

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS**  
**Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel**  
**Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar**



**Tese**

**Proposição de índice de qualidade ecossistêmica para Sistemas  
Agroflorestais no Sul do Rio Grande do Sul**

**DISCENTE: MERI DIANA STRAUSS FOESCH**

Pelotas, RS

2025

Meri Diana Strauss Foesch

**Proposição de índice de qualidade ecossistêmica para Sistemas  
Agroflorestais no Sul do Rio Grande do Sul**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Agronomia.

Orientador: Ernestino de Souza Gomes Guarino

Pelotas, 2025

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas  
Catalogação da Publicação

F655p Foesch, Meri Diana Strauss

Proposição de índice de qualidade ecossistêmica para Sistemas Agroflorestais no Sul do Rio Grande do Sul [recurso eletrônico] / Meri Diana Strauss Foesch ; Ernestino de Souza Gomes Guarino, orientador. — Pelotas, 2025.  
68 f.

Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Sistema de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2025.

1. Avaliação ecológica. 2. Sustentabilidade. 3. Serviços ecossistêmicos. 4. Agroecossistemas florestais. I. Guarino, Ernestino de Souza Gomes, orient. II. Título.

CDD 631.58

Meri Diana Strauss Foesch

**Proposição de índice de qualidade ecossistêmica para Sistemas  
Agroflorestais no Sul do Rio Grande do Sul.**

Tese aprovada, como requisito parcial, para obtenção do grau de Doutora em Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Sistema de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da defesa: 25 de fevereiro de 2025.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Adalberto Koiti Miura

Doutor em Sensoriamento Remoto pelo Instituto de Pesquisas Espaciais.

Profa. Dra. Bianca Pio Ávila

Doutora em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas.

Profa. Dra. Marielen Priscila Kaufmann

Doutora em Desenvolvimento Rural pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

FOESCH, Meri Diana Strauss. Proposição de índice de qualidade ecossistêmica para Sistemas Agroflorestais no Sul do Rio Grande do Sul. 2025. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Produção Agrícola Familiar, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2025.

## Resumo

Esta tese apresenta a proposição de um índice integrado de qualidade ecossistêmica para aplicação em Sistemas Agroflorestais (SAF) no Sul do Rio Grande do Sul, com o objetivo de monitorar sua sustentabilidade ecológica. A pesquisa parte da necessidade de sistematizar indicadores que permitam mensurar a eficiência ecológica dos SAF, considerando sua relevância na restauração ambiental e nos serviços ecossistêmicos. O estudo foi conduzido em dez SAF implantados em propriedades de agricultura familiar, onde foram coletados e analisados dados sobre biomassa vegetal, carbono estocado, riqueza e abundância da vegetação e da fauna edáfica, qualidade do solo e produção de serrapilheira. Utilizou-se o método de pesos iguais (*Equal Weight*) para integrar os indicadores selecionados, resultando na construção do Índice de Qualidade Ecossistêmica Agroflorestal (IQEA). Os resultados demonstraram que sistemas mais maduros, com maior riqueza vegetal e regularmente manejados, apresentaram melhores desempenhos nos indicadores e maior acúmulo de carbono. A proposta do IQEA se mostra eficaz para auxiliar no monitoramento ambiental, na gestão agroflorestal e como ferramenta de suporte para políticas públicas.

**Palavras-chave:** Avaliação ecológica, sustentabilidade, serviços ecossistêmicos, agroecossistemas florestais.

FOESCH, Meri Diana Strauss. Proposal for an Ecosystem Quality Index for Agroforestry Systems in Southern Rio Grande do Sul. 2025. Thesis (Doctorate) – Postgraduate Program in Family Agricultural Production Systems, Eliseu Maciel School of Agronomy, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2025.

### **Abstract**

This thesis presents the proposal of an integrated index of ecosystem quality for application in Agroforestry Systems (AFS) in the southern region of Rio Grande do Sul, aiming to monitor their ecological sustainability. The research addresses the need to systematize indicators capable of measuring the ecological efficiency of AFS, considering their relevance to environmental restoration and the provision of ecosystem services. The study was conducted in ten agroforestry systems located in smallholder farming properties, where data were collected and analyzed on vegetation biomass, carbon stock, plant and soil fauna diversity and abundance, soil quality, and litter production. The Equal Weight method was used to integrate selected indicators, resulting in the development of the Agroforestry Ecosystem Quality Index (IQEA). The findings showed that more mature systems, with higher vegetation richness and consistent management, achieved better performance in the indicators and greater carbon accumulation. The IQEA proves to be an effective tool for environmental monitoring, agroforestry management, and as technical support for public policy development.

**Keywords:** Ecological assessment, Land-use sustainability, Environmental services, Biodiversity indicators, Forest-based agroecosystem.

## Sumário

<b>1. Introdução</b> .....	<b>7</b>
1.1. Justificativa.....	7
1.2. Objetivo geral .....	7
1.3. Objetivos específicos .....	8
1.4. Hipóteses .....	8
<b>2. Revisão da Literatura</b> .....	<b>8</b>
2.1. Sistemas Agroflorestais .....	8
2.2. Indicadores de Qualidade Ecosistêmica.....	11
2.3. Riqueza e Abundância da Vegetação .....	13
2.4. Serrapilheira .....	13
2.5. Biomassa e estoque de carbono.....	14
2.6. Índice de Qualidade do Solo (IQS) .....	17
2.7. Invertebrados do Solo .....	18
2.8. Método Multicritério de Pesos Iguais (Equal Weight) .....	19
<b>3. Materiais e métodos</b> .....	<b>20</b>
3.1. Área de Estudo .....	20
3.2. Coleta e Análise de Dados .....	24
3.3. Análise de Correlação .....	31
3.4. Cálculo do Índice de Qualidade Ecosistêmica Agroflorestal – IQEA .....	32
<b>4. Capítulo 1 – Uso de Indicadores de Monitoramento na Criação do Índice de Qualidade Ecosistêmica Agroflorestal.</b> .....	<b>33</b>
4.1. Introdução .....	33
4.2. Resultados e Discussão .....	36
4.3. Conclusões .....	44
<b>5. Capítulo 2 – Estoque de Carbono Acima do Solo de Sistemas Agroflorestais no Rio Grande do Sul, Brasil.</b> .....	<b>45</b>
5.1. Introdução .....	45
5.2. Resultados e Discussão .....	47
5.3. Conclusões .....	54
<b>6. Considerações Finais</b> .....	<b>55</b>
<b>7. Referências</b> .....	<b>58</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>73</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>87</b>

## **1. Introdução**

As principais discussões que dão origem a esta tese iniciaram em encontros de profissionais, extensionistas e agricultores em busca de alternativas para a consolidação de metas de restauração do Brasil e a aplicação do Programa de Regularização Ambiental – PRA, no Rio Grande do Sul, em consonância com a produção agroflorestal. Tais discussões convergem na proposta de restauração ecológica através de sistemas agroflorestais – SAF e a necessidade de monitoramento para o seu manejo de forma a promover qualidade ecológica.

O problema se concentra em entender os indicadores de qualidade ecossistêmica das agroflorestas estudadas e sua correlação, bem como utilizá-los para gerar o índice de qualidade.

O desenvolvimento da tese apresenta a revisão bibliográfica e metodologia geral, e em seguida se divide em dois capítulos, no primeiro aprofunda a pesquisa em estoque de carbono como um serviço ambiental provido pelas agroflorestas e o segundo desenvolve a correlação dos indicadores e gera o índice de qualidade ecossistêmica agroflorestal (IQEA).

### **1.1. Justificativa**

A elaboração de um índice de qualidade ecológica agroflorestal (IQEA) é uma estratégia fundamental para quantificar, avaliar e comparar o desempenho ecológico de diferentes sistemas. Devido à complexidade funcional e estrutural dos SAF, o IQEA permite sintetizar dados ambientais e pode ser aplicado no diagnóstico e gestão dos SAF, e inclusive em avaliações para Pagamentos de Serviços Ambientais (PSA).

### **1.2. Objetivo geral**

O referido trabalho tem como objetivo desenvolver o índice integrado de qualidade ecossistêmica para monitoramento de Sistemas Agroflorestais a partir de indicadores ecológicos.

### **1.3. Objetivos específicos**

- Quantificar a biomassa e o carbono florestal como um importante indicador de qualidade e serviço ecossistêmico fornecido pelas agroflorestas;
- Avaliar a correlação entre os indicadores de qualidade ecossistêmica do estudo e desenvolver o índice de qualidade a partir deles.

### **1.4. Hipóteses**

Hipótese 1: Sistemas agroflorestais com maiores valores em indicadores ambientais possuem maior complexidade estrutural e funcional e apresentam melhores resultados no Índice de Qualidade Ecossistêmica Agroflorestal (IQEA), o que reflete maior sustentabilidade ecológica.

Hipótese 2: Sistemas agroflorestais mais maduros e melhores valores em indicadores ambientais apresentam maior acúmulo de biomassa e estocagem de carbono.

## **2. Revisão da Literatura**

### **2.1. Sistemas Agroflorestais**

O sistema agroflorestal - SAF é um plantio biodiverso intencional que observa a dinâmica sucessional da floresta, atinge um sistema sofisticado de domesticação da paisagem e de espécies; utilizado pelos povos originários e transmitida pelo conhecimento tradicional (Froufe; Seoane, 2011; Seoane *et al.*, 2012; Ewert *et al.*, 2016), instrumento de conservação ambiental e provedor de serviços ambientais (Froufe; Seoane, 2011; Steenbock *et al.*, 2013a; Ewert *et al.*, 2013) influenciador de qualidade de vida e segurança alimentar.

Segundo Macedo (2000) os SAF são modelos de uso e manejo sustentável dos recursos naturais que combinam o cultivo de árvores, culturas

agrícolas e/ou a criação de animais de maneira cientificamente e ecologicamente adequada. Os sistemas agroflorestais são agroecossistemas muito antigos, utilizados pela humanidade na agricultura e, ao longo dos séculos, replicados nas unidades familiares de produção imitando a dinâmica sucessional do ecossistema original. Entretanto, nos últimos 50 anos, a ciência começou a dar atenção e estudar esses sistemas (Miccolis *et al.*, 2016).

Há diferentes tipos de SAF, segundo Moraes; Rezende; Amancio (2011) desde os da tradicional agricultura de rodízio que envolve o pousio florestal até arranjos comerciais, como o sistema de integração lavoura-pecuária- floresta (ILPF). Estão evoluindo de áreas compostas por arranjos sequenciais de espécies ou de consórcios de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas, para sistemas perenes com múltiplos estratos (Vivan, 2008). Os SAF, ao integrarem diferentes sistemas produtivos, como os de grãos, fibras, carne, leite e agroenergia, permitem a diversificação das atividades econômicas na propriedade, aumentando a lucratividade por unidade de área e minimizando os riscos de perdas de renda por eventos climáticos ou mesmo por condições adversas de mercado (Gonçalves; Turatti, 2021). Essas características explicam sua importância não só em termos de sustentabilidade agrícola, mas também nas questões relacionadas às mudanças climáticas (Mbow *et al.*, 2014).

Segundo Miccolis *et al.*, (2016), somado à experiência e conhecimento deste estudo, chegamos a alguns conceitos de SAF, a seguir: Os SAF que têm como foco a proteção e produção de alimentos para animais da pecuária, utilizando, principalmente, árvores e capim, são chamados de silvipastoril. Além disso, durante as estações, o pasto e a alimentação do gado são substituídos por uma lavoura, é um SAF denominado agrosilvipastoril. Considerando que, atualmente, qualquer consórcio simples de espécies perenes com espécies anuais é considerado um SAF, deve-se garantir que este consórcio cumpra com a provisão dos serviços ambientais propostos para as áreas de preservação permanente e reserva legal ou a recuperação de área degradada na propriedade familiar rural (Guarino *et al.*, 2020).

Os SAF semelhantes aos ecossistemas florestais naturais são conhecidos como sucessionais ou agroflorestas biodiversas, caracterizadas pela diversidade de espécies em que a implantação e manejo são inspirados

na sucessão natural de espécies, hoje também chamadas de agroflorestas sintrópicas. Os jardins agroflorestais são um tipo de SAF que associam árvores a espécies agrícolas e animais, medicinais e outras de uso doméstico. Localizados perto das casas, estes sistemas são geralmente altamente produtivos e contribuem grandemente para a segurança alimentar e o bem-estar familiar. Muitos manejos são realizados por comunidades tradicionais como a “coivara” - enquanto elas fazem uma queimada controlada em um pedaço de terra e usam essa ação para catalisar o sinal de regeneração para plantar as lavouras. As florestas alimentares (*food forest*) e as florestas hortícolas são conceitos de SAF muito semelhantes quando produzem uma grande diversidade de alimentos, plantados abaixo de árvores lenhosas e leguminosas, para poda e utilização como fertilizante, a diferença é que nas florestas hortícolas o objetivo são hortaliças comerciais, e as florestas alimentares são uma mistura de plantas para proporcionar segurança alimentar e nutricional à família ou comunidade de agricultores e/ou à vida silvestre e excedentes à venda (Miccolis *et al.*, 2016).

Os SAF representam atividades integradoras, que aperfeiçoam o uso da terra e apresentam potencialidades tanto no sentido ecológico quanto econômico, ou seja, permitem sustentabilidade ambiental e socioeconômica. As práticas agroflorestais têm o potencial de retardar ou até reverter a degradação do solo, promovendo o aumento da fertilidade, o sequestro de carbono e a geração de benefícios ecológicos e econômicos, contribuindo, assim, para a subsistência das comunidades envolvidas. A diversidade de espécies cultivadas nesses sistemas pode se tornar uma alternativa viável para impulsionar economicamente a restauração florestal (Schembergue *et al.*, 2017).

Os sistemas agroflorestais estão se multiplicando no Brasil e a possibilidade de uso como restauração ecológica é uma realidade, uma vez que supre muitas das exigências da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN) – Lei 12.651 de 25 de maio de 2012, como alternativa adaptada às normas vigentes no seu uso para a restauração de APP e RL (Miccolis *et al.*, 2016). E segundo Martins *et al.* (2019) os SAF contribuem na restauração de ecossistemas, principalmente para a proteção de fragmentos florestais; já onde remanescentes de florestas nativas são escassos, os SAF, incrementam a área

disponível para refúgio e/ou deslocamento da fauna e a flora e, usualmente, constituem os últimos habitats disponíveis.

## **2.2. Indicadores de Qualidade Ecosistêmica**

Os indicadores desempenham dois papéis principais no campo da ciência: Primeiro, a seleção de bons indicadores ajuda a esclarecer as relações causais entre bens de capital específicos e bem-estar intergeracional, melhorando o conhecimento sobre os sistemas socioecológicos integrados. Em segundo lugar, a criação de bons indicadores de monitoramento podem ajudar bastante na tomada de decisões sobre políticas e gestão (Garrett; Latawiec, 2015).

Existem diferentes definições de indicadores. Os indicadores de qualidade ambiental servem para a avaliação do estado dos ecossistemas e dos impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente. Segundo Niemi; McDonald (2004), esses indicadores traduzem dados complexos em informações acessíveis para tomada de decisão, monitorando aspectos como poluição do ar, qualidade da água, biodiversidade e uso do solo. A eficácia dos indicadores depende de sua sensibilidade, especificidade e capacidade de representar mudanças ambientais em escalas espaciais e temporais diversas (Viñas, 2012).

Para avaliar a sustentabilidade, indicadores têm o poder de evidenciar as ações humanas em um ambiente, positivas ou negativas, em grau, número e importância. Ao incorporar dimensões sociais e econômicas, os indicadores de sustentabilidade ampliam a abordagem ambiental tradicional. Para Mindrinos e Panagiotopoulos (2023) esses indicadores avaliam a capacidade de um sistema manter-se ao longo do tempo sem comprometer os recursos naturais e o bem-estar humano.

Com o avanço da ecologia aplicada, surgiram indicadores voltados para os serviços ecosistêmicos, Formazieiro (2020) destacou a importância desses indicadores para avaliar o funcionamento dos ecossistemas e sua contribuição ao bem-estar humano. Os indicadores ecológicos são variáveis ou conjuntos

de variáveis usadas para avaliar mudanças ambientais, seja em resposta a pressões antrópicas, mudanças naturais, ou intervenções de manejo, fornecem sinais precoces de degradação ou melhora ambiental e ajudam a tomar decisões de manejo ou conservação (Rebollar *et al.*, 2012).

Os indicadores de qualidade ecológica como diversidade funcional, biomassa, cobertura do solo e presença de espécies-chave tornaram-se essenciais em contextos de uso da terra, especialmente em paisagens agrícolas e florestais, permitem identificar o estado atual de agroecossistemas e fornecer dados que apoiam sua gestão, além de orientar como eles devem ser mantidos para garantir ou alcançar a sustentabilidade (Deponti; Almeida, 2002; Deggorone ; Costa, 2018). Tais parâmetros representam a realidade do ambiente, facilitando a compreensão de seu funcionamento e subsidiando decisões em gestão e políticas (Kemerich *et al.*, 2014). Esses indicadores não apenas mensuram a saúde ecológica dos sistemas, mas também sua resiliência frente a mudanças climáticas e pressões antrópicas, sendo fundamentais para avaliar e promover a sustentabilidade agroecológica.

Embora os SAF se destaquem como sistemas agrícolas sustentáveis, é fundamental dispor de indicadores de qualidade ecossistêmica capazes de identificar e avaliar seus níveis de sustentabilidade (Daniel *et al.*, 2000). Essa abordagem deve permitir compreender o funcionamento desses agroecossistemas e priorizar ações que garantam uma produção sustentável, mantendo sua capacidade produtiva ao longo do tempo (Caporal; Costabeber, 2007). Além disso, os estudos de indicadores ecológicos em sistemas agroflorestais podem funcionar como um incentivo à expansão desses sistemas, subsidiando tanto a atuação da ATER quanto os investimentos em políticas públicas.

Em sistemas agroflorestais (SAF), os indicadores de qualidade ecossistêmica devem refletir a complexidade e multifuncionalidade dessas práticas. Segundo Schroth *et al.* (2004) e Nair (2011), os SAF integram culturas agrícolas, espécies florestais e, frequentemente, componentes pecuários, promovendo sinergias ecológicas. Indicadores específicos incluem diversidade estrutural e funcional, cobertura de dossel, matéria orgânica do solo, abundância de fauna edáfica e capacidade de sequestro de carbono. Cada um

desses indicadores fornece informações sobre diferentes aspectos da saúde agroflorestal (Sánchez, 2015).

### **2.3. Riqueza e Abundância da Vegetação**

Os estimadores de riqueza, abundância e diversidade são ferramentas essenciais na análise florística e estrutural da composição de espécies, pois fornecem parâmetros indispensáveis para a compreensão dos processos relacionados à dinâmica florestal (Gastauer e Meira-Neto, 2015). Esses indicadores permitem avaliar a complexidade ecológica dos ecossistemas, contribuindo para o entendimento das interações biológicas e das respostas da vegetação frente a diferentes fatores ambientais e antrópicos (Missio, 2021).

Estudos indicam uma correlação positiva entre o aumento da biodiversidade e a melhoria na prestação dos serviços ecossistêmicos (Harrison *et al.*, 2014). Segundo Oliveira (2016) quanto maior a riqueza de espécies arbóreas, mais complexo e resiliente será o sistema agroflorestal.

