para fornecimento de pastagem para gado de corte criado de forma extensiva. O manejo era basicamente “bater o pasto” e conduzir os animais. Esta pecuária de baixo investimento e de baixo retorno é amplamente presente na Zona da Mata e na bacia do São Bartolomeu (UFMG, 2018). Não havendo condições de maiores investimentos, os pastos gradualmente vão perdendo sua capacidade de suporte. Portanto, para se entender melhor a situação da propriedade em 2004, basta olhar no entorno atual, as propriedades típicas da região.

Formigoni (2018), reporta que na bacia do rio Doce a cobertura vegetal é composta de mosaico de vegetação florestal e agropecuária, incluindo pastagem plantada, silvicultura, vegetação florestal, pastagem natural, corpos d’água, área agrícola, área artificial, vegetação campestre e mosaico de vegetação campestre e agricultura. Estudos da bacia do São Bartolomeu (UFMG, 2018), indicam que as pastagens degradadas, com manchas de solos expostos, ocupam cerca de 38 % da paisagem.

Do ponto de vista da funcionalidade ecológica da propriedade em 2004, tem-se alguns elementos importantes: i) ausência de mata ciliar de córregos e nascentes; ii) encostas íngremes em processo de erosão acelerada; iii) falta de áreas com cobertura arbórea e arbustiva; iv) baixa biodiversidade; v) secamento de córregos e nascentes; vi) presença de gado nos córregos e nascentes.

A partir de 2004, pode-se dizer que a propriedade vem passando por um processo de transição agroecológica. Conforme COSTABEBER (1998), a transição agroecológica pode ser definida como a transição do modelo tradicional de produção para um mais desenvolvido na perspectiva da proteção dos recursos naturais, sendo uma das características principais desse processo, assumir o caráter biofísico e ambiental para as práticas agrárias. Portanto, é mais sustentável a médio e longo prazo. Neste sentido, o manejo da propriedade adotou princípios agroecológicos tendo como objetivo principal a regeneração ecológica da microbacia, seus corpos d’água e as áreas de recarga. Cerca de 50 % da área (10 ha) foram destinados à regeneração natural e foram implantadas diversas técnicas de plantio de água. A outra porção foi destinada a um uso mais intensivo, que abriga as residências, vias de acesso, áreas de lazer, quintais e sistemas de produção de alimentos. Foram sendo implantados ao longo do tempo

quintais agroflorestais interligando as áreas privativas, e sistemas agroecológicos de produção de hortas e culturas anuais e sistemas agroflorestais para recuperação de mata ciliar.

Na busca pela conservação ambiental, Uzêda et al. (2017) destacam duas abordagens bastante debatidas na literatura. O *land sparing* (poupar terras), que considera que o aumento da produtividade localizada em áreas específicas reduziria a pressão da agricultura sobre os remanescentes de áreas naturais e a sua conversão dos ecossistemas naturais em áreas produtivas (GARNETT et al., 2013; TSCHARNTKE et al., 2012). Esta abordagem reforça a ideia da necessidade da definição de áreas voltadas estritamente para a preservação. Já o *land sharing*, é uma abordagem que prevê o compartilhamento da terra por usos que consigam compatibilizar a produção com o aumento da biodiversidade e a geração de múltiplos serviços ecossistêmicos (UZÊDA et al., 2017). Pode se dizer que na propriedade estudada no presente trabalho, o manejo integra as duas abordagens descritas anteriormente, ao definir uma área estrita para regeneração, dada a sua importância na funcionalidade ecológica da microbacia (encostas e topos no entorno das nascentes) e uma área para manejo mais intensivo, agroecológico, visando a multifuncionalidade da paisagem.