A vegetação tem uma grande importância no que se refere à qualidade do meio ambiente e a manutenção da vida na terra, onde sua finalidade é preservar os recursos hídricos e conservar a diversidade de fauna e flora, ajuda no equilíbrio da temperatura ambiente e mantém a umidade do ar (Cabral, 2013).

Os processos dinâmicos da floresta, bem como seus aspectos florísticos e estruturais, são importantes indicadores das condições de conservação e do estágio sucessional em que se encontra um determinado remanescente (Corte *et al.*, 2014).

### **2.4. Serrapilheira**

A serrapilheira exerce inúmeras funções no equilíbrio e dinâmica dos ecossistemas, compreendendo a camada mais superficial do solo em ambientes florestais, composta por folhas, ramos, órgãos reprodutivos e detritos (Costa *et al.*, 2010).

Uma cobertura de solo eficiente se decompõe devagar, deixando uma maior quantidade de nutrientes no solo, não possui patologia para a cultura em

desenvolvimento e mantém resíduos remanescentes (Fernandes, 2019). Dessa maneira, o ambiente torna-se favorável ao desenvolvimento das plantas, contribuindo para a estabilização da produção agrícola, sustentabilidade do solo e uma menor dependência de insumos externos aos agroecossistemas (Tiecher, 2016).

A existência de serrapilheira indica que ocorre um ciclo interno de nutrientes e matéria orgânica no ambiente, um processo fundamental para solos tropicais, que geralmente apresentam baixa fertilidade, mas têm alta capacidade de reter nutrientes na presença de vegetação (Soares; Froufe, 2015).

O SAF busca replicar as condições das florestas naturais, e dentre as variáveis que produzem serviços ambientais, no contexto das mudanças climáticas devido ao seu papel como sumidouro de carbono atmosférico, é o carbono orgânico (CO). A mensuração do CO como componente na oferta de serviços ambientais já vem sendo realizada e pode ser incentivada, considerando a existência de modelos que acompanham as transformações da matéria orgânica do solo (MOS) ao longo do tempo, bem como o cálculo de seu estoque, prática já adotada em programas de pagamento por serviços ambientais (Parron; Rachwal; Maia, 2015).

Para Albuquerque (2025) medir o carbono armazenado através da biomassa das árvores pode oferecer uma dupla avaliação dos serviços ambientais. Por um lado, essa métrica evidencia o papel do solo e da vegetação na regulação climática, ao reter carbono atmosférico de forma que ele não seja liberado de volta. Isso se baseia no pressuposto de que a exploração só ocorrerá após um período mínimo de 15 anos de crescimento, garantindo que o carbono seja realmente incorporado à biomassa. Por outro lado, em Sistemas Agroflorestais, onde as árvores são empregadas para recriar as complexas interações ecológicas dos ambientes naturais com vistas à futura exploração madeireira, essa abordagem se mostra ainda mais relevante para mensurar e incentivar a prestação dos serviços ambientais.

## **2.5. Biomassa e estoque de carbono**

Mognon (2013) explica que por meio da fotossíntese, as florestas conseguem absorver e armazenar átomos de carbono em seus tecidos estruturais, realizando assim, um dos serviços ambientais mais importantes e essenciais a vida de todos os seres vivos do planeta. Sendo assim, durante o crescimento das plantas, a biomassa é acumulada e, conseqüentemente, mais carbono é fixado. Diante da crescente relevância das florestas no contexto das mudanças climáticas, acompanhar e analisar os fragmentos florestais remanescentes torna-se essencial para entender como esses ecossistemas funcionam e influenciam o ciclo do carbono (Takahashi Lipinski, 2017).

Conforme argumentado por Mangalassery *et al.* (2014), a captura de carbono tem sido amplamente reconhecida como uma estratégia eficaz para mitigar o acúmulo crescente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera. Nesse contexto, o solo e a biomassa vegetal, que juntos constituem um dos maiores reservatórios terrestres de carbono, desempenham um papel fundamental na remoção do CO<sub>2</sub> atmosférico por meio do processo de fotossíntese, conforme destacado por Kaul *et al.* (2010). A capacidade de sequestro de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pelas espécies vegetais está associada a diversos fatores, incluindo a identidade taxonômica das espécies, características genéticas, estágio de desenvolvimento, arquitetura estrutural, componentes funcionais e densidade populacional (Saleem *et al.*, 2023)

A variação interespecífica e intraespecífica no diâmetro das árvores, na idade do povoamento, na estrutura do ecossistema e na diversidade do sistema também influencia significativamente a variação na biomassa e no seu conteúdo de carbono (Bajigo *et al.*, 2015; Panwar *et al.*, 2022). O acúmulo de biomassa depende de uma série de fatores, tanto ambientais – como intensidade de luz, temperatura, concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, umidade, fertilidade do solo e incidência de doenças – quanto de características internas de cada planta, tais como idade, arranjo e estrutura das folhas, padrão de distribuição e funcionamento dos estômatos, e teor de clorofila, entre outros (Poorter *et al.*, 2012).

Segundo Saleem *et al.* (2023) a integração de espécies arbóreas florestais em sistemas agroflorestais promove a fixação contínua de carbono em tecidos lenhosos, além de favorecer o acúmulo natural de serapilheira no solo, contribuindo significativamente para o incremento dos estoques de

carbono edáfico e para o desenvolvimento da estrutura física do solo. Esses processos são considerados fatores determinantes para os elevados níveis de carbono observados em sistemas horti-silvipastoris e agri-horti-silviculturais, como os quintais agroflorestais. Porém, em sistemas como horti-agricultura e agri-silvicultura (exemplificados por plantações em bordas de lavouras), a maior parte da biomassa é removida anualmente por meio de práticas como colheita, poda e corte, o que limita o acúmulo de carbono ao longo do tempo (Saleem *et al.*, 2023).

Embora as plantações florestais apresentem elevado potencial de estocagem de carbono, sua expansão tem sido restrita devido à crescente pressão demográfica e à demanda por terras agrícolas. Nesse cenário, os sistemas agroflorestais emergem como uma alternativa promissora, pois conciliam a conservação da biodiversidade com a geração de benefícios econômicos para as comunidades locais.

De acordo com Nair *et al.* (2009), o potencial de sequestro de carbono em sistemas agroflorestais está diretamente relacionado à presença e proporção de componentes lenhosos. Terras agrícolas com maior densidade de espécies arbóreas demonstram capacidade superior de armazenamento de carbono em comparação com sistemas de uso da terra que apresentam menor presença de vegetação lenhosa (Sureshbhai *et al.*, 2017; Dar *et al.*, 2019). A variabilidade na capacidade de estocagem de carbono entre os diferentes sistemas agroflorestais é influenciada por fatores como o tipo de sistema implementado, seu arranjo espacial e funcionalidade, bem como pelas condições ambientais e socioeconômicas locais. Além disso, aspectos como a escolha das espécies arbóreas e as práticas de manejo adotadas exercem influência significativa sobre o desempenho dos sistemas agroflorestais no que tange à captura e estocagem de carbono (Nair *et al.*, 2010).

Para encontrar a biomassa por meio de modelos matemáticos a partir de dados de inventários florestais, se faz uso de equações alométricas de espécies florestais presentes em florestas tropicais através de uma única variável, o DAP (Teixeira, 2003). A inclusão das variáveis como altura de copa e diâmetro de copa não trouxe melhorias aos modelos e, portanto parece não ser necessárias, principalmente pelas dificuldades operacionais para se obtê-las (Rügnitz, M. T.; Chacón, M. L.; Porro R., 2009). O DAP, a altura do fuste e a

altura total foram as variáveis mais adequadas para explicar a variabilidade do peso seco da biomassa dos componentes da bracatinga (Urbano *et al.*, 2008).

Para calcular o conteúdo de carbono da biomassa, Lamblom e Savidge (2003) analisaram a variação do conteúdo de carbono na biomassa de espécies de madeira de clima temperado, concluindo que varia de 47% a 52%. Malhi, Y. *et al.* (2006) mostra que em florestas amazônicas, aproximadamente 48% da biomassa seca é carbono. E Pregitzer ; Euskirchen (2004) fazem uma revisão sobre estoques de carbono em florestas temperadas e boreais, identificando que aproximadamente 45-50% do peso seco da biomassa é carbono. Segundo Arancibia (2021), a estimativa do estoque de carbono em uma floresta pode ser obtida com 50% do peso da biomassa, o fator de conversão de 0,5 de carbono para a biomassa acima do solo.

## **2.6. Índice de Qualidade do Solo (IQS)**

O índice de qualidade do solo é encontrado através de uma fórmula que considera os atributos físicos, químicos e biológicos que refletem a capacidade de funcionamento do solo e o seu estado atual. Este varia naturalmente dependendo de suas propriedades e, dependendo do tipo de manejo utilizado, podem ocorrer alterações em seus atributos físicos, químicos e biológicos (Chaves *et al.*, 2020). Cherubin *et al.* (2019) utilizaram os indicadores químicos pH, fósforo disponível e potássio; os materiais físicos representados pela densidade do solo e carbono orgânico e biomassa microbiana como biológica.

Para Bongiorno (2020), a matéria orgânica e o pH são os indicadores mais usados, seguidos do fósforo disponível para absorção pelas plantas, densidade do solo e alguns indicadores de armazenamento de água. Além disso, o IQS do solo é uma medida da capacidade do solo de fornecer nutrientes essenciais às plantas. Restaurar a fertilidade de solos degradados é muitas vezes um objetivo principal em projetos de restauração de ecossistemas, e geralmente é comum produzir alimentos em SAF, usando diversas técnicas, incluindo a adição de matéria orgânica, corte e cobertura morta (corte de galhos, compostagem e culturas de cobertura).

A fertilidade do solo é considerada uma função essencial para a agricultura sustentável, ecossistemas saudáveis e produção agrícola. A

fertilidade do solo está principalmente associada à disponibilidade de nutrientes, ao pH e à matéria orgânica (MO) do solo (Nguemezi *et al.*, 2020). Para este estudo, as propriedades do solo selecionadas para o Índice de Qualidade do Solo (IQS) foram: pH, MO, Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Fósforo disponível (P) e Nitrogênio total (NT). O N, P e K são nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas e culturas agrícolas. O Ca e o Mg contribuem para aumentar a disponibilidade de nutrientes essenciais no solo, manter o pH, melhorar a estrutura do solo e torná-lo mais fértil. A MO e o pH são indicadores importantes da qualidade do solo, pois afetam diversas funções edáficas e desempenham um papel fundamental na fertilidade e disponibilidade de nutrientes (Askari e Holden, 2014).

Moco (2010) mostra que os atributos do solo e a qualidade da serrapilheira sob sistemas agroflorestais afetam a diversidade da fauna do solo e da serrapilheira, e esses atributos são potenciais reguladores dos grupos funcionais da fauna. Os componentes químicos relacionados à acidez, nutrição e palatabilidade são mais decisivos para a abundante e diversificada fauna do solo e da serrapilheira. Os atributos que afetaram a fauna do solo em sistemas agroflorestais incluíram principalmente o pH e a densidade do solo e o teor de polifenóis e lignina na serrapilheira. As comunidades faunísticas foram mais sensíveis à qualidade da serrapilheira do que à qualidade do solo, completo. Peng (2022) explica que o manejo da serrapilheira pode ser uma boa prática para manter atividades saudáveis da comunidade faunística e melhorar o funcionamento do ecossistema em sistemas agroflorestais para produção de cacau.

## **2.7. Invertebrados do Solo**

Wink *et al.* (2005) afirma que a macrofauna edáfica é utilizada como importante indicador biológico da qualidade do solo por sua atuação nos processos biológicos dos ecossistemas, mostrando eficácia inclusive na avaliação de agroecossistemas degradados, tendo em vista também que a sensibilidade da fauna edáfica às modificações ambientais é fácil e economicamente viável de medir, auxiliando na tomada de decisões em

agroecossistemas que buscam um manejo mais sustentável. Para Melo *et al.*, (2009) o conhecimento sobre a fauna do solo, contribui na avaliação da sustentabilidade de qualquer ambiente e possibilita a percepção de seu estado atual e de modificações causadas por forças internas e externas (bióticas e abióticas) que ocorrem ao longo do tempo.

A restauração das populações de invertebrados do solo é essencial para o sucesso dos projetos de restauração de ecossistemas, uma vez que contribuem para a saúde geral do solo e para a função ecológica (Silva, 2024). E em sistemas agroflorestais, segundo Gupta *et al.* (2023), o aumento na diversidade da macrofauna do solo, da biomassa microbiana do solo e da diversidade microbiana e deve-se aos efeitos melhoradores das árvores e ao maior aporte de matéria orgânica com qualidade e abundância da serrapilheira. Os autores ressaltam que a melhoria do microclima e uma maior oferta de resíduos orgânicos geram maior diversidade de minhocas em sistemas baseados em árvores.

## **2.8. Método Multicritério de Pesos Iguais (Equal Weight)**

O método multicritério com *Equal Weight* é uma técnica utilizada na tomada de decisão multicritério (MCDM) em que todos os critérios envolvidos no processo decisório recebem pesos iguais. Trata-se de uma abordagem simples, transparente e amplamente utilizada quando não se dispõe de informações suficientes para justificar a atribuição de pesos diferenciados ou quando se deseja neutralidade metodológica. É especialmente comum em análises ambientais, sustentabilidade, avaliação de políticas públicas e diagnósticos socioeconômicos (Rosário, 2018).

Esse método é particularmente útil em contextos em que não se dispõe de informações suficientes para determinar a importância relativa dos critérios ou quando se busca uma decisão rápida e transparente. Sua simplicidade o torna uma alternativa acessível, especialmente em fases iniciais de um processo decisório (Kao, 2010). Outra justificativa para a aplicação do *Equal Weight* está relacionada ao seu poder de mitigação de vieses cognitivos na tomada de decisão (Figueira *et al.*, 2005).

O método dos pesos iguais também tem sido aplicado em análises ambientais, particularmente na construção de índices de sustentabilidade e indicadores compostos de desempenho ambiental (Böringer e Jochem, 2007). Nessa abordagem, diferentes variáveis ou categorias ambientais recebem o mesmo peso na composição de um índice agregado, sem considerar sua importância relativa ou impacto específico (Esty, 2005).

Em estudos de sustentabilidade, por exemplo, ao criar um índice de qualidade ambiental que considera poluição do ar, qualidade da água, uso do solo e biodiversidade, o método *equal weight* atribui peso igual a cada um desses componentes. Isso evita a dominância de uma única dimensão e garante que todas as variáveis sejam igualmente representadas. Tal abordagem foi utilizada por Böringer (2007), que discutiu a agregação de múltiplos indicadores de desempenho ambiental em um índice composto para avaliação de políticas públicas.

Apesar de limitações, o equal weight continua sendo uma escolha comum em contextos onde se busca neutralidade metodológica e onde a transparência e replicabilidade são desejadas. Ele é especialmente útil em relatórios ambientais globais e análises comparativas internacionais, como os índices de sustentabilidade de países, onde se evita a subjetividade da escolha de pesos diferenciados. Trabalhos como os de Esty et al. (2005), no desenvolvimento do Environmental Performance Index (EPI), inicialmente usaram esquemas de ponderação igual antes de evoluírem para métodos híbridos mais complexos.

### **3. Materiais e métodos**

#### **3.1. Área de Estudo**

O estudo foi conduzido na mesorregião sudeste do Rio Grande do Sul, caracterizada pela predominância de pequenas propriedades, em que muitas culturas convencionais, como o fumo e o pêssego, fazem uso intensivo da mão de obra familiar (Salamoni *et al.*, 2021). Cardoso *et al.* (2018) ressaltam que a implementação dos Sistemas Agroflorestais (SAF) nessa localidade é parte do processo de transição agroecológica da agricultura familiar.

Geologicamente, a região pertence ao Escudo Sul-rio-grandense, que se estende principalmente entre as bacias hidrográficas do Rio Camaquã e do Mirim-São Gonçalo. Uma porção menor encontra-se na bacia do Guaíba, integrando ainda o sistema geológico da Serra do Sudeste (Salamoni *et al.*, 2021). Fatores como a formação geológica, o tipo de solo e a altitude contribuem para a diversidade da vegetação, resultando em uma combinação de campos, vegetação arbustiva e distintos tipos de florestas (Overbeck *et al.*, 2009).

A floresta presente na região é classificada como Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 1992), e está situada na vertente leste da província geomorfológica do Escudo Sul-Riograndense. A vegetação predominante apresenta uma fitofisionomia florestal, caracterizada por uma floresta de encosta com dossel contínuo. Essa cobertura florestal se estende até as áreas mais elevadas e planas do Escudo, localizadas a cerca de 500 metros de altitude (Streck *et al.*, 2008), esta é a porção mais ao sul das florestas da Mata Atlântica *lato senso*. Nessa região, diversas espécies de flora e fauna alcançam seus limites meridionais de distribuição. Acima dessa cota altimétrica, a vegetação predominante passa a ser campestre composta principalmente por espécies herbáceas e arbustivas (Külkamp; Heiden; e Iganci, 2019). E no passado, a formação das clareiras resultava da queda de árvores e da presença de afloramentos rochosos, que se concentravam principalmente no topo dos morros (Venzke, 2012).

O clima da região é do tipo Subtropical Úmido - Cwa (Alvares *et al.*, 2013), com inverno fresco a frio e regularidade na distribuição anual de chuvas (1.250 a 2.500mm/ano).

Situados na região geomorfológica da Serra de Sudeste a qual está compartimentada em dois planaltos residuais, os Planaltos Residuais Canguçu-Caçapava do Sul, localmente mais elevados, e os Planaltos Rebaixados Marginais. O relevo possui predominância de morros com topos convexos intercalados por vertentes íngremes e suaves. As altitudes variam de 140m a 400m, com a ocorrência de relevos suave ondulados a ondulado. Tendo como material de origem granitos e migmatitos, destacam-se na região os solos em associações de argissolo bruno-acinzentado, argissolo vermelho-amarelo e

neossolo com afloramentos rochosos (Neves, 2012). As características fisiográficas dos SAF são apresentadas na tabela 1.

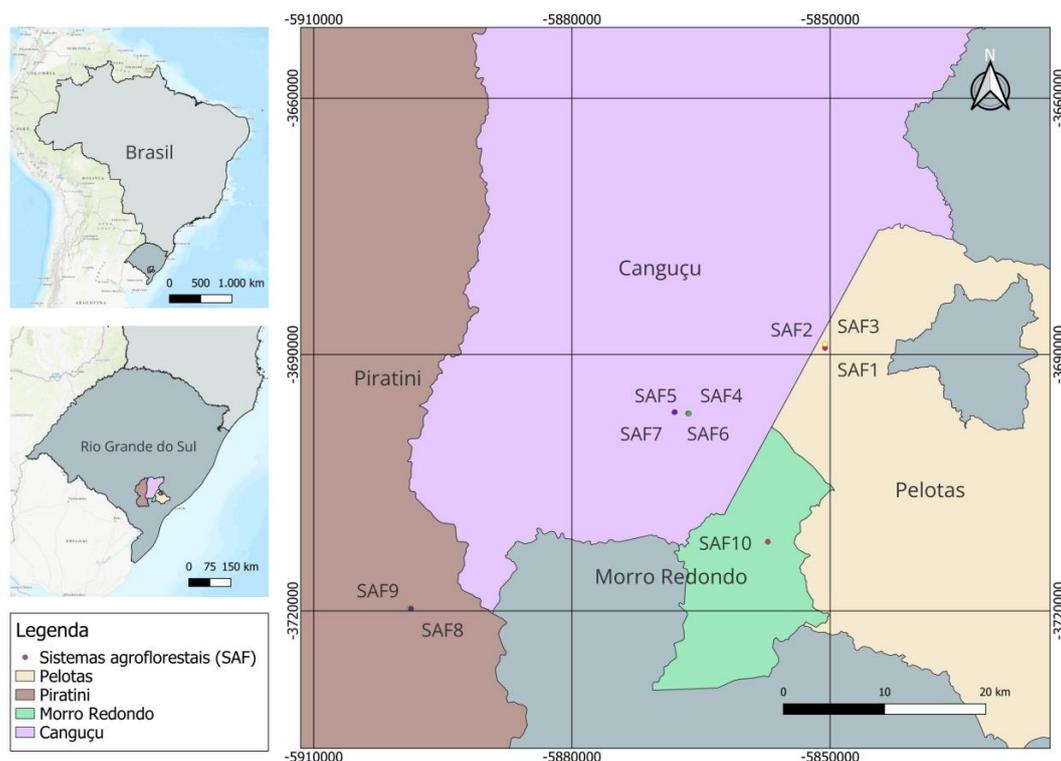
Tabela 1: Características fisiográficas dos Sistemas Agroflorestais.

SAF	Área do SAF (ha)	Altitude (m)	Tipo de Solo	Relevo	Município
SAF1	0,3023	263	RL	Ondulado	Pelotas
SAF2	0,2008	260	RL	Ondulado	Pelotas
SAF3	0,1501	243	RL	Ondulado	Pelotas
SAF4	0,2502	296	PVA	Suave Ondulado	Canguçu
SAF 5	0,3701	294	PVA	Suave Ondulado	Canguçu
SAF 6	0,2535	304	PVA	Suave Ondulado	Canguçu
SAF 7	0,1528	303	PVA	Suave Ondulado	Canguçu
SAF 8	0,0798	229	PVA	Suave Ondulado	Piratini
SAF 9	0,0502	248	PVA	Suave Ondulado	Piratini
SAF 10	0,1503	224	PVA	Ondulado	Morro Redondo

Legenda: RL= Neossolo Litólico. PVA=Argissolo Vermelho-Amarelo.

O estudo foi realizado em 10 sistemas agroflorestais localizados em propriedades rurais de unidade familiar, nos municípios de Pelotas, Canguçu, Morro Redondo e Piratini como apresenta a figura 1.

Figura 1 – Localização das áreas de Estudo.



Fonte: Database: IBGE (2022). Georreferenciamento: QGIS, por Meri Diana Strauss Foesch (2025).

Cada SAF possui características distintas brevemente descritas nos próximos parágrafos:

SAF 1 2 e 3 – Localizados na Colônia Maciel, de Pelotas, Propriedade Agroecológica Schiavon. O SAF 1 (Figura 2) possui um arranjo de espécies arbóreas madeireiras a frutíferas nativas, cítricos, e frutíferas de clima temperado, com idade de 6 a 9 anos e manejo intensivo de podas para cobertura do solo. O SAF 2 possui a combinação de Feijoa (*Senna multijuga*), Acácia Negra (*Acacia mearnsii*) e cítricos. é um sistema de 3 anos que possui pouca cobertura. Animais domesticados, galinhas, porcos, patos e gansos possuem acesso ao SAF 1 e 2. O SAF 3 possui maior quantidade de espécies arbóreas lenhosas em sua composição, desde sua implantação, e há 3 anos foi enriquecido com plantio em linhas de *Butia spp.*

Figura 2 – Visão Geral do SAF 1.



Fonte: Autora, 2022.

SAF4 e 5 – Localizados na Coxilha dos Campos, 1º Distrito de Canguçu, na Propriedade Sturbelle Schiavon. O SAF 4 é uma combinação de *Citrus spp.* e Acácia negra, apenas as arbóreas. O SAF 5 é um plantio de Nogueira Pecã (*Carya illinoensis*) e *Prunus spp.*, com plantios anuais na entrelinha.

SAF6 e 7 – Localizados na Propriedade Vida na Terra, em Canguçu. O SAF6 é cercado e possui diversidade e adensamento de espécies nativas madeireiras (*Cordia trichotoma*, por exemplo, como mostra a figura 3) e frutíferas, *Prunus* spp., bananeiras e *Butia* spp. Já o SAF 7 é um plantio de *Butia* sp. que estava sendo enriquecido há 2 anos.

Figura 3 – Espécie madeireira *Cordia trichotoma* ( Louro Pardo).



Fonte: Autora, 2022.

SAF 8 e 9 – Localizados em Piratini. O SAF 8 é um consórcio *Citrus* spp e *Acacia mearsii* e o SAF 9 possui maior diversidade entre nativas, bananeiras e *Prunus* spp., enriquecimento de um setor de produção de pêssego do sítio com a implantação de nativas funcionais pioneiras, madeireiras e frutíferas, bem como bananeiras para produção de frutos e biomassa.

SAF10– Localizado na Chácara Vô João, no sentido sul da Zona Rural de Morro Redondo. Em fase inicial de implantação, predominando estágio regeneração de capoeira e linhas de plantios de frutíferas e bananeiras.

### **3.2. Coleta e Análise de Dados**

O trabalho de campo foi desenvolvido em dez sistemas agroflorestais distribuídos em cinco propriedades rurais. Foram realizadas coletas únicas para cada indicador avaliado. Foram coletados serrapilheira, amostras de solo

e de invertebrados do solo na mesma data para cada SAF, no mês de outubro de 2022. O censo da vegetação foi realizado em uma única vez para cada SAF, em fevereiro de 2023.

Os dados amostrados foram selecionados método adaptado de Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente de São Paulo - 2021, que apresenta um protocolo de monitoramento de exploração de sistemas agroflorestais (SMA, 2021). Os SAF do estudo são estruturados em plantio em linha, semelhantes aos de reserva legal do protocolo e segundo SMA (2021), por isso, segundo o documento quando os plantios são em linha, o eixo da parcela (medido com trena ou corda) deve ser disposto na diagonal em relação às linhas de plantio ou com o centro da linha correspondente ao centro do SAF. Nesta linha em uma distância distribuída igualmente, foram marcados quatro pontos, para a coleta de amostras de serrapilheira, solo contendo os invertebrados, e solo para análises químico-físicas.

A serrapilheira, composta de materiais vegetais depositados sobre o solo, foi coletada manualmente na superfície (Santos *et al.*, 2007). Utilizou-se um gabarito de polietileno, medindo 0,5m x 0,5 m, que foi colocado sobre o material à superfície solo (Figura 4), no qual foi coletado todo o material orgânico não decomposto (folhas, galhos, frutos e flores), considerando apenas o material presente no interior da área do gabarito (Lipinski, 2017).

Figura 4 – Gabarito disposto sobre o local de coleta da serrapilheira.



O material de cada coleta foi condicionado em sacos, os quais posteriormente lacrados e identificados. Para determinação do peso de matéria seca, as amostras de serrapilheira foram levadas ao laboratório da Embrapa Clima Temperadas, acondicionadas em sacolas de papel (Figura 5), e secas em estufa de circulação e renovação de ar, a 65 °C, até peso constante, e depois pesado em balança de precisão (0,01 g). Foram retirados pedras e solo, não considerados no peso seco. Depois de encontrada a quantidade de serrapilheira por sistema agroflorestal, os resultados foram extrapolados para hectares para facilitar comparações e correlações.

Figura 5 – Secagem do material da serrapilheira



As amostras de solo foram coletadas nos mesmos quatro pontos, que a serrapilheira. Foi utilizada uma pá de corte como gabarito, para obter um corte de 0,25m x 0,25m, adicionados em um balde e misturando-as para obter uma amostra para cada sistema, segundo Manual de Descrição e Coleta de Solo em Campo da Embrapa (de Lemos, 1996). As amostras para análise físico-química foram armazenadas, identificadas e enviadas ao Laboratório de Química do Solo da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.

Os resultados da análise foram usados para calcular o Índice de Qualidade do Solo (IQS). Para a elaboração da equação que resulta no IQS, foram atribuídos pesos para cada indicador segundo Chaudhry (2024). Para chegar no IQS os resultados de Chaudhry (2024) mostram que matéria orgânica (MO) e o pH do solo são indicadores críticos da qualidade do solo, pois afetam significativamente diversas funções do solo. Esses dois parâmetros exercem um papel essencial na determinação da fertilidade do solo e na disponibilidade de nutrientes essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Além disso, a disponibilidade de certos nutrientes fundamentais, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), é vital para o desenvolvimento

das plantas. Cálcio (Ca) e magnésio (Mg) também exercem uma função importante.

As propriedades do solo selecionadas para o estudo apresentam diferentes unidades de medida. Para padronizá-las, foram transformadas e normalizadas em uma escala sem unidade, variando de 0 a 1, utilizando métodos de pontuação linear ou não linear. Os indicadores foram avaliados com base em seu impacto na fertilidade do solo.

Se um indicador tem efeito positivo sobre a fertilidade do solo, foi classificado como "quanto mais, melhor"; se o efeito for negativo, recebeu a classificação "quanto menos, melhor"; e, nos casos em que o indicador apresenta efeitos tanto positivos quanto negativos, foi atribuída uma pontuação baseada em um valor ótimo, aplicado na equação:

$$Si = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{x}{x_0}\right)^{-/+b}\right)}$$

Onde  $Si$  é a pontuação não linear,  $x$  representa o valor do indicador selecionado,  $x_0$  é o valor médio de cada indicador, e  $b$  é o coeficiente angular (declive), que foi definido como  $-2,5$  para funções do tipo "quanto mais, melhor" e  $2,5$  para funções "quanto menos, melhor", valores encontrados em processos estudados para normalização segundo Chaudhry (2024), e anteriores Munson *et al.* (2018) e Li *et al.* 2021.

Em seguida o conjunto desses dados foram usados na equação do IQS, a seguir:

$$SQI = \sum_{i=1}^{i=n} Wi \times Si$$

Onde,  $Wi$  é o peso de cada indicador e  $Si$  é a pontuação encontrada a partir dos dados das amostras.

Amostras da fauna de invertebrados do solo foram coletadas com auxílio de pá de corte, e retiradas de monólitos de solo medindo 0,25m x 0,25m x 0,25m. Armazenados em sacos de cinco litros e triados na Estação Experimental de Cascata (Embrapa Agricultura Temperada; Pelotas, Brasil).

O solo foi disposto em bandeja de polietileno, como mostra a figura 6, e os indivíduos foram coletados do solo com pinça, contados e dispostos em potes de 300 ml.

Figura 6 – Monolitos de solo contendo invertebrados em bandeja de polietileno para contagem.



Fonte: A autora, 2023.

Posteriormente, adicionou-se solução de álcool 70% (AQUINO, 2001), em cada amostra, para preservar os organismos. Cabe ressaltar que, mesmo passados mais dias no campo, os organismos possuíam seus caracteres morfológicos intactos, não influenciando em sua identificação. Desta forma, a triagem foi realizada com auxílio de lupa binocular, sendo os indivíduos identificados em grandes grupos taxonômicos, baseado em Gallo *et al.* (1988) e Dindal (1990). Cada amostra tem 0,0625 m<sup>2</sup> e foram coletadas quatro amostras, sendo a área total amostrada= $4 \times 0,0625 = 0,25$  m<sup>2</sup>. Sabemos que 1 hectare (ha) = 10.000 m<sup>2</sup>, então o fator de conversão será:  $10.000 \times 0,25 = 40.000$ .

Cálculo da Abundância por Hectare: o número total de invertebrados coletados nas quatro amostras é N, a abundância estimada por hectare será:  $N \times 40.000$ . Já a riqueza específica é o número de espécies diferentes encontradas. O número de espécies por hectare pode ser simplesmente apresentado como pelas espécies registradas sem extrapolação.

Os dados da vegetação foram obtidos pelo censo ou inventário 100% que segundo Lameira (2021) é apropriado para pequenas áreas florestadas ou áreas com pequeno número de indivíduos, os quais qualificam e quantificam os

recursos referentes às espécies vegetais ocorrentes, especialmente as árvores lenhosas, quanto aos seus dados dendrométricos (número de indivíduos, diâmetros, áreas basais, volumes do fuste, etc.). O censo é vantajoso pela precisão das informações obtidas, viável neste caso devido ao tamanho da área e a impossibilidade de aplicação de amostragem por diferenciação de linhas de plantio (Soares *et al.*, 2012).

Com os dados de inventário 100% foram encontradas a riqueza de espécies (número de espécies presente em cada área), com esta, para seguir com as correlações e haver um padrão de tamanho, a riqueza foi extrapolada para hectares obtendo-se a densidade de espécies por hectare.

Também foi obtida a abundância de indivíduos das áreas e calculada a densidade de indivíduos por hectare, informação que melhor representa a distribuição vegetal e facilita os cálculos quando é indicado usar uma padronização e os dados fornecidos são de diferentes tamanhos de área. A abundância é a densidade absoluta de indivíduos de uma área, logo a riqueza é a densidade de espécies de uma área ou de uma população, que obtemos através do censo florestal. A partir da abundância calculamos a densidade de indivíduos por hectare e a partir da riqueza calculamos a densidade de espécies por hectare, para ter um valor comparável entre os SAF.

Foi medido o diâmetro à altura do peito (DAP) do fuste e bifurcações de todos os indivíduos localizados na área, pelo inventário de censo total conforme Barros; Souza; Barreira (2021). Para o cálculo da biomassa acima do solo, foi usado o diâmetro do fuste e bifurcações à altura do peito (DAP). Em Vogel (2013), todas as árvores foram cortadas e cubadas, obtendo-se os DAP e as alturas totais. Não foram utilizados variáveis como altura de copa e diâmetro de copa pois em estudos anteriores esses dados não trouxeram melhorias aos modelos e, portanto parece não ser necessários, principalmente pelas dificuldades operacionais para se obtê-los (Rügnitz, M. T.; Chacón, M. L.; Porro R., 2009).

Para desenvolver o estudo sem utilizar métodos destrutivos, foram utilizadas equações alométricas apresentadas na Tabela 2. Pois, segundo Teixeira (2003), para encontrar a biomassa por meio de modelos matemáticos a partir de dados de inventários florestais, através de equações alométricas de

espécies florestais presentes em bosques tropicais são, em sua maioria, função de uma única variável, o DAP.

Tabela 2 – Equações hipsométricas e referências.

Referência	Espécies	Equação <sup>1</sup>
<b>Barichello et al, 2005</b>	<i>Acacia mearsii</i>	$\ln y = -2,243429 + 2,456110 * \ln DAP$
<b>Vogel, 2006</b>	Nativas e demais fustes ramificados	$\log y = -0,785272784 + 2,029921789 * \log DAP$
<b>Vogel, 2006</b>	<i>Musa paradisiaca</i> L.	$0,03 * (DAP^{3,14})$
<b>Tiepolo et al. (2002)</b>	Areceaceae	$(0,3999 + (7,907 * Ht))$

Fonte: Autores/as (2024). Legenda: <sup>1</sup>ln base natural = 2,71828 Euler. DAP = diâmetro a altura do peito, Ht= altura total.

As equações foram aplicadas em cada indivíduo e se obteve a soma da biomassa de todos indivíduos de cada sistema agroflorestal. Como os sistemas agroflorestais são de tamanhos diferentes foi padronizada a quantidade por hectare.

Para a determinação do estoque de carbono, a biomassa florestal acima do solo foi utilizada nos cálculos com o fator de conversão de 0,5 segundo Arancibia (2021). Outros estudos apresentaram fatores de conversão próximos, como 47% a 52% em Lamlo e Savidge (2003); 48% em Malhi, *et al.* (2006); e Pregitzer e Euskirchen (2004) 45-50% do peso seco da biomassa é carbono.

Para determinação da biomassa da serrapilheira foi com base na massa seca determinada em laboratório, estimou-se a biomassa total para cada amostra por unidade de área (ha). E segundo os estudos de Cardoso *et al.* (2015), o carbono presente na massa de serrapilheira foi calculado pelo produto de 0,05 da quantidade total de serrapilheira mensurada para cada SAF.

### 3.3. Análise de Correlação

Foi aplicada uma análise de correlação utilizando a matriz de correlação de Pearson no programa *Phyton*. Essa análise mede a força e a direção da relação linear entre duas variáveis. Coeficientes próximos de +1 ou -1 indica uma relação forte, enquanto valores próximos de 0 indicam pouca ou nenhuma relação.

O coeficiente de correlação de Pearson é uma medida estatística usada para avaliar a força e direção da relação linear entre duas variáveis contínuas.

$$r = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Onde:

- $r = +1$ : correlação linear perfeita positiva
- $r = -1$ : correlação linear perfeita negativa
- $r = 0$ : ausência de correlação linear

A técnica é comumente usada em estudos ecológicos para entender como variáveis ambientais ou de manejo influenciam a qualidade do ecossistema (De Souza Rezende *et al.*, 2012).

Para cada valor de  $r$ , pode-se testar se a correlação é estatisticamente significativa usando:

$$t = \frac{r \cdot \sqrt{n - 2}}{\sqrt{1 - r^2}}$$

Onde:

- $n$  = número de pares de dados ( $n = 10$  neste caso)
- O valor de  $t$  segue uma distribuição t de Student com  $(n - 2)$  graus de liberdade
- O valor-p é a probabilidade de obter um  $r$  igual ou mais extremo sob a hipótese nula ( $H_0: r = 0$ )

### **3.4. Cálculo do Índice de Qualidade Ecosistêmica Agroflorestal – IQEA**

Os indicadores utilizados neste estudo foram escolhidos considerando sua relevância ecológica e a disponibilidade de dados em SAF. Os indicadores gerados foram: (Riqueza de espécies da vegetação por hectare; Densidade de espécies por hectare; Biomassa da vegetação ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ); Carbono estocado na vegetação ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ); Carbono na serrapilheira ( $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ); Índice de qualidade do solo (IQS); Riqueza específica de invertebrados por hectare; Abundância de invertebrados por hectare.

Para permitir a integração dos diferentes indicadores em uma única métrica, os dados foram normalizados usando a seguinte fórmula:

$$X_{norm} = \frac{(X - X_{min})}{(X_{max} - X_{min})}$$

Onde:  $X$  é o valor bruto do indicador,  $X_{min}$  e  $X_{max}$  são os valores mínimo e máximo para cada variável, respectivamente.

A normalização foi aplicada de modo que valores mais altos sempre representem melhores condições ambientais.

Como apresentado nos resultados, os indicadores têm forte correlação e não apresentam evidência robusta de um ser completamente mais crítico que o outro. Sendo assim, utilizaremos o método de atribuição de pesos *Equal Weight* em que os indicadores iniciam com pesos iguais.

Os valores normalizados foram agregados pelo método *Equal Weight*, atribuindo pesos iguais a todos os indicadores:

$$IQEA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{norm,i}$$

onde:

$N$  é o número total de indicadores

$X_{norm,i}$  é o valor normalizado do indicador  $i$

Os SAF foram comparados para determinar qual sistema apresenta maior sustentabilidade ecológica, se a idade de implantação possui influência, e quais variáveis são mais relevantes na tomada de decisão sobre o manejo agroflorestal.