O conjunto de princípios e práticas de manejo adotados desde 2004, configuram o que denominamos manejo agroecológico da propriedade. Parte-se de um olhar sistêmico da propriedade, buscando como resultados diretos não só para a produção de alimentos, mas também para a geração de serviços ambientais buscando a formação de paisagens multifuncionais (UZÊDA et al., 2017). É relevante destacar que no caso da propriedade estudada, os proprietários não dependem do uso da terra para obtenção da sua renda ou sustento, o que favorece que o manejo possa priorizar outros benefícios, que não trazem retorno econômico direto. Entendendo que os benefícios gerados nas paisagens rurais vão além dos limites das propriedades, tem-se todo o debate acerca de medidas que possam reconhecer, valorizar e apoiar iniciativas de manejo agroecológico das propriedades rurais, tais como as políticas de pagamento por serviços ambientais, créditos de carbono, entre outras.

Em 2004, tinha-se apenas 4 classes de uso: Floresta Secundária (4,98 ha), Floresta de Grota (0,51 ha), Regeneração Inicial (0,57 ha) e Pastagem (15 ha). A partir do manejo agroecológico, após 15 anos, toda a área de pastagem foi substituída por diferentes tipos de uso. Tirando as áreas ocupadas hoje por residências, vias de acesso, estacionamento e áreas de lazer, a área que era de pastagem foi ocupada principalmente por diferentes fisionomias de sucessão ecológica inicial e uma menor parte por sistemas agroflorestais e pequena área de cultivo anual. Observa-se a regeneração da mata ciliar e nas encostas, com a formação de corredores arbustivo-arbóreos conectando ao fragmento mais antigo no topo do divisor leste

da propriedade. Atualmente, cerca de 14,5 ha (70,5%) da propriedade são cobertos por algum tipo de cobertura arbórea, presente em sistemas agroflorestais (incluindo os quintais), matas ciliares, diferentes fisionomias de regeneração em estágio inicial de sucessão e no fragmento mais antigo, de floresta estacional semidecídua em estágio médio de regeneração. Com isso, tem-se a formação de corredores arbóreos interligando as áreas de topo com as matas ciliares.

A regeneração florestal de áreas antes utilizadas como pastagem potencializa o fornecimento de serviços ecossistêmicos. Segundo Lopes (2019), o estabelecimento de uma floresta secundária em pastagens degradadas melhora a qualidade do solo, aumentando os valores de macroporosidade, infiltração de água no solo e armazenamento de carbono. A sucessão florestal leva à recuperação dos nutrientes do solo e do estoque de carbono. Lopes (2019), ainda evidenciou o papel potencial das florestas secundárias em restaurar a diversidade de árvores e as funções do solo, considerando a sucessão florestal secundária como estratégia viável e eficiente para aumentar a cobertura vegetal florestal e melhorar a conservação da biodiversidade e o fornecimento dos serviços ecossistêmicos. Teixeira (2019), aponta que a ciclagem de carbono e nutrientes se recuperou rapidamente nos primeiros 15 anos de sucessão em áreas de floresta atlântica semidecidual na região da Zona da Mata mineira. Neste mesmo estudo, os atributos da vegetação secundária convergem para valores encontrados nas florestas primárias e a diversidade estrutural foi fator determinante da ciclagem de carbono e nutrientes da área (Teixeira, 2019).

A conversão da pastagem em outros tipos de uso de maior biodiversidade e com cobertura arbóreo-arbustiva é a principal alteração em termos do funcionamento ecológico da paisagem contida na propriedade em relação a três aspectos de grande relevância: i) conservação do solo e da água; ii) sequestro de carbono atmosférico e; iii) aumento da biodiversidade.

Em relação à conservação do solo e da água, a substituição da pastagem por fisionomias com maior densidade de elementos arbóreos favorece a redução da velocidade das águas superficiais e reduz a erosão do solo. Com isso, tem-se maior infiltração de água e abastecimento do lençol freático. Todavia, há estudos que mostram que o crescimento da vegetação secundária também aumenta a evapotranspiração da água do solo, reduzindo o abastecimento do lençol (GOMES, 2020). Além da revegetação natural das encostas, as tecnologias de plantio de água como terraços, caixas secas e caixas cheias, também favorecem a retenção de água no solo e a regularização da vazão nos períodos de seca.