#### **4. Capítulo 1 – Uso de Indicadores de Monitoramento na Criação do Índice de Qualidade Ecosistêmica Agroflorestal.**

##### **4.1. Introdução**

Nair (1993) foi um dos pioneiros a definir os SAF, descrevendo-os como sistemas de uso da terra onde se combinam plantas lenhosas perenes com

atividades de agricultura e/ou pecuária, estabelecendo uma interação econômico-ecológica entre seus componentes por meio de arranjos espaciais ou temporais. O autor ainda propõe três grandes subdivisões: 1) Agrosilvicultural; 2) Silvipastoril e; 3) Agrosilvipastoril. Obviamente, esse último sistema envolve a combinação de árvores, culturas agrícolas e/ou pastagens e animais. Os primeiros dois citados envolveriam respectivamente culturas agrícolas e animais além das árvores. O principal atrativo ambiental desses sistemas reside justamente na incorporação de espécies arbóreas às práticas agropecuárias.

Daniel *et al.* (2001) e Arco-Verde; Amaro (2015) ressaltam que as árvores proporcionam diversos benefícios, entre os quais se destacam: a possibilidade de exploração madeireira de forma controlada; a produção de alimentos e de produtos não madeireiros; o aumento da viabilidade produtiva; a ampliação da biodiversidade, tanto de flora quanto de fauna; a geração de combustíveis e medicamentos; a proteção contra erosões causadas pelo vento e pela água; além da ciclagem de nutrientes e da matéria orgânica no solo.

Os Sistemas Agroflorestais (SAF) desempenham um papel fundamental na mitigação das mudanças climáticas, conservação da biodiversidade e melhoria da qualidade do solo (de Oliveira *et al.*, 2023). Lima (2022) optou por selecionar indicadores ambientais capazes de representar os serviços ecossistêmicos essenciais decorrentes dos SAF na interação entre planta, solo, água e atmosfera. Estudos com este objetivo utilizaram metodologias que variaram desde análises de atributos físicos e químicos do solo e avaliações da biodiversidade vegetal e edáfica. Os SAF procuram recriar as condições de ambientes naturais, o que promove os principais serviços ecossistêmicos para mitigação de impactos de atividades humanas.

Segundo Pinto (2019); Campos (2022) os serviços ecossistêmicos (SE) podem ser definidos como os aspectos dos ecossistemas, utilizados de forma direta ou indireta, que contribuem para o bem-estar humano e a manutenção das condições biofísicas dos ecossistemas. Apesar de sua importância, o funcionamento dos mercados tradicionais não os considera nas transações econômicas, pois eles são considerados “gratuitos” ou “presentes” da natureza. Essa característica evidencia a dificuldade de quantificá-los, uma vez que não

podem ser convertidos em bens na economia e, na maioria dos casos, não podem ser extraídos ou separados da natureza (Ibrahim, 2024).

Para determinar a qualidade de um ecossistema e seus serviços ecossistêmicos pesquisas têm sido desenvolvidas com indicadores de monitoramento e qualidade ecológica. Enquanto Vasconcellos e Beltrão (2018) adotaram métricas qualitativas para mensurar serviços ecossistêmicos, Trindade (2022) aplicou uma abordagem integrada de sustentabilidade, avaliando o desempenho de sistemas em parâmetros ecológicos, econômicos e sociais. Os estudos apontaram melhorias significativas na qualidade do solo, como aumento da matéria orgânica e da atividade microbiológica (Vieira, 2021). Em SAF biodiversos, foi observado incremento na biodiversidade de espécies arbóreas e na oferta de serviços ecossistêmicos, como retenção de água e sequestro de carbono (Vasconcellos e Beltrão, 2018). No entanto, desafios permanecem, como a dificuldade de padronizar indicadores em diferentes idades e sistemas de manejo.

Entretanto, enquanto alguns indicadores têm valores padronizados – como é o caso da sedimentação em corpos hídricos –, outros, tais como a quantidade de nutrientes e o carbono total no solo, o acréscimo de biomassa aérea, a evapotranspiração e a biodiversidade, podem apresentar valores variados conforme o objetivo pretendido ou outros fatores bióticos que interagem com esses serviços (Vasconcellos e Beltrão, 2018).

Esforços consideráveis têm sido dedicados à criação de modelos biofísicos que integrem os conhecimentos fisiológicos, ecofisiológicos e agrônômicos em nível de campo, porém ainda não conseguiram transmitir seus resultados de forma eficaz (Xavier, 2012). Essa dificuldade incentivou o desenvolvimento de modelos que unificassem a abordagem biofísica com a tomada de decisão em uma única ferramenta operacional (Lizot *et al.*, 2022) Os autores, ao comparar e escolher alternativas técnicas, como diferentes sistemas de cultivo, encontraram opções com resultados excelentes em certos indicadores, mas menos satisfatórias em outros. Dessa forma, a integração dos dados provenientes de todos os indicadores pode ser adotada para selecionar os sistemas mais apropriados.

O presente estudo tem o objetivo de encontrar a correlação dos indicadores de qualidade ecológica em sistemas agroflorestais no sul do Rio

Grande do Sul e gerar um índice de qualidade ecossistêmica, que envolve a sistematização desses indicadores em uma única medida, e será nomeado de Índice de Qualidade Ecossistêmica Agroflorestal (IQEA), que reflita a qualidade ecológica e o desempenho dos sistemas agroflorestais ao longo do tempo.

## 4.2. Resultados e Discussão

A Tabela 3 apresenta os resultados dos indicadores de qualidade em relação ao solo para os diferentes sistemas agroflorestais (SAF).

Tabela 3 – Dados quantitativos do solo

Sistema	Solo			Invertebrados do Solo			
	Serrapilheira Mg.ha <sup>-1</sup>	Carbono na Serrapilheira	Índice de qualidade do Solo (IQS)	Riqueza específica	Abundância	Densidade média por hectare	Densidade média por SAF
SAF1	7,993	0,39965	0,560675	8	248	9920000	3964528
SAF2	5,551	0,27755	0,454039	9	26	1040000	288652
SAF3	7,529	0,37645	0,457323	14	403	16120000	6068374
SAF4	7,916	0,3958	0,498472	11	96	3840000	1519872
SAF5	3,939	0,19695	0,615838	10	195	7800000	1536210
SAF6	7,811	0,39055	0,596268	16	104	4160000	1624688
SAF7	3,204	0,1602	0,586712	16	414	16560000	2652912
SAF8	5,269	0,26345	0,520912	15	150	6000000	1580700
SAF9	6,793	0,33965	0,556	19	106	4240000	1440116
SAF10	1,508	0,0754	0,479792	9	399	15960000	1203384

Legenda: Mg.ha<sup>-1</sup> = megagramas por hectare, segundo o Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).

Observa-se que os valores de produção de serrapilheira e carbono na serrapilheira variaram amplamente entre os sistemas, com destaque para o SAF1 (7,993 Mg.ha<sup>-1</sup>) e SAF4 (7,916 Mg.ha<sup>-1</sup>), o que evidencia elevada deposição de serrapilheira, que, segundo observou França (2024), no manejo de um sistema agroflorestal de café, o aporte de serrapilheira do solo deriva principalmente de podas regulares.

No que se refere à riqueza específica de invertebrados do solo, foi observado no SAF9 a maior riqueza específica (19 espécies), seguido por

SAF6, SAF7 e SAF8, com 16, 16 e 15 espécies, respectivamente. Em termos de abundância, SAF7 e SAF3 destacaram-se com 414 e 403 indivíduos, respectivamente. Os resultados podem indicar ambientes mais estáveis e favoráveis à fauna edáfica, que segundo Teixeira *et al.*(2025), é um reflexo das complexas interações ecológicas, do manejo do solo, como o uso de culturas de cobertura, a rotação de culturas e a presença de matéria orgânica superficial.

O Índice de Qualidade do Solo (IQS) obtido pela fórmula descrita na metodologia com os dados do laudo de análise do solo apresentados no Anexo A, utilizou as classes apresentadas por Melo Filho *et al.* (2009): IQS < 0,50 (ruim); IQS entre 0,50 a 0,70 (média); e IQS > 0,71 (ótima). Sendo assim, o IQS oscilou entre 0,454 (SAF2) e 0,615 (SAF5). Os SAF2, SAF3, SAF4 e SAF 10 obtiveram resultado ruim, que pode ser atribuído a implantação muito recente do SAF10, mas os demais podem estar relacionados devido a baixa fertilidade destes solos, a degradação anterior à implantação (SAF3), revolvimento constante (SAF2) e de tráfego de máquinas e animais (SAF4), apesar de serem SAF mais maduros.

Já os valores médios do IQS para os demais SAF, indicam uma melhoria da capacidade de retenção e armazenamento de água, redução da acidez e aumento da oferta de nutrientes segundo Melo Filho *et al.* (2009) que avaliaram o índice de qualidade de um Latossolo Amarelo coeso cultivado com citros sob um sistema tradicional de uso e manejo em que o valor obtido foi de 0,54, classificado como regular. Segundo os autores, esse resultado ainda deve receber cuidados no uso e manejo pelas suas limitações como alta resistência do solo à penetração, baixa permeabilidade à água e reduzido teor de matéria orgânica, fatores que comprometem o desenvolvimento e o aprofundamento do sistema radicular.

A Tabela 4 apresenta dados quantitativos de vegetação florestal dos SAF, destacando métricas como riqueza e densidade de espécies, abundância de indivíduos, biomassa e estoque de carbono. Observa-se que o SAF1, com 10 anos de idade, se destaca por apresentar a maior riqueza de espécies (83), a maior abundância total (774 indivíduos), e também os maiores valores de biomassa (55,01 Mg.ha<sup>-1</sup>) e carbono estocado (27,5 Mg.ha<sup>-1</sup>). Esse desempenho superior pode ser atribuído à maturidade do sistema (10 anos) e a

riqueza de espécies e abundância pela composição do sistema, o que pode ter gerado estabilidade ecológica acumulada ao longo do tempo. De forma similar, SAF3, também com 10 anos, mantém altos índices de densidade e biomassa, evidenciando a importância da idade do sistema para o acúmulo de matéria vegetal e o incremento dos serviços ecossistêmicos.

Tabela 4 – Dados quantitativos de vegetação.

SAF	Vegetação Florestal							
	Área há	Idade	Riqueza de espécies	Densidade de espécies /há	Abundância	Densidade de indivíduos /há	Biomassa Mg.ha <sup>-1</sup>	Carbono Mg.ha <sup>-1</sup>
SAF1	0,3023	10 anos	83	274,561694	774	2560,37049	55,0101037	27,5050519
SAF2	0,2008	6 anos	47	234,063745	336	1673,30677	20,6238592	10,3119296
SAF3	0,1501	10 anos	43	286,475683	299	1992,00533	33,4465046	16,7232523
SAF4	0,2502	7 anos	19	75,9392486	284	1135,09193	102,52019	51,2600948
SAF5	0,3701	4 anos	8	21,6157795	187	505,268846	28,4747441	14,237372
SAF6	0,2535	7 anos	35	138,067061	409	1613,41223	59,6844437	29,8422218
SAF7	0,1528	3 anos	26	170,157068	232	1518,32461	24,2030531	12,1015265
SAF8	0,0798	3 anos	18	225,56391	97	1215,53885	12,2342745	6,11713723
SAF9	0,0502	5 anos	30	597,609562	95	1892,43028	16,1344171	8,06720854
SAF10	0,1503	2 anos	29	192,947438	160	1064,53759	3,44585956	1,72292978

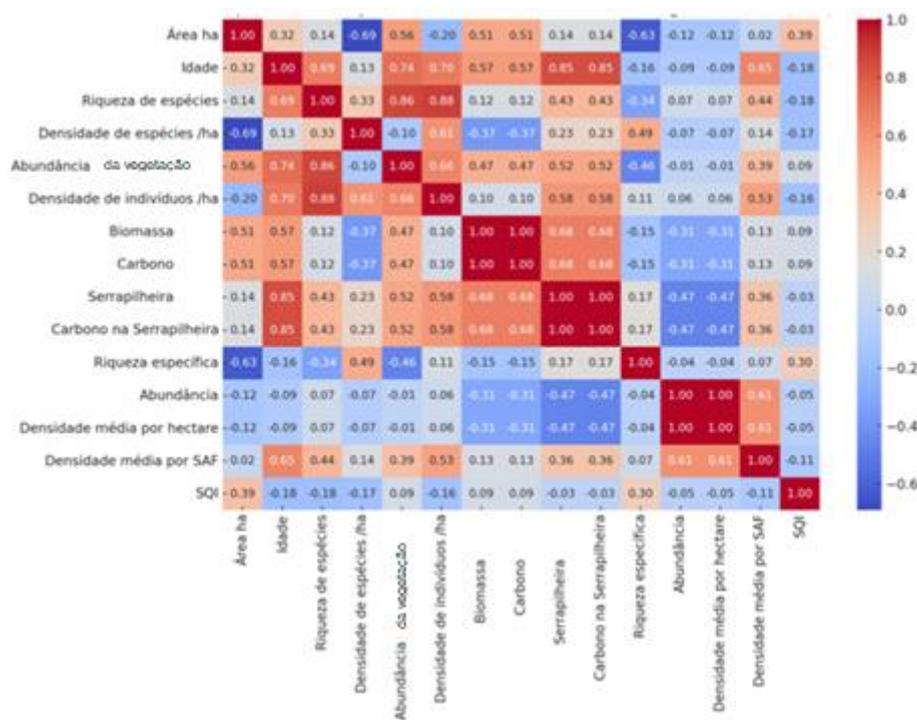
Legenda: Mg.ha<sup>-1</sup> = megagramas por hectare, segundo o Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).

A relação entre a riqueza florística e acúmulo de biomassa e carbono em SAF tem sido amplamente discutida na literatura. O estudo de Rode (2008) aponta que a riqueza de espécies e abundância de indivíduos, ou seja, um maior número por área de plantio contribui significativamente para a estrutura vertical, oferecendo maior porte de material vegetal e do sistema e sua resiliência ecológica, resultando em maior produtividade de biomassa e sequestro de carbono. Além disso, segundo Fernandes (2021), que avaliou os efeitos de técnicas de restauração na estrutura e diversidade de uma área de preservação permanente na Mata Atlântica, a densidade de espécies e indivíduos está relacionada ao grau de manejo e à composição florística inicial dos sistemas, o que pode explicar a baixa riqueza e biomassa observadas em SAF mais jovens, como o SAF10 (2 anos, 29 espécies, 1,72 Mg C.ha<sup>-1</sup>). Assim, o tempo de implantação, aliado à riqueza de espécies e à densidade

populacional, revela-se como fator determinante para a sustentabilidade e funcionalidade dos SAF, conforme também discutido por Leite *et al.* (2010) e Araújo *et al.* (2018).

Com base na matriz de correlação de Pearson dos dados dos SAF (Figura 7), é possível estabelecer comparações com estudos ecológicos mais amplos que envolvem riqueza de espécies, abundância de indivíduos, biomassa vegetal e qualidade do solo em ecossistemas florestais naturais e restaurados. O coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) e o valor-p são métricas complementares que, quando analisadas em conjunto, permitem avaliar não apenas a intensidade da relação entre duas variáveis, mas também sua confiabilidade estatística. O coeficiente  $r$  varia de -1 a 1, sendo que valores próximos a 1 indicam correlação positiva forte, valores próximos a -1 indicam correlação negativa forte, e valores próximos a 0 indicam ausência de relação linear.

Figura 7: Matriz de Correlação de Pearson ( $r$ )



A análise da matriz de correlação revela que os atributos com relações mais fortes e significativas foram entre biomassa vegetal e carbono ( $r = 1.00$ ), e entre serrapilheira e carbono na serrapilheira ( $r = 0.85$ ), indicando que o

acúmulo de matéria orgânica está diretamente associado ao sequestro de carbono. Relações moderadas, como biomassa e serrapilheira ( $r = 0.68$ ), e riqueza de espécies vegetais com abundância ( $r = 0.86$ ), reforçam a influência da diversidade vegetal na estruturação do sistema. Por outro lado, a riqueza de invertebrados apresentou correlação negativa com a área dos sistemas ( $r = -0.63$ ), e a abundância de invertebrados se correlacionou negativamente com a quantidade de serrapilheira ( $r = -0.47$ ), sugerindo que o excesso de cobertura orgânica ou a heterogeneidade espacial podem limitar certos grupos da fauna edáfica. O Índice de Qualidade do Solo (IQS) apresentou correlações fracas com todas as variáveis isoladas, o que reforça seu caráter integrador, refletindo múltiplos processos físicos, químicos e biológicos. Esses resultados evidenciam a complexidade das interações ecológicas nos SAFs, nas quais a biodiversidade e a biomassa não garantem, isoladamente, melhorias na qualidade do solo, exigindo abordagens de manejo mais sistêmicas.

O valor- $p$ , por sua vez, indica o grau de confiança estatística associado a cada valor de  $r$ . Quando  $p < 0.05$ , entende-se que há uma probabilidade inferior a 5% de que a correlação tenha ocorrido por acaso, o que confere significância estatística à relação. Assim, correlações como a de biomassa e carbono, além de extremamente altas, são também estatisticamente confiáveis ( $p \approx 0$ ), enquanto correlações com  $p > 0.05$ , como entre abundância de invertebrados e serrapilheira ( $r = -0.47$ ;  $p > 0.05$ ), apesar de ecologicamente plausíveis, não são estatisticamente significativas. Isso indica que tais relações podem ter sido influenciadas por fatores não observados ou por variabilidade natural nos dados.

Valores extremamente baixos, como os encontrados nas correlações entre biomassa e carbono ( $p \approx 0$ ), serrapilheira e carbono nela ( $p < 0.001$ ), e riqueza vegetal com abundância ( $p < 0.01$ ), reforçam a robustez dessas relações, indicando que há forte evidência estatística para rejeitar a hipótese nula de ausência de correlação. De forma semelhante, relações como idade do SAF com carbono na serrapilheira, e com abundância total, também apresentaram  $p$ -valores abaixo de 0.05, confirmando sua significância. Já relações com  $p$  próximo a 0.05, como a entre área e densidade de espécies por hectare ( $p \approx 0.027$ ), embora ainda estatisticamente significativas, exigem uma

interpretação mais cautelosa devido à proximidade com o limiar convencional. Em conjunto, os valores-p associados às maiores correlações do estudo conferem alta confiabilidade às inferências ecológicas feitas com base nesses dados, validando a consistência estatística dos padrões observados.

O trabalho de Pezarico (2009) analisou a relação entre atributos da vegetação e a qualidade do solo em SAF no Cerrado e identificou correlações positivas entre diversidade florística e conteúdo de carbono do solo, reforça a observação presente nos dados analisados, onde biomassa vegetal apresentou correlação forte com o carbono vegetal ( $r = 1.00$ ) e com a serrapilheira ( $r \approx 0.68$ ). Esse padrão também está em conformidade com o estudo de Giongo *et al.* (2011), no qual foi constatado que a ciclagem de nutrientes e o sequestro de carbono são ampliados em ecossistemas com maior complexidade estrutural e riqueza de espécies, fortalecendo a tese de que sistemas florestais biodiversos tendem a promover maior acúmulo de biomassa e melhoria nos atributos edáficos.

No entanto, os dados do presente estudo também revelam que a riqueza da vegetação, por si só, não garante necessariamente uma melhora direta em todos os indicadores do solo. Isso vai ao encontro do que demonstraram Parron *et al.* (2015), ao discutir os serviços ambientais de SAF na Mata Atlântica, indicando que o simples aumento na riqueza de espécies pode não ser suficiente para promover efeitos positivos em indicadores complexos como o Índice de Qualidade do Solo (IQS), o qual depende de interações multivariadas, incluindo processos microbiológicos, pH e estrutura física. Adicionalmente, Vasconcellos (2019) destaca que, em fragmentos florestais urbanos, a relação entre biomassa e qualidade do solo só se consolida com a presença contínua de manejo ecológico, o que explica, nos dados aqui analisados, o desempenho mediano de SAF jovens com alta densidade, mas baixo IQS. Tais resultados demonstram a importância de estratégias integradas de manejo para que abundância vegetal e biomassa resultem efetivamente em ganhos sustentáveis à qualidade do solo.

Os resultados indicam que a biomassa é um forte indicador de qualidade ecológica nos sistemas agroflorestais, corroborando estudos que ligam maior biomassa à melhoria da qualidade do solo e resiliência do ecossistema (Chazdon, 2008). Os SAF 5, 6 e 7 destacam-se por suas condições superiores,

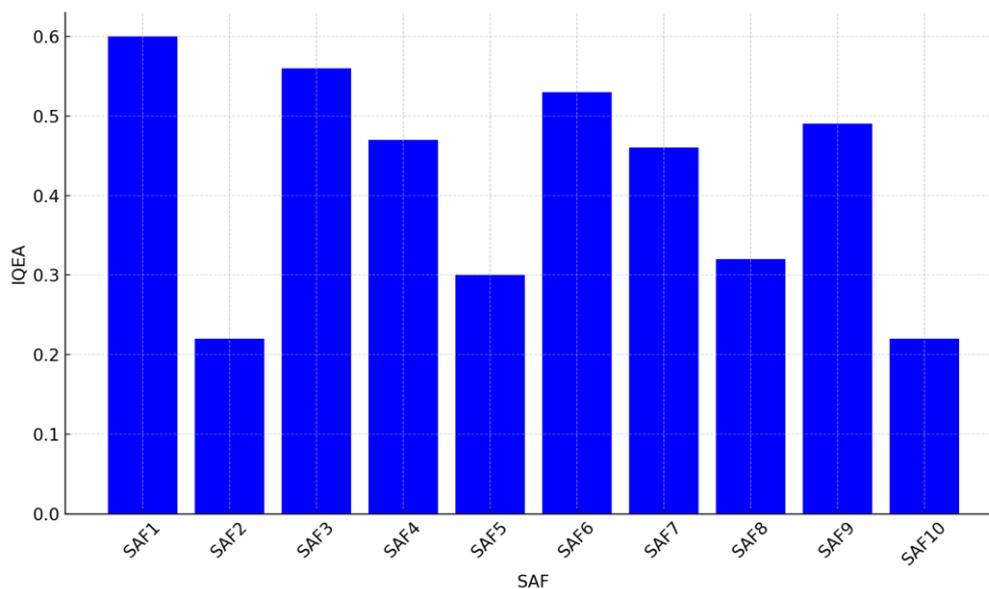
sugerindo que práticas que promovam o aumento da biomassa podem ser benéficas para a sustentabilidade e qualidade do solo.

Os SAF1 e SAF3 apresentaram maior riqueza de espécies, tiveram melhor capacidade de retenção de biomassa e carbono. Já os SAF como SAF5 e SAF7, que tiveram alta biomassa e serrapilheira, também apresentaram maior diversidade de invertebrados. Segundo Manhães e Francelino (2013) ao estudar as interações ecológicas no solo, afirmaram que sistemas com alta abundância vegetal fornecem maior aporte de matéria orgânica, criando um ambiente mais favorável para invertebrados e microrganismos do solo, importantes para a ciclagem de nutrientes e manutenção da fertilidade do solo. Em contrapartida, SAF mais jovens, com baixa biomassa e menor densidade de espécies vegetais apresentaram menos matéria orgânica e menor abundância de invertebrados, como observado no SAF10.

Os resultados sugerem que os indicadores de qualidade ecossistêmica estudados trazem as informações necessárias para maximizar a sustentabilidade e a qualidade ecossistêmica dos SAF. Os SAF 5, 6 e 7 destacam-se como melhores resultados na qualidade ecossistêmica de agroflorestas sustentáveis, pois combinam alta biomassa, abundância e riqueza vegetal e qualidade do solo.

Sendo assim, os indicadores foram utilizados para desenvolver o Índice de Qualidade Ecossistêmica Agroflorestal, conforme a metodologia apresentada anteriormente. Os resultados são apresentados e analisados para cada SAF no gráfico da Figura 8.

Figura 8 – Comparação do IQEA por SAF.



Os resultados do gráfico mostram que há uma variação significativa no IQEA entre os diferentes sistemas agroflorestais (SAF). O SAF1 apresenta o maior IQEA (0.59), o que indica uma condição ecossistêmica mais favorável, o que pode ser um resultado da alta riqueza de espécies e biomassa acumulada. O SAF3 e SAF6 destacam-se na sequência e reforçam a importância da vegetação e qualidade do solo na composição do índice. Os SAF4, SAF7 e SAF 9 com valores intermediários, dada a contribuição da vegetação e qualidade do solo na composição do índice.

O SAF2 e SAF10 apresentam os menores valores de IQEA (~0.22), e atmbém menor riqueza vegetal e qualidade do solo, o que pode impactar negativamente os serviços ecossistêmicos. Isso reforça a literatura científica que destaca a importância da riqueza vegetal na manutenção da estabilidade ecológica e na oferta de serviços ecossistêmicos, como a proteção do solo contra erosão e o aumento da retenção de carbono como observado por Schroth *et al.* (2013) em paisagens de floresta tropical.

Outro aspecto relevante foi relação entre o carbono na serrapilheira e o índice de qualidade do solo (IQS). O SAF4, por exemplo, obteve um dos maiores estoques de carbono na serrapilheira, o que sugere um ciclo de nutriente mais eficiente e uma maior fertilidade do solo. A serrapilheira é fundamental para a decomposição da matéria orgânica, influencia diretamente

a disponibilidade de nutrientes para as plantas e a atividade microbiana do solo (da Silva, Périco e Cajaíba, 2019). Os autores analisaram a decomposição da serrapilheira em diferentes ecossistemas florestais tropicais e concluiu que sua presença favorece a ciclagem de nutrientes, a fertilidade do solo e estimula a atividade microbiana, sendo essencial para o equilíbrio ecológico.

A presença de invertebrados do solo é um indicativo da qualidade do ambiente agroflorestal. SAF com alta abundância e densidade de invertebrados, como SAF3 e SAF7, demonstraram melhores condições ecossistêmicas, e segundo Bartz *et al.* (2014), em seu estudo de enriquecimento do solo com população de minhocas, a riqueza e abundância de invertebrados do solo, como minhocas, são indicadores sensíveis da qualidade ecológica de ambientes agrícolas, especialmente em sistemas agroflorestais e de pastagem, devido à sua relação com a matéria orgânica, estrutura do solo e processos ecológicos.

Em contraste, sistemas como o SAF2 e SAF5, que apresentam menor diversidade de invertebrados do solo, podem estar relacionados com solos mais compactados e menos férteis, o que afeta negativamente a atividade biológica do solo, reduz a infiltração de água e limita o crescimento das raízes e, por consequência, a produtividade agroflorestal. Decaëns *et al.* (2006) demonstraram que a baixa diversidade de invertebrados do solo está associada à compactação, menor fertilidade e degradação das funções ecológicas do solo, comprometendo a produtividade dos ecossistemas agrícolas.

### **4.3. Conclusões**

O desenvolvimento do Índice de Qualidade Ecossistêmica Agroflorestal (IQEA) mostrou-se uma abordagem promissora para avaliar a qualidade ambiental de sistemas agroflorestais. A normalização dos dados e a atribuição de pesos iguais permitiram uma comparação objetiva entre diferentes SAF.

Além disso, a implementação do IQEA pode auxiliar na tomada de decisão para práticas de manejo sustentável, permite intervenções direcionadas para melhorar a biodiversidade e a qualidade do solo. No futuro, a incorporação de mais variáveis ambientais e séries temporais pode refinar

ainda mais esse índice e permitir a implementação de estratégias de monitoramento contínuo de sistemas agroflorestais.

## **5. Capítulo 2 – Estoque de Carbono Acima do Solo de Sistemas Agroflorestais no Rio Grande do Sul, Brasil.**

### **5.1. Introdução**

Os sistemas agroflorestais são agroecossistemas que, por definição, integram o cultivo de árvores em paisagens agrícolas (Sangalli, 2021), e/ou combinam elementos da agricultura e/ou da pecuária com elementos florestais, simultaneamente ou em sequência em uma mesma área onde as interações entre seus elementos promovem múltiplos produtos e/ou benefícios ambientais (Ewert *et al.*, 2016).

Um sistema agroflorestal deve necessariamente incluir pelo menos um componente arbóreo (May *et al.*, 2008). Quanto mais biodiverso e abundante a agrofloresta, mais próxima de cumprir importantes serviços ao ecossistema, como a produção de biomassa e através dela o estoque de carbono resulta no uso mais sustentável da terra, aumenta a resistência às variações climáticas (Torralba, 2016).

No contexto das atuais alterações climáticas, a avaliação do armazenamento de carbono é um dos objetivos mais importantes da gestão florestal e agrícola (Affleck, 2019). As atividades antropogênicas podem reduzir (através do desmatamento ou mudança no uso da terra) ou aumentar (através do manejo florestal sustentável, florestamento e reflorestamento) o armazenamento de carbono florestal (Jandl *et al.*, 2015; Noormets *et al.*, 2015).

Segundo o IPCC (2014), as alternativas mais econômicas de sequestro de carbono na área florestal são a redução do desmatamento, manejo florestal sustentável e reflorestamento. Diferentes formações e espécies florestais desempenham um papel vital na remoção do dióxido de carbono da atmosfera e na conversão em biomassa. IPCC (2014) explica que a biomassa é todo material vegetal oriundo do processo de fotossíntese, majoritariamente concentrado no tronco de espécies florestais, também encontrado em folhas e raízes, ou no material depositado na superfície do solo.

O carbono estocado pode estar relacionado à densidade da floresta, sendo assim pode variar com a idade e a composição das espécies (Richardson *et al.*, 2009, Zhang *et al.*, 2015). Segundo Vickers *et al.* (2021), a dinâmica de regeneração e rebrota de espécies de sub-bosque é influenciada por fatores físicos como clima e solo, e também é alterada através de distúrbios como estações chuvosas, estiagens e fogo, o que influencia na produção de biomassa. Para Kulikowski *et al.* (2023), a taxa de crescimento diminui quando a floresta gradualmente se torna madura, o que faz com que a biomassa diminua com a maturidade do povoamento (Xu *et al.*, 2016).

A restauração de florestas ciliares, por exemplo, segundo Soares *et al.* (2023), além dos fatores ecológicos, deve considerar a capacidade das espécies plantadas de armazenar carbono em sua biomassa. Segundo Danelli, Fisch; Vieira (2016), em estudo de agroflorestas para produção de frutos de *Euterpe edulis* e áreas de floresta secundária da Mata Atlântica, concluíram que as variações observadas na estrutura e na biomassa florestal foram decorrentes do histórico e forma de uso da terra (consórcio em bananais e florestas secundárias), como da fitofisionomia e o componente florestal influenciou a biomassa e o estoque de carbono estimado; a palmeira juçara foi o principal componente da estrutura e da biomassa das áreas manejadas; e a presença de árvores de grande porte alterou positivamente esses valores em parcelas nas quais estavam presentes, enquanto isso, as áreas em consórcio com banana apresentaram os menores valores de biomassa e estoque de carbono.

O carbono também pode ser estocado na deposição de material florestal no solo, composto por folhas, flores, sementes e galhos (Cardoso *et al.*, 2015). A estimativa do estoque de carbono na serrapilheira representa apenas 5% do armazenamento total de carbono do ecossistema florestal, mas é uma parte indispensável do reservatório de carbono, bem como uma parte importante da circulação de materiais do ecossistema florestal. É também a ligação entre o estoque de carbono da vegetação e o estoque de carbono do solo (Pan *et al.* 2011). O armazenamento de carbono da serrapilheira pode ser calculado multiplicando a quantidade existente de serrapilheira e o a concentração de carbono (0,5) (Li *et al.*, 2024).

Para compreender melhor a dinâmica do estoque de carbono, o objetivo deste estudo foi conhecer a quantidade de biomassa presente na agrofloresta os fatores que influenciam na produção de biomassa e carbono. Especificamente, os objetivos foram:

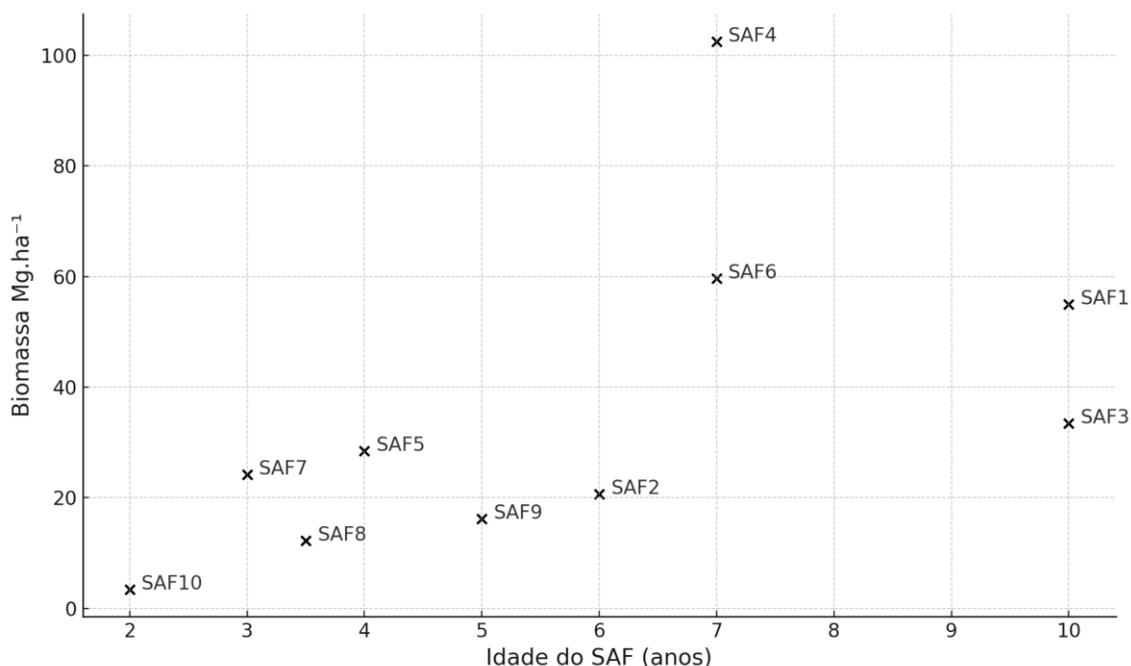
- Estimar o estoque de carbono acima do solo em biomassa arbórea e o estoque de carbono na serrapilheira de SAF implantados em pequenas propriedades rurais familiares no Sudeste do Rio Grande do Sul.
- Verificar quais os parâmetros (idade, riqueza, abundância dos sistemas) que mais influenciam o estoque de carbono nos sistemas agroflorestais estudados.
- Avaliar a relação entre os parâmetros selecionados e a biomassa para determinar quais SAF possuem maior ou menor potencial de estoque de carbono e como manejar os sistemas para uma maior produção de carbono.

## **5.2. Resultados e Discussão**

Os Sistemas Agroflorestais (SAF) analisados apresentaram variações expressivas na produção de biomassa e carbono.

Como podemos ver na figura 9, a análise de dispersão evidencia uma tendência geral de aumento do estoque de carbono com o avanço da idade dos Sistemas Agroflorestais (SAFs), o que corrobora a expectativa de que o acúmulo de biomassa ao longo do tempo favorece o sequestro de carbono. No entanto, essa relação não é linear nem uniforme entre os sistemas avaliados.

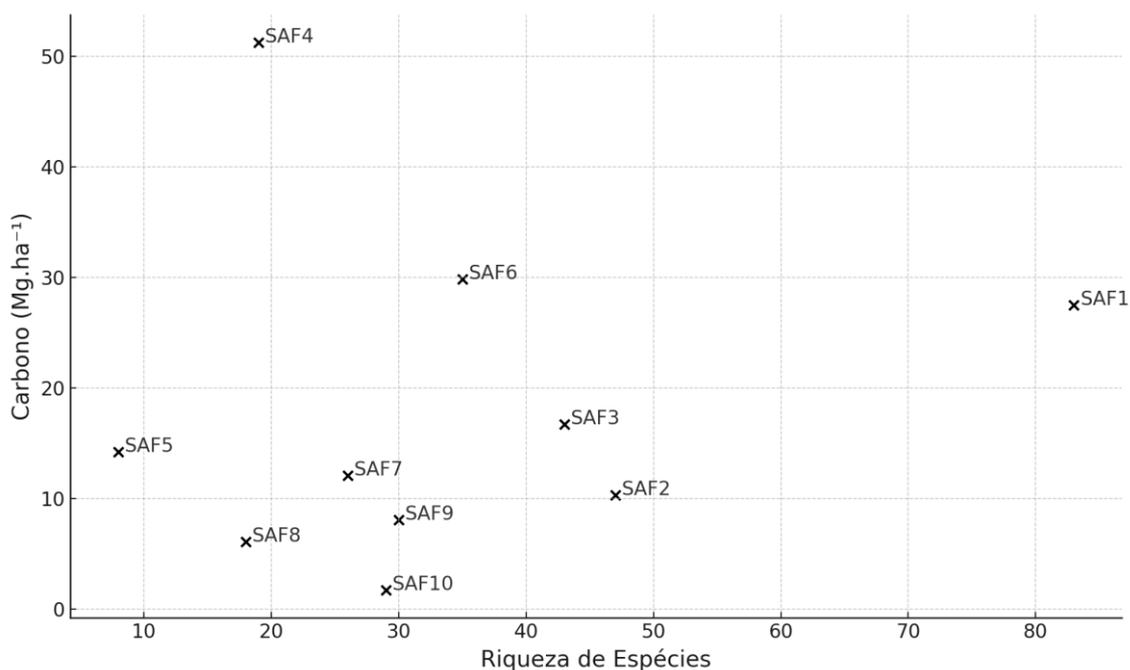
Figura 9 – Gráfico de dispersão: estoque de carbono x idade.



O SAF4, com apenas 7 anos, apresenta o maior estoque de carbono (51,26 Mg.ha<sup>-1</sup>), superando até mesmo sistemas mais antigos como SAF1 e SAF3, ambos com 10 anos, cujos valores foram de 27,50 Mg.ha<sup>-1</sup> e 16,72 Mg.ha<sup>-1</sup>,. Isso sugere que, embora a idade do sistema influencie o acúmulo de carbono, ela não é o único fator responsável por essa variação. Isso vem de encontro as descobertas de Neves (2012) em que a composição florística e o manejo agroecológico afetam diretamente a acumulação de biomassa e carbono e a ciclagem de nutrientes em sistemas agroflorestais no Brasil. Da mesma forma, Arancibia (2021) analisou a relação entre características do solo, diversidade de espécies e práticas de manejo dos SAF, fatores que encontrou terem muita influência no estoque de carbono.