Quanto aos impactos da substituição das pastagens sobre as características químicas dos solos, os resultados indicam que a sucessão ecológica e maior produção de biomassa aérea

umenta a ciclagem de nutrientes, porém o teor de carbono orgânico no solo permanece próximo ao das pastagens, indicando um sistema dinâmico de transformação de matéria e utilização da energia pelos seres vivos. Os bosques, sistemas de maior produção de biomassa com regeneração de estrato arbóreo-arbustivo mais avançada em relação aos pastos sujos, apresentam camada superficial de melhor fertilidade natural, aproximando-se das áreas sob cultivo (quintais, horta e SAF). Isto pode ser em função da liberação de nutrientes pela ciclagem da biomassa ou possivelmente algum tipo de influência de rochas máficas na formação dos solos, visto que são comuns diques de diabásio em meio ao saprolito de gnaiss. De toda forma, a maior fertilidade favorece a atividade dos microrganismos decompositores e pode reduzir o teor de C do solo.

Os resultados mostram poucas diferenças nos teores médios de carbono orgânico nos solos das diferentes classes de uso. O solo do fragmento de floresta estacional mais avançado apresenta os maiores valores de COT (2.9 dag/kg), e menores valores de pH. Os baixos níveis de nutrientes e alta atividade de Al^{3+} são fatores que inibem a atividade microbiana e favorecem a formação de complexos orgânicos ricos em alumínio que favorece a permanência da matéria orgânica no solo. O solo da pastagem da área vizinha apresenta valor próximo ao da mata (2.5 dag/kg). As demais fisionomias de sucessão apresentam teores de carbono na camada superficial inferior ao da pastagem e pastos sujos, apesar da maior produção de biomassa pelos estratos arbustivo e arbóreo. Mesmo as áreas sobre manejo para a produção (quintais e hortas) apresentaram valores de COT similares ou menores que a pastagem. A área de SAF, onde há o manejo contínuo de produção de biomassa e deposição no solo, apresentou o menor teor de COT entre todas as áreas.

Em relação ao sequestro de carbono atmosférico, estima-se que aproximadamente 40% das emissões históricas de dióxido de carbono para a atmosfera dos últimos dois séculos e cerca de 20% das emissões deste mesmo gás na década de 90 foram originadas de mudanças no uso dos solos, principalmente relacionadas ao desflorestamento para implantação de atividades agrícolas (MACHADO, 2005). Estudos têm demonstrado que converter pastagens em áreas florestadas promove o sequestro de carbono, sendo uma alternativa de grande relevância para mitigação das mudanças climáticas globais (ANDRADE; ROMEIRO, 2009).

Para o ano de 2004, o estoque de carbono orgânico estimado foi de 894,3 Mg, considerando a camada de 10 cm do solo e apenas a parte viva aérea das plantas. Estima-se que cerca de 60% (532,23 Mg) deste carbono encontrava-se armazenado nos primeiros 10cm de solo e 40% (362,4) Mg na biomassa vegetal. Considerando-se a área total da propriedade (20,5 ha), a estimativa de estoque de carbono orgânico por hectare para 2004 é de 45,7 Mg/ha (sendo

25,6 Mg/ha de COT no solo até 10 cm e 20,1 Mg/ha de carbono na parte aérea). Praticamente todo o carbono da fitomassa arbórea se encontrava restrito ao fragmento de FES em estágio médio, no topo da paisagem. A maior parte (70%) do carbono estocado no solo estava sob pastagem, que apresentava cerca de 25,1 Mg/ha de carbono orgânico no solo. Este valor é muito próximo ao encontrado por Oliveira et al (2017) para pastagem degradada na Zona da Mata mineira (26,2 Mg/ha).

Para o ano de 2019, foi estimado o estoque de 1084,7 Mg de carbono, indicando o sequestro de aproximadamente 190 Mg ao longo de 15 anos de regeneração. Os dados indicam uma redução do estoque de carbono no solo, indicando uma emissão de cerca de 50 Mg. Já a fitomassa aérea acumulou cerca de 240 Mg de carbono. Destes, 85Mg foram atribuídos ao crescimento do fragmento mais avançado (FES), que embora tenha mantido a mesma área que em 2004, é esperado o aumento do volume de sua população arbórea. Cerca de 155 Mg de carbono foram absorvidos na demais fisionomias e usos presentes. Excluindo-se a área de FES e de outras estruturas, como estrada etc., estima-se uma taxa de sequestro de carbono anual de 0,6 Mg/ha ao longo dos últimos 15 anos, considerando a propriedade como um todo.

Considerando-se as diferentes fisionomias, tem-se a seguinte ordem decrescente de acúmulo de carbono orgânico na fitomassa aérea após 15 anos de regeneração: floresta de grota (37,2 Mg/ha ou 2,5 Mg/ha.ano⁻¹); bosque de jacaré (31,3 Mg/ha ou 2,15 Mg/ha.ano⁻¹); FES (21,5Mg/ha ou 0,6 Mg/ha.ano⁻¹); bosques face leste e oeste (12 Mg/ha ou 0,9 Mg/ha.ano⁻¹); regeneração de topo (7.7 Mg/ha ou 0,5 Mg/ha.ano⁻¹); e pasto sujo (5,2 Mg/ha ou 0,4 Mg/ha.ano⁻¹). Em termos absolutos, a FES estágio médio é o principal reservatório de carbono orgânico na parte aérea arbórea, sendo estimado o estoque de 96,4 Mg/ha.

Durigan (2006) estudando área de Floresta Estacional Semidecidual madura no estado de São Paulo, encontraram uma estimativa de 80 Mg/ha de carbono. Já Ferez (2010), encontrou um estoque de 138 Mg/ha para uma área de Floresta Mesófila Semidecidual, também em São Paulo. Gaspar et al (2014) encontraram valor menor (58,3 Mg/ha), para Floresta Estacional Semidecidual Montana em Minas Gerais. A estimativa de estoque de carbono para o fragmento de FES estudado no presente trabalho (96,4 Mg/ha) é próxima ao valor encontrado por Amaro (2013) em fragmento semelhante na mesma bacia, no município de Viçosa, no ano de 2010 (76 Mg/ha).

Em termos dos estágios mais iniciais de regeneração, o bosque de jacaré e a floresta de grota apresentaram estimativas de estoque de carbono (32,2 Mg/ha e 37,2 Mg/ha, respectivamente) superiores ao relatado por Ribeiro et al (2010), para áreas de capoeira de

FES Montana em Minas Gerais. Já Tiepolo et al. (2002) estimaram valores de 42,89 Mg/ha de carbono em floresta secundária jovem no Paraná.

Em relação à biodiversidade, a partir dos dados do inventário florestal para o estrato herbáceo das áreas de pasto sujo, observa-se que a ocorrência de 9 espécies. Pensando que cerca de 15 ha da propriedade em 2004 eram cobertas com pasto limpo, pode-se inferir que o número de espécies era ainda menor naquele momento, nas áreas de pasto. Com a regeneração natural, passam a ocorrer espécies arbóreas e arbustivas, introduzindo de 18 espécies nas áreas de pasto sujo, chegando até 36 espécies arbóreas ou arbustivas na área de floresta de grota. O bosque de jacaré a fisionomia com o segundo maior número de espécies arbóreo-arbustivas (25).

A regeneração natural levou ao expressivo aumento da biodiversidade vegetal devido a ocorrência de estrato arbustivo e arbóreo. Como isso, tem-se a ampliação da diversidade de nichos ecológicos para diversas espécies da fauna. A maior produção de biomassa e sua deposição e decomposição nos solos e a presença de sistemas radiculares mais profundos também indicam o provável aumento da diversidade de microfauna do solo.