A figura 10, com a análise de estoque de carbono em relação à riqueza de espécies vegetais, revela uma tendência geral de que maior riqueza de espécies está associada a maiores estoques de carbono, embora com algumas exceções importantes. SAF1, com a maior riqueza florística (83 espécies), também apresenta um dos estoques de carbono mais elevados (27,50 Mg.ha<sup>-1</sup>), indicando isso pode contribuir para um maior acúmulo de biomassa e, conseqüentemente, de carbono.

Figura 10 - Gráfico de dispersão: estoque de carbono x riqueza de espécies vegetais.

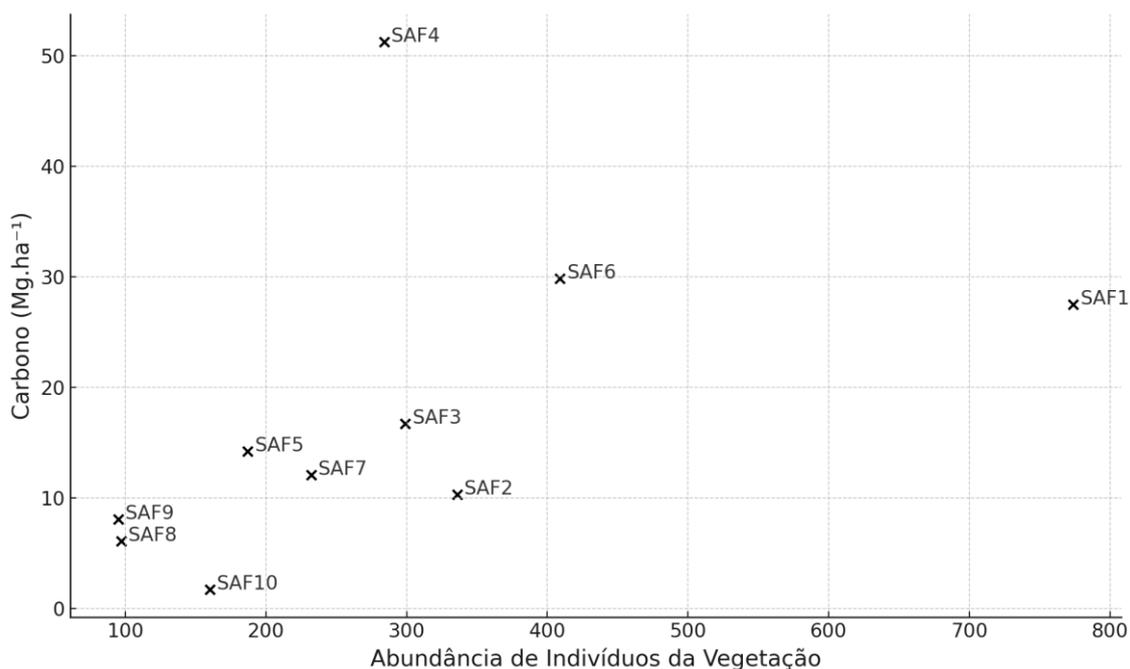


Entretanto, o SAF4, com apenas 19 espécies, destacou-se com o maior estoque de carbono ( $51,26 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ) entre todos os sistemas. Isso reforça a ideia de que a riqueza de espécies não é o único fator que determina o sequestro de carbono. O caso do SAF4, onde a espécie dominante é *Acacia mearnsii*, exemplifica como a escolha de espécies de rápido crescimento pode resultar em altos estoques de biomassa em menos tempo, como evidenciado por Souza *et al.* (2013), que demonstraram o elevado potencial de produção de biomassa e acúmulo de nutrientes dessa espécie em plantios no sul do Brasil.

Por outro lado, SAFs como o SAF10 e SAF8, que possuem níveis intermediários de riqueza entre os SAF estudados (29 e 18 espécies), apresentam estoques de carbono muito baixos entre os sistemas ( $1,72$  e  $6,12 \text{ Mg.ha}^{-1}$ , respectivamente). Esse padrão é esperado em sistemas jovens, como apontou Cardozo (2018) em sistemas agroflorestais em estágios iniciais de sucessão (<5 anos), em que apresentam menores estoques de carbono (em torno de  $8\text{--}12 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ), devido ao reduzido porte das espécies e ao tempo limitado para acúmulo de biomassa. Dos Santos, Kato e Tourinho (2019) indicam que, embora a riqueza florística contribua para a estabilidade ecológica, é o porte funcional das espécies (altura, diâmetro e taxa de crescimento) que determina o estoque de carbono em SAFs recém-

implantados. Para complementar, Rebêlo *et al.* (2023) mostraram que o estoque de carbono aumenta gradualmente com o tempo e está correlacionado com a acumulação de serrapilheira e biomassa aérea, sendo limitado nos primeiros anos após o plantio. Estes estudos também corroboram com os resultados da abundância de indivíduos da vegetação (Figura 11).

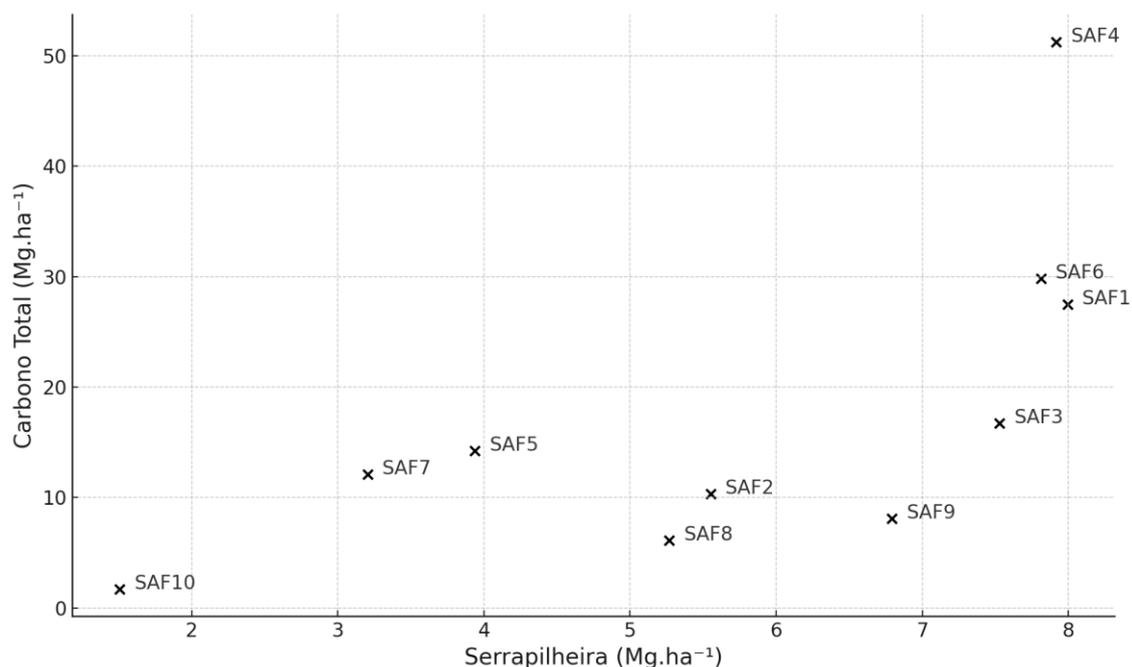
Figura 11 – Gráfico de dispersão: estoque de carbono x abundância da vegetação.



O SAF1, com a maior abundância de indivíduos (774), apresenta um estoque intermediário de carbono (27,5 Mg.ha<sup>-1</sup>), enquanto o SAF4, com apenas 284 indivíduos, apresenta o maior estoque de carbono (51,26 Mg.ha<sup>-1</sup>). Por outro lado, SAFs como SAF8 e SAF9, com baixas abundâncias (97 e 95 indivíduos), também exibem baixos estoques de carbono (6,1 e 8,1 Mg.ha<sup>-1</sup>), o que está de acordo com o padrão esperado para sistemas em estágios iniciais ou com espécies de menor porte. Esse padrão evidencia que a abundância total de indivíduos não necessariamente reflete maior acúmulo de carbono, pois o porte das espécies, seu estágio de crescimento e sua densidade de biomassa são fatores críticos. Sendo assim, é a composição estrutural e funcional da vegetação que mais impacta no resultado, conforme reforçado por estudos como Souza *et al.* (2013) e Rebêlo *et al.* (2023), que destacam a importância do tipo de espécie e da biomassa individual na capacidade de armazenamento de carbono.

A figura 12 revela uma correlação positiva moderada entre a quantidade de serrapilheira e o estoque total de carbono na vegetação, sugerindo que SAF com maior acúmulo de material orgânico na superfície também tendem a reter mais carbono em sua estrutura arbórea.

Figura 12 – Gráfico de dispersão: estoque de carbono x serrapilheira..

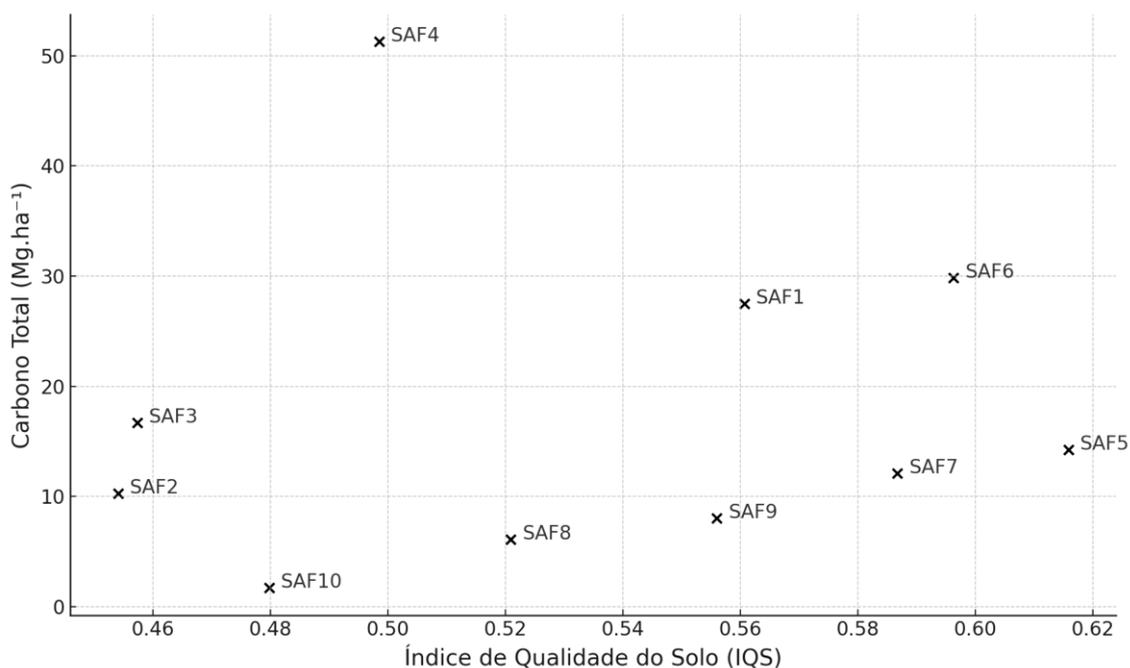


Os SAF1, SAF3, SAF4 e SAF6, com valores de serrapilheira superiores a 7 Mg.ha<sup>-1</sup>, também apresentam estoques elevados de carbono (acima de 27 Mg.ha<sup>-1</sup>). A relação entre Carbono Mg.ha<sup>-1</sup> e Serrapilheira Mg.ha<sup>-1</sup>, indica que SAF com maior estoque de carbono tendem a ter maior deposição de material superficial do solo. SAF4 e SAF6 possuem altos estoques de carbono e elevada deposição de serrapilheira, reforça a importância do acúmulo de biomassa através do uso de espécies madeireiras de alta produção de serrapilheira, *Acacia mearnsii* (Acácia-negra) no SAF4 e árvores nativas lenhosas no SAF6, por exemplo, *Cordia trichotoma* (louro-pardo), *Cabralea canjerana* (canjerana) *Cedrela fissilis* (cedro), *Patagonula americana* (guajuvira), como pode ser observado no Apêndice 1. SAF1 e SAF3 também apresentam boa deposição de serrapilheira, o que pode ser relacionado com as espécies e a densidade de indivíduos apresentada anteriormente.

A figura 13 apresenta a dispersão dos valores de índice de qualidade do solo (IQS) em relação ao estoque de carbono. Os SAF1, SAF6 e SAF5 apresentam altos valores de IQS ( $\geq 0.56$ ) e estão entre os que registraram

maiores estoques de carbono (27,5; 29,8 e 14,2 Mg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente). Por outro lado, o SAF4, que possui IQS intermediário (0,498), destaca-se com o maior estoque de carbono (51,26 Mg.ha<sup>-1</sup>).

Figura 13 – Gráfico de dispersão: estoque de carbono x índice de qualidade do solo (IQS)

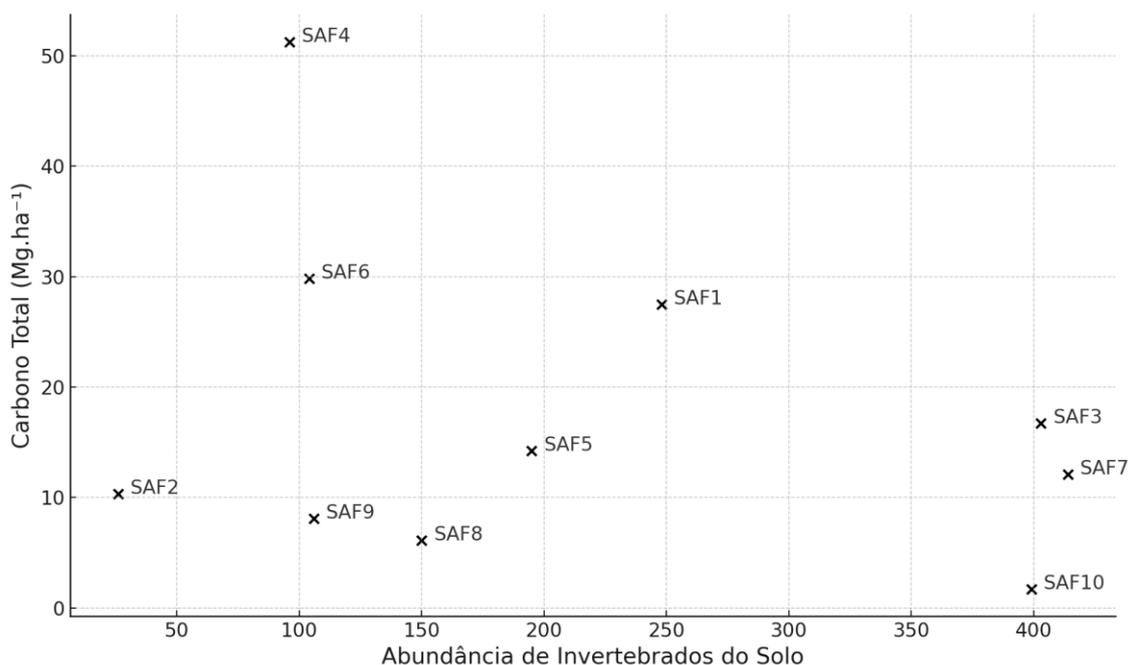


Assim como Santos *et al.* (2015) demonstraram que o IQS está positivamente correlacionado com o conteúdo de carbono orgânico no solo, sendo um indicador eficiente do potencial de sequestro de carbono em sistemas agrícolas e florestais, Melo Filho (2009) concluiu que solos com baixos teores de matéria orgânica e alta compactação apresentaram menor IQS e menor capacidade de armazenamento de carbono, afetando o crescimento radicular e a disponibilidade de água e nutrientes.

A figura 14 apresenta a relação entre a abundância de invertebrados do solo e o estoque total de carbono nos sistemas agroflorestais, O gráfico sugere uma correlação geral moderada, mas não linear, entre a abundância de invertebrados do solo e o estoque de carbono na vegetação. SAFs como SAF3 e SAF6, com alta abundância de invertebrados (403 e 104), apresentam estoques consideráveis de carbono (16,7 e 29,8 Mg.ha<sup>-1</sup>). Já o SAF4, com abundância intermediária (96), se destaca com o maior valor de carbono (51,26 Mg.ha<sup>-1</sup>). Estudos também mostraram que sistemas com altos teores de

carbono no solo sustentam populações mais densas de minhocas e outros macroinvertebrados, refletindo uma relação direta entre qualidade do solo e riqueza biológica (Vasconcelos, 2019).

Figura 14 - Gráfico de dispersão: estoque de carbono x abundância de invertebrados



Por outro lado, sistemas como SAF10 e SAF8, apesar de contarem com abundância elevada de invertebrados (399 e 150), apresentam estoques baixos de carbono (1,72 e 6,11 Mg.ha<sup>-1</sup>). A presença dos invertebrados nestes locais pode contar com outros fatores, como umidade, cobertura verde, serrapilheira, pois em geral os estudos mostram que a presença de carbono no solo, especialmente sob a forma de matéria orgânica, promove a atividade e diversidade de invertebrados ao fornecer alimento e melhorar as condições físicas do solo, como umidade e porosidade (Lavelle & Spain, 2001).

Portanto, estudos sobre estoque de carbono em SAF reportam ampla variação, com valores médios entre 10 e 80 Mg.ha<sup>-1</sup> de carbono em áreas mais estabelecidas (Gama-Rodrigues *et al.*, 2020). Os valores observados nesta pesquisa, sobretudo para SAF mais jovens (2 a 7 anos), enquadram-se em uma faixa de transição, demonstra o potencial dos sistemas agroflorestais para rápida incorporação de carbono acima do solo e no solo por meio da serrapilheira (Tiepolo *et al.*, 2002). A variabilidade entre os SAF estudados pode ser explicada pelas diferenças na composição florística, práticas de

manejo, espaçamentos adotados, abundância de indivíduos e idade de implantação, fatores que influenciam o acúmulo de biomassa e, conseqüentemente, o estoque de carbono (Trindade, 2022).

Em suma, os resultados evidenciam que a idade de implantação, aliada à composição e ao manejo das espécies, exerce papel determinante na produtividade (biomassa e serrapilheira) e na estrutura florística (riqueza e densidade de indivíduos) dos sistemas agroflorestais estudados. Esses achados corroboram pesquisas prévias (Arancibia, 2021; Trindade, 2022), que destacam a importância de práticas de enriquecimento, manejo e do planejamento adequado para maximizar o potencial produtivo e a sustentabilidade ambiental em SAF no Sul do Brasil.

### **5.3. Conclusões**

Os resultados obtidos nos dez sistemas agroflorestais (SAF) analisados na região Sudeste do Rio Grande do Sul evidenciam que a dinâmica de acumulação de biomassa, conseqüentemente o estoque de carbono, produção de serrapilheira, riqueza de espécies e densidade de indivíduos varia de modo significativo entre os diferentes contextos de idade, composição e manejo dos SAF.

Observou-se que sistemas mais antigos, em geral, apresentaram maior aporte de serrapilheira e maior estoque de carbono, embora a existência de SAF relativamente jovens com altos estoques também destaque a relevância das escolhas de espécies e práticas de condução.