O aumento da biodiversidade é um dos pontos fundamentais para se buscar a multifuncionalidade da paisagem, pois consolidam matrizes agrícolas de maior qualidade, sendo as mesmas compostas por sistemas mais produtivos, sistemas que fornecem abrigo, permitem o trânsito entre as espécies e asseguram a manutenção dos serviços ecossistêmicos, sendo gerenciados de forma a aumentar a produtividade e reduzir os impactos ambientais no ambiente.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Enquanto uma pesquisa exploratória, os resultados indicam que após 15 anos de manejo agroecológico tem-se uma paisagem atual com maior funcionalidade ecológica do que há 15 anos atrás. A partir de uma área de pastagem degradada, da qual se obtinha principalmente serviços ecossistêmicos de provisão (ex: engorda do gado, produção de leite), tem-se hoje uma paisagem multifuncional, a partir da regeneração de funções ecossistêmicas ligadas à regulação (ex: redução da erosão e aumento da infiltração; aumento do estoque de carbono orgânico; aumento da ciclagem de nutrientes) e habitat (ex: diversidade de nichos ecológicos), mantendo-se também a provisão (ex: hortas e quintais agroecológicos, SAF etc.). A propriedade, atualmente, também oferece serviços ecossistêmicos culturais, uma vez que é usada como local para visitas de interpretação e educação ambiental.

A regeneração natural da propriedade, após 15 anos, levou à substituição total da pastagem por 8 tipos de fisionomias, com diferentes características em termos de estrato arbustivo e arbóreo, condicionadas por características do relevo como declividade, geoforma e face de exposição. Com isso, tem-se atualmente maior conexão entre as áreas de mata bem como a proteção das nascentes e córregos por vegetação arbórea. A mata ciliar, ao longo das grotas, é a fisionomia que apresentou maior volume de biomassa acumuladas nestes 15 anos, seguida pelo bosque com monodominância de “Pau Jacaré”. Não foram encontradas evidências de diferenciação expressiva da camada de 0-10 cm do solo em função da regeneração natural das áreas de pastagem. Estima-se ao longo de 15 anos o sequestro de cerca de 190 Mg de carbono orgânico atmosférico, estocado totalmente na parte aérea do estrato arbustivo

Os resultados do presente trabalho são úteis para a elaboração de políticas públicas e mecanismos de incentivo e apoio para que outras propriedades possam implementar lógicas de manejo que possam melhorar a funcionalidade ecológica de paisagens mais extensas. São necessários estudos mais detalhados, que considerem aspectos deixados de fora do presente trabalho (ex: sequestro e estoque de carbono em outros compartimentos), para que se possa quantificar de forma mais precisa os benefícios obtidos pelo manejo agroecológico das propriedades.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaro, M. A; Soares, C. P. B; De Souza, A. L; Leite, H. G; Da Silva, G. F. Estoque volumétrico, de biomassa e de carbono em uma floresta estacional semidecidual em Viçosa, Minas Gerais. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.37, n.5, p.849-857, 2013.

Andrade, D. C; Romeiro, A. R; Fasiaben, M. do C. R; Garcia; J. R. Dinâmica do uso do solo e valoração de serviços ecossistêmicos: notas de orientação para políticas ambientais. *Desenvolvimento e Meio ambiente*, n. 25, p. 53-71, jan. /jun. 2012. Editora UFPR.

Andrade, D. C. *MODELAGEM E VALORAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS: UMA CONTRIBUIÇÃO DA ECONOMIA ECOLÓGICA*. Tese de Doutorado apresentada ao Instituto de Economia da UNICAMP para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento Econômico – área de concentração: Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente Campinas, 2010.

Andrade, D. C; Romeiro, A. R. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema Econômico e o bem-estar humano. *Texto para Discussão*. IE/UNICAMP, Campinas, n. 155, fev. 2009.

Bioindicadores de qualidade e de impactos ambientais da atividade Agropecuária Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.21, n.202, p.1-2, jan. /fev. 2000.

Carlos A. Joly Célio F. B. Haddad Luciano M. Verdade Mariana Cabral de Oliveira Vanderlan da Silva Bolzani Roberto G. S. Berlinck. Diagnóstico da pesquisa em biodiversidade no Brasil *REVISTA USP*, São Paulo, n.89, p. 114-133, março/maio 2011.

Cassano, C. R; Schoroth, G; Faria, D; Delabie, J. H. C; Bede, L. Landscape and farm scale management to enhance biodiversity conservation in the cocoa producing region of southern Bahia, Brazil *Biodivers Conserv* (2009) 18:577–603.

CASTRO, L. M. O Santo Daime como catalisador das relações e estilo de vida dos moradores de uma ecovila de Viçosa-MG. Dissertação de Mestrado. PPG Economia Doméstica, Universidade Federal de Viçosa. 2014.

Cleber, J. R. Importância da biodiversidade para a saúde humana: uma perspectiva ecológica. *Alho estudos avançados* 26 (74), 2012.

Costa, F. de S; Bayer, C; Zanatta, J. A; Mielniczuk, J. ESTOQUE DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO E EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO INFLUENCIADAS POR SISTEMAS DE MANEJO NO SUL DO BRASIL.

Costa, O. V; Cantarutti, R. B; Fontes, L. E. F; Da Costa, L. M; Nacif, P. G. S; Faria, J. C. ESTOQUE DE CARBONO DO SOLO SOB PASTAGEM EM ÁREA DE TABULEIRO COSTEIRO NO SUL DA BAHIA.

Costa, T. A; Soares, V. P; Ribeiro, C. A. A. C; Gleriani, J. M. Conflitos de Uso da Terra na Microbacia do São Bartolomeu – Viçosa, MG. Floresta e Ambiente 2013.

Costabeber, J. Acción colectiva y procesos de transición agroecológica en Rio Grande do Sul, Brasil. Programa de Doctorado en Agroecología, Campesinado e História. Instituto de Sociología y Estudios Campesinos. Universidad de Córdoba (España), 1998.

Daily, G. C; Matson, P. A. Ecosystem services: From theory to implementation. PNAS _ July 15, 2008 _ vol. 105 _ no. 28 _ 9455–9456

De Carvalho, D. W. Os serviços ecossistêmicos como medidas estruturais para prevenção dos desastres. Revista de Informação Legislativa Ano 52 Número 206 abr./jun. 2015.

Domingues, S; Contini, R; Maia, M; Farina, E; Gabardo, G; Ribeiro, A. CONHECIMENTO AGROECOLÓGICO ATRAVÉS DA EXPERIMENTAÇÃO DA CROMATOGRAFIA DE PFEIFFER, UMA ANÁLISE QUALITATIVA DOS SOLOS. Revista da 15ª Jornada de Pós-graduação e Pesquisa. ISSN: 2526-4397. Congrega Urcamp, vol. 15, nº15, 2018.

Fernandes, F. A; Fernandes, A. H. B. M. Atualização dos Métodos de Cálculo dos Estoques de Carbono do Solo sob Diferentes Condições de Manejo. *ISSN 1981-7231. Dezembro, 2013 Corumbá, MS.*

Ferreira, D. A. C; Dias, H. C. T. SITUAÇÃO ATUAL DA MATA CILIAR DO RIBEIRÃO SÃO BARTOLOMEU EM VIÇOSA, MG. R. *Árvore*, Viçosa-MG, v.28, n.4, p.617-623, 2004.

Fiorella, K; Gurney, C; Leong, M; Stillinger, T. Nature's Matrix: Linking Agriculture, Conservation and Food Sovereignty, by Perfecto, Ivette, John Vandermeer, and Angus Wright, *Journal of Sustainable Agriculture*, 34:8, 923-925. 2010.

Formigoni, M. de O. ANÁLISE TEMPORAL DA VEGETAÇÃO ASSOCIADA À ESTIMATIVA DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL POR SENSORIAMENTO REMOTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal. Alegre, 2018.