A maior riqueza de espécies verificada em alguns SAF ratifica o papel fundamental da diversidade vegetal no provimento de serviços ecossistêmicos. Os resultados reforçam que o planejamento adequado, aliado à seleção de espécies e técnicas de manejo, pode elevar a produtividade e a sustentabilidade dos sistemas, contribui para a fixação de carbono. Além disso, a adoção de métodos não destrutivos (inventário 100% e equações alométricas) mostrou-se eficaz para quantificar e monitorar o crescimento das espécies e o acúmulo de carbono.

## 6. Considerações Finais

No Capítulo 1, dentre os indicadores de qualidade ecossistêmica, a biomassa e a biodiversidade vegetal são elementos essenciais para a funcionalidade dos SAF. Dentre os SAF analisados, 1,3, 5, 6 e 7 obtiveram melhor correlação. Os resultados indicaram que sistemas com maior riqueza e abundância de espécies vegetais e biomassa o que reforça a hipótese de que são elementos chave para a estabilidade ecológica dos agroecossistemas. Em contrapartida, SAF10 apresentou baixos níveis na maioria dos indicadores, o que está relacionado a ser um SAF muito jovem.

Ainda no capítulo 1, foi desenvolvido o Índice de Qualidade Ecossistêmica Agroflorestal (IQEA), que possibilita a comparação entre os diferentes SAF e considera múltiplos indicadores ambientais. Os resultados do IQEA confirmaram que SAF1 apresentou a melhor qualidade ecossistêmica (0,59), seguido de SAF3 e SAF6. Esses sistemas se destacaram pelo equilíbrio entre biodiversidade, biomassa e qualidade do solo, são considerados referências para práticas sustentáveis. Por outro lado, SAF2 e SAF10 obtiveram os menores índices (~0,22), o que evidencia a necessidade de estratégias de manejo que aumentem sua resiliência ecológica.

Os resultados do IQEA revelam diferenças importantes na qualidade ecossistêmica entre os diferentes Sistemas Agroflorestais (SAF) analisados. Para melhorar a aplicabilidade do IQEA, seria importante aplicar o método de forma regular no monitoramento de agroflorestas o mais próximo possível de sua implantação. Com a autorização dos agricultores manterem estações de monitoramento semelhantes às coletas deste estudo, de amostragens não destrutivas, e sempre no mesmo local.

O Capítulo 2 aprofundou a análise do estoque de carbono acima do solo, um fator essencial para a sustentabilidade dos SAF e sua contribuição para a mitigação das mudanças climáticas. A biomassa vegetal está diretamente relacionada à capacidade de armazenamento de carbono, com SAF4 apresentando os maiores estoques ( $51,66 \text{ Mg.ha}^{-1}$ ), seguido de SAF1 e SAF6. Esses achados destacam a importância da seleção de espécies de alto crescimento e manejo adequado na maximização do sequestro de carbono. Também foi observado que a relação entre densidade de indivíduos e acúmulo

de carbono não segue um padrão linear, reforçando a ideia de que não apenas a quantidade de árvores, mas também suas características fisiológicas, influenciam na produção desse serviço ecossistêmico.

A análise do estoque de carbono nos diferentes Sistemas Agroflorestais (SAFs) revelou uma variação significativa entre os sistemas, refletindo a influência conjunta de fatores como idade do sistema, composição florística, manejo adotado, qualidade do solo e atividade biológica edáfica. Embora exista uma tendência de aumento do carbono com o tempo de implantação, esse fator por si só não explica plenamente as diferenças observadas. Casos como o SAF4, que apresentou o maior estoque de carbono ( $51,26 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) mesmo com idade intermediária, demonstram que a seleção de espécies produtivas, como a *Acacia mearnsii*, e boas condições de solo são determinantes para o desempenho ecológico do sistema.

Além disso, foi possível observar que sistemas com maior riqueza e abundância de invertebrados do solo, bem como maior acúmulo de serrapilheira e matéria orgânica, tendem a apresentar estoques mais elevados de carbono. Isso reforça o papel da fauna edáfica na ciclagem de nutrientes e no suporte à produtividade vegetal, promovendo um ambiente mais eficiente para o sequestro de carbono. Portanto, estratégias de manejo que valorizem a diversidade funcional de espécies, a manutenção da cobertura orgânica e a qualidade do solo são essenciais para potencializar o serviço ecossistêmico de armazenamento de carbono nos SAF e contribuir com a mitigação das mudanças climáticas.

Para melhorar o manejo e aumentar a produção de carbono nos sistemas sugere-se priorizar espécies lenhosas de alto crescimento e elevada densidade de madeira, pois são mais eficientes no acúmulo de carbono, bem como favorece a regeneração natural e a diversidade de espécies, garante maior eficiência na fixação de carbono e estabilidade ecológica. Manter a serrapilheira e o material orgânico no solo, evita sua remoção excessiva para maximizar a retenção de carbono. Monitorar a relação entre densidade de indivíduos e biomassa, para maior armazenamento de carbono.

Assim, recomenda-se a expansão de pesquisas para aprimorar as estratégias de implantação e manejo, fortalece a capacidade de produção de serviços ambientais, de produção, de conservação ambiental e de manutenção

da biodiversidade. Essas melhorias podem contribuir para um planejamento mais eficaz da agricultura sustentável, garantindo maior produtividade e conservação ambiental em longo prazo.

## 7. Referências

- AFFLECK, D. L. R. Aboveground biomass equations for the predominant conifer species of the Inland Northwest USA. **Forest ecology and management**, v. 432, p. 179-188, 2019.
- ASKARI, M. S.; HOLDEN, N. M. *Indexes for quantitative evaluation of soil quality under grassland management*. **Geoderma**, v. 230, p. 131-142, 2014.
- AQUINO, A. M. Manual para macrofauna do solo. Seropédica : Embrapa, Agrobiologia . 21h. **Embrapa-CNPAB . Documentos** , 130p. 2001.
- ARANCIBIA, I. A. L. Carbono estocado acima do solo por um sistema agroflorestal sucessional na mata atlântica. **Tese de Conclusão de Curso.**, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.
- ARCO-VERDE, M. F.; AMARO, G. C. Metodologia para análise da viabilidade financeira e valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais. 2015. *In*: PARRON, L. M.; GARCIA, J. R.; OLIVEIRA, E. B. de; BROWN, G. G.; PRADO, R. B. (Ed.). **Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF : Embrapa, 2015.
- BAJIGO, A. *et al.* Estimation of carbon stored in agroforestry practices in Gununo Watershed, Wolayitta Zone, Ethiopia. **Journal of Ecosystem & Ecography**, v. 5, n. 1, p. 1, 2015.
- BARICHELLO, L. R.; SCHUMACHER, M. V.; VOGEL, H. L. M. Quantificação da biomassa de um povoamento de *Acacia mearnsii* De Wild. na região sul do Brasil. **Ciência Florestal**, 15(2), 129-135. 2005.
- BARROS, J.C.; SOUZA, H.J.; BARREIRA, S. Prognóstico de crescimento diamétrico de uma restaurada no bioma Cerrado. **Revista Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**. v. 6, 2021.
- BARTZ, M. C. L. *et al.* Earthworm richness in land-use systems in Santa Catarina, Brazil. **Applied Soil Ecology**, v. 83, p. 59-70, 2014.
- BENTRUP, G. *et al.* Temperate agroforestry systems and insect pollinators: A review. **Forests**, v. 10, n. 11, p. 981, 2019.
- BERGEZ, J. E. *et al.* Designing crop management systems by simulation. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, NL, v. 32, p. 3-9, 2010.
- BONGIORNO, G. **Novel soil quality indicators for the evaluation of agricultural management practices: a biological perspective**. Tese de Doutorado. Wageningen University and Research. 2020.
- BÖHRINGER, C.; JOCHEM, P. E. P. Measuring the immeasurable—A survey of sustainability indices. **Ecological economics**, v. 63, n. 1, p. 1-8, 2007.

BRANCALION P.H.S. *et al.* Global restoration opportunities in tropical rainforest landscapes. **Science Advances**. 2019.

CAMPOS, J. O. Serviços ecossistêmicos e fragmentação da paisagem no parque estadual Mata do Pau-Ferro. **Dissertação de Mestrado**, 225p. PPGGeo. UFPB. Areia, Paraíba. 2022.

CAPORAL, F. R.,; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia e extensão rural: contribuições para a promoção do desenvolvimento rural sustentável**. Brasília: MDA/SAF/DATER. 2007.

CARDOSO, D. J.; PARRON, L. M.; FRANCISCON, L. Carbono de biomassa em floresta nativa e sistemas florestais como indicador de serviços ambientais. **Livro Serviços ambientais**. Cap.6. Embrapa. 2015.

CARDOSO, J.H.; SANTOS, J.S.; MEDEIROS, F.S. Pesquisa-Ação agroflorestal: uma abordagem metodológica. **Extensão Rural**, v. 1, pág. 112-128, 2018.

CARDOZO, E. G. Os sistemas agroflorestais na provisão de serviços ecossistêmicos e na transição agroecológica na Pan-Amazônia. **Tese de Doutorado**. Universidade Estadual do Maranhão. 2018.

CARMO, C.L.M. *et al.* **Fertilidade do solo e crescimento de espécies arbóreas em uma agrofloresta em Jupiá, região oeste de Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2020.

CHAZDON, R. L. *Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands*. **Science**, **320(5882)**, 1458-1460. 2008.

CHAVES, S.F.S. Avaliação de atributos físico-químicos de um latossolo amarelo sob sistema agroflorestal em comparação com a floresta secundária na Amazônia Oriental. **Sistemas agroflorestais**, v. 94, n. 5, pág. 1903-1912, 2020.

CHAUDHRY, H.; VASAVA, H.B.; CHEN, S.; SAURETTE, D.; BERI, A.; GILLESPIE, A.; BISWAS, A. Evaluating the Soil Quality Index Using Three Methods to Assess Soil Fertility. **Sensors**, 24, 864, 2024.

COELHO, L.M.G.; HENRIQUES, R.S. **Proposta de modelo de análise multicritério aplicada ao apoio a seleção de técnicas compensatórias**. XI Encontro Nacional de Águas Urbanas, Belo Horizonte. 2017.

CORTE, A. P. D. *et al.* Dinâmica do crescimento, mortalidade e recrutamento na Floresta com Araucária. In: SANQUETTA, C. R. *et al.* **Floresta com Araucária: pesquisas ecológicas de longa duração**. Curitiba, p. 60-82, 2014.

DANIEL, O. *et al.* Proposta de um conjunto mínimo de indicadores biofísicos para o monitoramento da sustentabilidade em sistemas agroflorestais. **Cerne**, 7(1), 41-55. 2001.

DANELLI, M. F.; FISCH, S. T. V.; VIEIRA, S. A. Análise da estrutura e biomassa florestal de áreas de colheita de frutos de juçara (*Euterpe edulis* Mart.) no Litoral Norte e Serra do Mar-SP. **Ciência Florestal**, 26, 773-786. 2016.

DANTAS, J. O. *et al.* Levantamento da entomofauna associada em sistema agroflorestal. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 8, n. 4b, p. 01-08. 2012.

DAR, M. U. D. *et al.* *Biomass production and carbon stock potential under home gardens of Kashmir Himalaya*. **J Plant Dev Sci**, v. 11, p. 256-271, 2019.

DA SILVA, W. B.; PÉRICO, E.; CAJAIBA, R. L. Composição de nutrientes na serapilheira em diferentes coberturas florestais no estado do Pará, norte do Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 17, n. 1, 201

DAWES, R. M. The robust beauty of improper linear models in decision making. **American psychologist**, v. 34, n. 7, p. 571, 1979.

DE ALBUQUERQUE, M.F.C. *The sustainable use of biodiversity and its implications in agriculture: The agroforestry case in the Brazilian legal framework*. In: **Legal Aspects of Sustainable Development**. Springer, p. 585-606, 2016.

DE ALMEIDA, G. C. A. **Serviços ecossistêmicos do solo sob sistemas agroflorestais: estado da arte e estudo de caso em São Gonçalo-RJ**. 2019.

DECAËNS, Thibaud *et al.* *The values of soil animals for conservation biology*. **European Journal of Soil Biology**, v. 42, p. S23-S38, 2006.

DE LEMOS, RC; DOS SANTOS, RD. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 1996.

DE OLIVEIRA, J. W. A.; SOARES, U. G.; DA ROCHA, A. P. S. Estudo da viabilidade econômica e ambiental da implementação de sistemas agroflorestais. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 11, p. 22610-22630, 2023.

DE OLIVEIRA, R. E.; ENGEL, V. L. Indicadores de monitoramento da restauração na Floresta Atlântica e atributos para ecossistemas restaurados. **Scientia Plena**, v. 13, n. 12, 2017.

DE SOUZA REZENDE, R.; MEDEIROS DOS SANTOS, A.; GONÇALVES JUNIOR, J. F. Avaliação ambiental do rio Pandeiros utilizando

- macroinvertebrados como indicadores de qualidade da água. **Ecologia Austral**, v. 22, n. 3, p. 159-169, 2012.
- DOLLINGER, J.; JOSE, S. Agrofloresta para a saúde do solo. **Sistemas Agroflorestais**, v. 92, p. 213-219, 2018.
- DOS SANTOS, S. R. M.; KATO, O. R.; TOURINHO, M. M. Diversidade florística e estoque de carbono de sistemas agroflorestais em dois municípios do nordeste paraense, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais**, v. 14, n. 1, p. 31-42, 2019.
- DOS SANTOS, W.R.T *et al.* Estimativa da biomassa e do carbono armazenado na serapilheira de povoamento maduro de *Eucalyptus sp.* em Santa Maria, RS. **Revista Delos**, v. 17, n. 61, p. e2647-e2647, 2024.
- ESTY, Daniel C. *et al.* Environmental sustainability index: Benchmarking national environmental stewardship. **New Haven: Yale Center for Environmental Law & Policy**, v. 47, n. 2, p. 60-76, 2005.
- EWERT, M. *et al.* Vozes da permanência: a conservação ambiental alcançada com o sistema da agrofloresta. *In*: Steenbock, W. *et al.* (Org.). **Agrofloresta, ecologia e sociedade**. Curitiba: Kairós, p. 393-420. 2013.
- EWERT, M. *et al.* Sistemas agroflorestais multiestrata e a legislação ambiental brasileira: desafios e soluções. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 36, 2016.
- FERNANDES, F. S. Indicadores ambientais de Sistemas Agroflorestais: um estudo de caso do Projeto de Desenvolvimento Rural Sustentável (PDRS). UFSCar - Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis - PPGPUR-So. **Dissertação de Mestrado**. 2021.
- FIGUEIRA, J. *et al.* Multiple criteria decision analysis and sustainable development. **Multiple criteria decision analysis: State of the art surveys**, p. 953-986, 2005.
- FORNAZIEIRO, M. P. A. Qualidade ambiental urbana: proposta de um índice para a cidade de Rio Claro/SP. 2020.
- FRANÇA, E. M. Agricultura natural em um sistema agroflorestal de café beneficia a matéria orgânica do solo e a biodiversidade da fauna edáfica. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal de Viçosa. 2024.
- FROUFE, L. C. M.; SEOANE, C. E. S. Levantamento fitossociológico comparativo entre sistema agroflorestal multiestrato e capoeiras como ferramenta para a execução da reserva legal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 67, p. 203-203, 2011.

- GARRETT R.; LATAWIEC A. E. What Are Sustainability Indicators For? **Sustainability Indicators in Practice**. Berlin. Sciendo. 2015. Disponível em: <https://www.degruyter.com/view/product/465479>. Acesso em: 22/08/2020.
- GARRITY, D.; DIXON, J.; BOFFA, J.M. Understanding African farming systems as a basis for sustainable intensification. **Sustainable Intensification in Smallholder Agriculture**. 2017.
- GASTAUER, M.; MEIRA-NETO, J. A. A. A multifacetada diversidade biológica e suas medições. **Fitossociologia no Brasil-métodos e estudos de caso**, v. 2, p. 31-67, 2015.
- GONÇALVES, A. L. R. e VIVAN, J. L. **Agroforestry and conservation projects in Brazil: carbon, biodiversity, climate, and people**. 2012.
- GONÇALVES, E. M.; TURATTI, T. Perspectivas e limites de ATERS na promoção da Agroecologia: o caso do município de Encantado/RS. IN: **Articulando a Agroecologia em rede no Vale do Taquari/RS**. p. 115. Organizadoras: Elaine Biondo e Cândida Zanetti. – São Leopoldo: Oikos, 270 p.; il.; color.; 14 x 21 cm. 2021.
- GRECO, S.; FIGUEIRA, J.; EHRGOTT, M. **Multiple criteria decision analysis**. New York: springer, 2016.
- GUARINO, E. *et al.* Sistemas agro. florestais como estratégia para restauração de ecossistemas. florestais. **Embrapa Clima Temperado-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E)**, 2020.
- GUPTA, S. R. *et al.* *Soil biodiversity and litter decomposition in agroforestry systems of the tropical regions of Asia and Africa*. In: **Agroforestry for sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa**. Singapore: Springer Nature Singapore, p. 515-568. 2023.
- GUSMÃO, M. *et al.* Caracterização de sistemas agroflorestais da zona da mata rondoniense. **Cadernos de Agroecologia**, 13(1). 2018.
- HIGGS E. S. *What is good ecological restoration?* **Conservation Biology**. 11:338–348. 1997.
- INSFRÁN O. A.; REY B. J. M.; CAYUELA DELGADO, L. A agrofloresta melhora a abundância e composição da fauna do solo na Mata Atlântica do Paraguai. **Agrofloresta Sistema**. 2023.
- IPCC, “Annex II: Glossary [Mach, K. J., S. Planton and C. von Stechow (Eds.)]”, **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, Geneva, Switzerland, 2014), 151 p. 2014.
- JANDL, R. *et al.* Effect of climate-adapted forest management on carbon pools and greenhouse gas emissions. **Current Forestry Reports** 1(1):1–7. 2015.

- JOSE, S. *Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview* (pp. 1-10). **Agroforestry Systems**, Springer, Dordrecht. 2009.
- KAO, Chiang. Weight determination for consistently ranking alternatives in multiple criteria decision analysis. **Applied Mathematical Modelling**, v. 34, n. 7, p. 1779-1787, 2010.
- KAUL, M.; MOHREN, G. M. J.; DADHWAL, V. K. *Carbon storage and sequestration potential of selected tree species in India*. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 15, p. 489-510, 2010.
- KHAN, N. *et al.* Agrofloresta e seus serviços para manejo e sustentabilidade do solo. Sustentável intensificação para agroecossistema. **Serviços e gestão**, 353-377. 2021.
- KOOHAFKAN, P.; ALTIERI, A. M.; GIMENEZ, H. E. *Green Agriculture: foundations for biodiverse, resilient and productive agricultural systems*. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 10, p. 61-75, 2012.
- KORTING, M. S.A trama científica e jurídica na construção do certificado de agroflorestas. **Novos Rumos Sociológicos**, v. 3, n. 4, p. 118-137, 2015.
- KOU G.; ERGU, D.; LIN, C.; CHEN, Y. Pair wise comparison matrix in multiple criteria decision making. **Technological and economic development of economy**, v. 22, n. 5, p. 738-765, 2016.
- KULIKOWSKI, A. J. *et al.* Restoration interventions mediate tropical tree recruitment dynamics over time **Philosophical Transactions of the Royal Society B**. v. 378, n. 1867, p. 20210077. 2023.
- KÜLKAMP, J.; HEIDEN, G.; IGANCI, J. R. V. Endemic plants from the southern Brazilian Highland grasslands. **Rodriguésia**, v. 69, n. 2, p. 429-440, 2018.
- LAMEIRA, M. K. S. Análise da estrutura horizontal e composição de uma floresta tropical como subsídio à ampliação do seu potencial produtivo para o manejo florestal. 97 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2023.
- LAKSHMI, G.; OKAFOR, B. N.; VISCONTI, D. Soil microarthropods and nutrient cycling. **Environment, climate, plant and vegetation growth**, p. 453-472, 2020.
- LAMLON, S. H.; SAVIDGE, R. A. *A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species*. **Biomass and Bioenergy**. 25 (381 – 388). 2003.