Garcia, A. S; Ballester, M. V. R. Land cover and land use changes in a Brazilian Cerrado landscape: drivers, processes, and patterns, *Journal of Land Use Science*, 2016.

Gaspar, R. O. et al. ANÁLISE FITOSSOCIOLÓGICA E DO ESTOQUE DE CARBONO NO ESTRATO ARBÓREO DE UM FRAGMENTO DE FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 24, n. 2, p. 313-324, abr.-jun., 2014.

Gomes, L. C. Land use change and ecosystem services: linking social and ecological systems across time. Submitted in fulfilment of the requirements for the degree of doctor at Wageningen University, May 2020.

Gomes, M. A; Lani, J. L; Da Costa, L. M; Pontes, L. M; De Figueiredo, N. A; Bardales, N. G. SOLOS, MANEJO E ASPECTOS HIDROLÓGICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARAÚJOS, VIÇOSA – MG. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.36, n.1, p.93-102, 2012.

Heather Tallisa and Stephen Polaskyb. Mapping and Valuing Ecosystem Services as an Approach for Conservation and Natural-Resource Management. The Natural Capital Project,

Woods Institute for the Environment, Stanford University, Stanford, California, USA
Department of Applied Economics, Department of Ecology, Evolution & Behavior, University of Minnesota, St. Paul, Minnesota, USA.

Higa, R. C. V; Cardoso, D. J; Andrade, G. de C; Zanatta, J. A; Rossi, L. M. B; Pulrolnik, K; Nicodemo, M. L. F; Garrastazu, M. C; Vasconcelos, S. S; Salis, S. M. Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal Embrapa Florestas Colombo, PR, 2014.

ISAVIÇOSA. Relatório Final do Inventário Florestal do Sítio Palmital, Viçosa-MG. Senna, Davi (Coord.) Instituto Socioambiental de Viçosa. 2021. 137p.

Jordão, C. P; Ribeiro, P. R. S; Matos, A. T; Bastos, R. K. X; Fernandes, R. B. A; Fontes, R. L. F. Environmental assessment of water-courses of the Turvo Limpo River basin at the Minas Gerais State, Brazil. *Environ Monit Assess* (2007) 127:315–326.

Kennedy, C. M; Hawthorne, P. L; Miteva, D. A; Baumgarten, L; Sochi, K; Marsumoto, M; Evans, J. S; Polasky, S; Hamel, P; Bieira, E. M; Develey, P. F; Sekercioglu, C. H; Davidson, A. D; Uhlhorn, E. M, Kiesecker, J; Kennedy, C. M. Optimizing land use decision-making to sustain Brazilian agricultural profits, biodiversity and ecosystem services *Biological Conservation* 204 (2016) 221–230.

Liu, S; Costanza, R; Farber, S; Troy, A. Valuing ecosystem services. Theory, practice, and the need for a transdisciplinary synthesis. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1185 (2010) 54–78. New York Academy of Sciences. 2010.

Lopes, V. S. DINÂMICA DA ÁGUA NO SOLO EM PASTAGENS E EM FLORESTAS SECUNDÁRIAS. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de Doctor Scientiae. VIÇOSA, 2019.

Machado; A. L. S; Pacheco, J. B. SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E O CICLO HIDROLÓGICO DA BACIA HIDROGRÁFICA AMAZONICA - the biotic pump. *Revista GEONORTE*, Vol.01, N.01, Ano 01, p. 71-89, 2010.

Maciell, C. V; Coelho, A. R. G; Dos Santos, A. M; Lagioia, U. C. T; Libonati, J. J; Macêdo, J. M. A. CRÉDITO DE CARBONO: COMERCIALIZAÇÃO E CONTABILIZAÇÃO A PARTIR DE PROJETOS DE MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO - Revista de Informação Contábil - ISSN 1982-3967 - Vol. 3, no 1, p. 89-112, Jan-Mar/2009.

Manual de Métodos de Análise de Solo Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Rio de Janeiro, 1997.

Matos FAR, Magnago LFS. Aquila Chan Miranda C, et al. Secondary forest fragments offer important carbon and biodiversity cobenefits. *Glob Change Biol.* 2019; 00:1–14. <https://doi.org/10.1111/gcb.14824>.

Pagiola, S; Von Glehn, H. C; Taffarello, D. Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil. *SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE COORDENADORIA DE BIODIVERSIDADE E RECURSOS NATURAIS, Governo de São Paulo, 2013.*

Perfecto, I; Vandermeer, J. Quality of Agroecological Matrix in a Tropical Montane Landscape: Ants in Coffee Plantations in Southern Mexico. School of Natural Resources and Environment, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, U.S.A. Department of Biology, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, U.S.A.

Resende, F. M; Fernandes, G. W; Andrade, D. C. A Perigosa Deterioração dos Serviços de Ecossistemas. *Scientific American Brasil* | janeiro 2014.

Rocha-Santos, L; Benchimol, M; Mayfield, M. M; Faria, D; Pessoa, M. S; Talora, D. C, et al. Functional decay in tree community within tropical fragmented landscapes: Effects of landscape-scale forest cover. *PLoS ONE* 12(4): e0175545. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175545>. 2017.

Rockström, J; Steffen, W; Noone, K; Persson, A; Chapin, F. S; Lambin, E; Lenton, M. T; Scheffer, M; Folke, C; Schellnhuber, H. J; Nykvist, B; De Wit, C. A; Hughes, T; Van der Leeuw, S; Rodhe, H; Sörlin, S; Snyder, P. K; Costanza, R; Svedin, U. Falkenmark, M; Karlberg, L; et

al. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. Dec 2009, Vol. 14, No. 2.

SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI JÚNIOR, F. W. (Ed.). Inventário Florestal de Minas Gerais - Equações de Volume, Peso de Matéria Seca e Carbono para Diferentes Fisionomias da Flora Nativa. Lavras: UFLA, 2008. cap. 9, p.198-216.

SENNA, Davi Salgado. Diagnóstico da composição arbórea da mata ciliar do córrego jaqueira, Alegre, Es. Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Florestal. Espírito Santo, 2012.

SIMAS, Felipe N. B. Pedogênese e geoambientes na serra verde, parte da Mantiqueira mineira: Atributos físicos, químicos, mineralógicos e micromorfológicos. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de “Magister Scientiae” Viçosa, 2002.

Simonetti, S. R; Do Nascimento, E. P. Uso público em unidades de conservação: fragilidades e oportunidades para o turismo na utilização dos serviços ecossistêmicos Somanlu, ano 12, n. 1, jan. /jun. 2012.

Soares, V. P; Moreira, A. de A; Alvares Soares Ribeiro, C. A; Gleriani, J. M; Gripp Junior, J. Mapeamento de áreas de preservação permanentes e identificação dos conflitos legais de uso da terra na bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu – MG. Revista Árvore, vol. 35, núm. 3, mayo-junio, 2011, pp. 555-563.

Steffen, W; Richardson, K; Rockström, J; Cornell, S. E; Fetzer, I; Bennet, E. M; Biggs, R; Carpenter, S. R; De Vries, W; De Wit, C. A; Folke, C; Gerten, D; Heinke, J; Mace, G. M, Persoon, L, M; Ramanathan, V; Reyers, B; Sörlin, S. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. 2015 • VOL 347 ISSUE 6223.

Steinfeld, J. Complex farming systems: more ecosystem services and higher labour requirements. A case study from Brazil. Sc thesis Organic Agriculture. Chair group: Farming Systems Ecology, 2018.

Uzêda, M. C; Tavares, P. D; Rocha, F. I; Alves, R. C. Paisagens agrícolas multifuncionais: intensificação ecológica e segurança. Embrapa Brasília, DF 2017.

Vitall, M. V. C; Dos Anjos, L; Moreas e Silva, B. V. INTRODUÇÃO A MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE RIQUEZA E ANÁLISE DE BIODIVERSIDADE.