- LAVELLE, P.; SPAIN, A. V. Soil organisms. **Soil ecology**, p. 201-356, 2001.
- LE, H. D. *et al.* More than just trees: assessing reforestation success in tropical developing countries. **Journal of Rural Studies**, v. 28, n. 1, p. 5-19, 2012.
- LEITE, P. H. M. Influência da sombra do dossel temporário de um sistema agroflorestal na maturação de frutos de café. **Tese de Doutorado**. 2021.
- LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; ALONSO, J. M. Restauração florestal em diferentes espaçamentos. *In*: LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N. (ed.). **Restauração Florestal e a Bacia do Rio Guandu**. Seropédica: Editora Rural, p. 120-156. 2015.
- LI, T. *et al.* Live biomass carbon density is related to species demographics in eastern Qinghai-Tibet Plateau forests. **Ecological Indicators**, 112159. 2024.
- LI, X. *et al.* Advance in indicator screening and methodologies of soil quality evaluation. **Geoderma**. V. 403, 1 December, 2021.
- LIMA, L R. Sistemas agroflorestais e agricultura sintrópica: sustentabilidade e regeneração do semiárido paraibano. **TCC**. UFPB. 2022.
- LIMA, S. S. D. *et al.* Relação entre macrofauna edáfica e atributos químicos do solo em diferentes agroecossistemas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 3, p. 322-33, mar. 2010.
- LIPINSKI, E. T; A.. *et al.* Dinâmica da biomassa e carbono arbóreo entre 1995-2012 em floresta ombrófila mista montana. **Floresta**, 47(2). 2017.
- LIZOT, M. *et al.* Modelo integrado de custo total de propriedade (TCO) e multicritério para gestão do agronegócio familiar. 2022.
- MACEDO, R. L. G. **Princípios básicos para o manejo sustentável de sistemas agroflorestais**. UFLA: FAEPE, 2000.
- MALHI, Y *et al.* The regional variation of aboveground live biomass in old growth Amazonian forests. **Global Change Biology**, v. 12, n. 7, p. 1107-1138, 2006.
- MANGALASSERY, S. *et al.* To what extent can zero tillage lead to a reduction in greenhouse gas emissions from temperate soils?. **Scientific reports**, v. 4, n. 1, p. 4586, 2014.
- MANHAES, C. M. C.; FRANCELINO, F. M. A.. Biota Do Solo E Suas Relações Ecológicas Com O Sistema Radicular. **Nucleus (16786602)**, v. 10, n. 2, 2013.
- MARTINS, L. G. B. Avaliação do potencial de aplicação de técnicas compensatórias em áreas urbanas consolidadas. 2017. 197f. **Tese (Doutorado)**-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

- MARTINS, E. M. *et al.* O uso de sistemas agroflorestais diversificados na restauração florestal na Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 632-648, 2019.
- MATOS, D. C. L.; FERREIRA, L. V.; SALOMÃO, R. P. Influência da distância geográfica na riqueza e composição de espécies arbóreas em uma Floresta Ombrófila Densa na Amazônia Oriental. **Rodriguésia**, v. 64, p. 357-367, 2013.
- MAY, P. H. *et al.* **Manual Agroflorestal para a Mata Atlântica**. Ministério do Desenvolvimento Agrário, 196 p., Brasília, 2008.
- MBOW, C. *et al.* Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 6, p. 8-14, 2014.
- MDA. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Referências para uma Estratégia de Desenvolvimento Rural Sustentável no Brasil**. Brasília: 2005. <http://sit.mda.gov.br/download.php?ac=obterDadosBas;m=4321907> Acesso em: 05/09/2020.
- MEDEIROS, M.A. *et al.*, **Princípios e práticas ecológicas para o manejo de insetos-praga na agricultura. Projeto Biodiversidade e Transição Agroecológica de Agricultores Familiares**. Emater-DF. Brasília. 2010. 44p
- MEIJERA, S. S. *et al.* *The role of knowledge, attitudes and perceptions in the uptake of agricultural and agroforestry innovations among smallholder farmers in sub-Saharan Africa*. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 13, n. 1, p. 40-54, 2015.
- MELO JÚNIOR, J. G. **Importância da diversidade dos sistemas agroflorestais na sustentabilidade de agroecossistemas familiares na Comunidade Santa Luzia, município de Tomé-Açu/Pará. 2014. 127p.** 2014. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Agriculturas familiares e desenvolvimento sustentável)–Universidade Federal do Pará, Belém.
- MELO, F. V. *et al.* A importância da meso e macrofauna do solo na fertilidade e como bioindicadores. **Biologia do Solo. Boletim informativo da SBCS**. jan.-abr. 2009.
- MELO FILHO, J. F de. *et al.* Índice de qualidade em um latossolo amarelo coeso cultivado com citros. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 04, p. 1168-1177, 2009.
- MELLONI, R. *et al.* Sistemas agroflorestais cafeeiro-araucária e seu efeito na microbiota do solo e seus processos. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 784-795, 2018.

MICCOLIS, A. *et al.* Restauração ecológica com sistemas agroflorestais. **Como conciliar conservação com produção-opções para cerrado e caatinga.** Centro Internacional de Pesquisa Agroflorestal. Brasília: ICRAF, 2016.

MINDRINOS, L.; PANAGIOTOPOULOS, P. Measuring Sustainable Development: A Weighting Approach to Sustainable Development Indicators. **International journal of multidisciplinary research and analysis**, v. 6, p. 4510-20, 2023.

MIRANDA, P. B. *et al.* Distribuição de inóculo de fungos micorrízicos arbusculares para sistemas agroflorestais na agricultura familiar. **Agroecossistemas**, Belém, v. 3, n. 1, p. 45-51, mar. 2011.

MISSIO, F. F. *et al.* Caracterização florística e estrutural da vegetação arbórea em um trecho de Floresta Estacional Decidual, RS, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 31, p. 1124-1146, 2021.

MOGNON, F. *et al.* Uma década de dinâmica da fixação de carbono na biomassa arbórea em floresta Ombrófila Mista no Sul do Paraná. **Floresta**, Curitiba, v. 43, p. 153-164, 2013.

MORAES, L. F. D.; RESENDE, A. S.; AMANCIO, C. O. G. Sistemas agroflorestais para o uso sustentável do solo: considerações agroecológicas e socioeconômicas. **Embrapa Agrobiologia. Documentos**, 281. 28 p. 2011.

MUNSON, R. D. *Soil fertility, fertilizers, and plant nutrition.* In: **Handbook of soils and climate in agriculture.** CRC Press, 2018. p. 269-294.

NAIR, P. K. R. *Introduction to Agroforestry.* **Kluwer Academic Publishers.** Dordrecht. 499p. 1993.

NAIR, P. K. R., KUMAR, B. M., and NAIR, V. D. *Agroforestry as a strategy for carbon sequestration.* **J. Plant Nutr. Soil Sci.** 172, 10–23. 2009.

NAIR, P.K R. *et al.* *Carbon sequestration in agroforestry systems.* **Advances in agronomy**, v. 108, p. 237-307, 2010.

NANDAL, D. P. S.; SINGH, R. R. *Productivity of different cropping sequences in Dalbergia sissoo Roxb. based agro-silviculture system.* **Indian Journal of Forestry**, Vol. 24, No. 4, 433-436 ref. 5. 2001

NEVES, E. H. D. **Análise da degradação ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio Pelotas-RS, através do diagnóstico físico-conservacionista (DFC).** 2012.

NGUEMEZI, C. *et al.* *Soil quality and soil fertility status in major soil groups at the Tombel area, South-West Cameroon.* **Heliyon**, v. 6, n. 2, 2020.

NOORMETS, A. *et al.* Effects of forest management on productivity and carbon sequestration: A review and hypothesis. **Forest Ecology and Management**, v. 355, p. 124-140, 2015.

OLIVEIRA, G. S. T. Monitoramento de sistemas agroflorestais utilizando indicadores, na comunidade Rio Preto, Sete Barras, SP. 2016.

OVERBECK, G. E. *et al.* Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, p. 26-41, 2009.

PAN, Y. *et al.* A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 988-993, 2011.

PANWAR, P. *et al.* Biomass production and carbon sequestration potential of different agroforestry systems in India: a critical review. **Forests**, v. 13, n. 8, p. 1274, 2022.

PENG, Y. *et al.* A qualidade da serrapilheira, a associação micorrízica e as propriedades do solo regulam os efeitos das espécies arbóreas na comunidade da fauna do solo. **Geoderma**, v. 115570, 2022.

PINTO, C. M. **Estudos sobre serviços ecossistêmicos e os benefícios da área verde do Parque Estadual das Fontes do Ipiranga, São Paulo**. 2019. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

POORTER, H. *et al.* Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta- analyses of interspecific variation and environmental control. **New phytologist**, v. 193, n. 1, p. 30-50, 2012.

PREGITZER, K. S.; EUSKIRCHEN, E. S. Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. **Global change biology**, v. 10, n. 12, p. 2052-2077, 2004.

RAMADAN, R. H. *et al.* Assessment of sustainable world heritage areas in Saudi Arabia based on climate change impacts on vulnerability using RS and GIS. **Sustainability**, 14(23), 15831. 2022.

REBÊLO, A.G. M. *et al.* Estoque de nutrientes e decomposição da serrapilheira em sistemas agroflorestais no município de Belterra-Pará. **Ciência Florestal**, v. 32, p. 1876-1893, 2023.

REBOLLAR, N. A. P. *et al.* Indicadores para monitoramento de áreas de preservação permanente em paisagens degradadas por ocupações irregulares. **Tese de Doutorado**, UFSC. 184p. 2012.

RESENDE, A. S. *et al.* Artropodes do solo durante o processo de decomposição da matéria orgânica. **Agronomía Colombiana**, Bogotá, 2013.

RICHARDSON, S. J. *et al.* Large-tree growth and mortality rates in forests of the central North Island, New Zealand. **New Zealand Journal of Ecology**. 33, 208–215. 2009.

RODE, Rafael. Avaliação florística e estrutural de uma Floresta Ombrófila Mista e de uma vegetação arbórea estabelecida sob um povoamento de *Araucaria angustifolia* de 60 anos. 2008.

RONSANI, T.F. *et al.* Avaliação do crescimento inicial de mudas de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) biotizadas com *Pseudomonas* fluorescente em Sistema Agroflorestal. **Primeira Mostra Científica e Tecnológica da UFSC Curitibanos. ANAIS**. 2021.

ROSÁRIO, J. G. P. **Comparação de métodos multicritérios em tecnologias de geração de energia elétrica com potenciais de expansão no Brasil**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2018.

RÜGNITZ, M. T.; CHACÓN, M. L.; PORRO R. **Guia para Determinação de Carbono em Pequenas Propriedades Rurais** -- 1. ed. -- Belém, Brasil.: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazônica (IA). 81 p. 2009.

SALAMONI, G. *et al.* **A Geografia da Serra dos Tapes: natureza, sociedade e paisagem**. Pelotas: Ed. UFPel, 140 p. 2021.

SALEEM, I. *et al.* *Biomass production, carbon stock and sequestration potential of prominent agroforestry systems in north-western Himalaya, India*. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 6, p. 1192382, 2023.

SANGALLI, A. R. *et al.* Sistemas agroflorestais biodiversos: estilo ecológico de agricultura em assentamentos rurais em áreas de transição ecológica de mata atlântica e cerrado do estado de mato grosso do sul. **Desafio Online**, v. 9, n. 3, 2021.

SANTOS, P. Z. F.; CROUZEILLES, R.; SANSEVERO, J. B. B. *Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest*. **Forest ecology and management**, v. 433, p. 140-145, 2019.

SCHEMBERGUE, A. C. *et al.* Sistemas Agroflorestais como Estratégia de Adaptação aos Desafios das Mudanças Climáticas no Brasil 2. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 55, p. 9-30, 2017.

SCHERR, S. J.; MCNEELY, J. A. *Farming with nature: the science and practice of ecoagriculture*. **Island Press**, 2012.

SCHROTH, G.; HARVEY, C. A.; VINCENT, G. Complex agroforests: their structure, diversity, and potential role in landscape conservation. **Agroforestry**

**and biodiversity conservation in tropical landscapes. Island Press, Washington, DC, p. 227-260, 2004.**

SCHROTH, G. *et al.* *Agroforestry and biodiversity conservation in tropical landscapes. Island press.* 2013.

SCORIZA, R. N. *et al.* Métodos para coleta e análise de serrapilheira aplicada à ciclagem de nutrientes. **Série Técnica Floresta e Ambiente** , 2 , 1-18. 2017.

SEOANE, C. E. S. *et al.* Agroflorestas e serviços ambientais: espécies para aumento do ciclo sucessional e para facilitação de fluxo gênico. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, 2012.

SILVA, M. S. C. *et al.* Estoque de serrapilheira e atividade microbiana em solo sob sistemas agroflorestais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 431-441, dez. 2012.

SILVA, A. B. *et al.* Fauna do solo como bioindicadora de restauração ecológica após retirada de *Pinus taeda* L em unidade de conservação. 2024.

SMA - SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E MEIO AMBIENTE. Subsecretaria de Meio Ambiente. Coordenadoria de Fiscalização e Biodiversidade. **Portaria CFB nº 07, de 02 de junho de 2021: Protocolo de Monitoramento das áreas submetidas à Exploração Agroflorestal em Áreas de Preservação Permanente – APP e Reserva Legal – RL.** São Paulo: Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2021.

SMITH, P. *et al.* Global Change and Terrestrial Ecosystems. **Global Change Biology**, 26(1), p. 35–47. 2020.

SOARES, C. P. B.; PAULA NETO, F. de; SOUZA, A. L. **Dendrometria e inventário florestal.** 2Ed. Viçosa , MG: Ed. UFV, 2012.

SOARES, K. L. *et al.* Estoque de carbono e estrutura horizontal em fragmentos de Mata Ciliar. **Ciência Florestal**, v. 33, n. 4, p. e64785-e64785, 2023.

STATON, T. *et al.* *Productivity, biodiversity trade-offs, and farm income in an agroforestry versus an arable system.* **Ecological Economics**, v. 191, p. 107214, 2022.

STEENBOCK, W. *et al.* Geração e uso de indicadores de monitoramento de agroflorestas por agricultores associados à Cooperafloresta. **Agrofloresta, ecologia e sociedade. Curitiba: Kairós**, p. 305-320, 2013a.

STEENBOCK, W. *et al.* Agrofloresta: aprendendo a produzir com a natureza. Curitiba, 2013b.

STIEBLER, L. P. P. M. *et al.* Indicadores de saúde do solo na eficiência de sistemas agroflorestais visando a restauração ambiental. **Dissertação de Mestrado**. 150p. UFSC. 2024.

STRASSBURG, B. N. *et al.* *Global priority areas for ecosystem restoration*. **Nature**, v. 586, n. 7831, p. 724-729, 2020.

STRECK, E. V. *et al.* Solos do Rio Grande do Sul. **Porto Alegre: Emater/RS**, v. 3, 2002.

SURESHBHAI, P. J. *et al.* *Productivity and carbon sequestration under prevalent agroforestry systems in Navsari District, Gujarat, India*. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 6, n. 9, p. 3405-3422, 2017.

TEIXEIRA, L. M. Influência da Intensidade de exploração seletiva de madeira no crescimento e respiração do tecido lenhoso das árvores em uma Floresta Tropical de terra-firme na região de Manaus. 61 p. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2003.

TEIXEIRA, C. L. *et al.* Análise da riqueza, diversidade, dominância e equidade em um agroecossistema em sucessão de cultivos. **Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 1, p. e13312-e13312, 2025.

TIEPOLO, G.; CALMON, M.; FERETTI, A. R. *Measuring and Monitoring Carbon Stocks at the Guaraqueçaba Climate Action Project, Paraná, Brazil*. In: **International Symposium on Forest Carbon Sequestration and Monitoring. Extension Serie Taiwan Forestry Research Institute**. 153. p. 98-115, 2002.

TORRALBA, M. *et al.* *Do European agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem services? A meta-analysis*. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 230, p. 150-161, 2016.

TRINDADE, M. O. Avaliação de sistemas agroflorestais utilizando indicadores agroecológicos de sustentabilidade. **Tese de Doutorado**, UFSCar. 2022.

URBANO, E. *et al.* Modelagem da biomassa aérea em bracatingais nativos da região metropolitana de Curitiba. **Floresta**, v. 38, n. 2, p. 361-372, 2008.

VASCONCELLOS, R. C.; BELTRÃO, N. E. S. Avaliação de prestação de serviços ecossistêmicos em sistemas agroflorestais através de indicadores ambientais. **Interações**, Campo Grande. v. 19, p. 209-220, 2018.

VASCONCELLOS, R. C. *et al.* Identificação dos serviços ecossistêmicos na produção agrícola: um estudo em sistemas agroflorestais. **Research, Society & Development**, 9(10). 2020.

- VASCONCELOS, W. L. S. Macrofauna edáfica em floresta secundária, pastagem e eucalipto no sudeste paraense. 2019
- VENZKE, T. S. Florística de comunidades arbóreas no Município de Pelotas, Rio Grande do Sul. **Rodriguésia**, v. 63, p. 571-578, 2012.
- VICKERS, H. *et al.* *Recruitment and growth dynamics of a temperate forest understorey species following wildfire in southeast Australia.* **Dendrochronologia** 67, 125829. 2021.
- VIEIRA, M. G. Indicativos da viabilidade técnica e social de sistemas agroflorestais como prática conservacionista do solo e da água. 2021. 67 f. **Monografia (Graduação em Agronomia)** - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.
- VIVAN, J. L. Análise da tomada de decisão para o uso e conservação de recursos genéticos vegetais em florestas manejadas e sistemas agroflorestais. **Tese** (doutorado) PPGRGV- UFSC. 2012.
- WINK, C. *et al.* Insetos edáficos como indicadores da qualidade ambiental. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 4, n. 1, p. 60-71, 2005.
- XAVIER, J. H. V. Metodologia multicritério de apoio à decisão como ferramenta para avaliação de sistemas de cultivo de milho. **Cadernos de Ciência ; Tecnologia**, v. 29, n. 1, p. 89-131, 2012.
- XAVIER, J.H.V. *et al.* *Participatory multicriteria assessment of maize cropping systems in the context of family farmers in the Brazilian Cerrado.* **International Journal of Agricultural Sustainability**, p. 1-17, 2020.
- XU, B. *et al.* *Decadal change of forest biomass carbon stocks and tree demography in the Delaware River Basin.* **Forest Ecology and Management.** 374, 1–10. 2016.
- XU, H.; YUE, C.; PIAO, S. *Future forestation in China should aim to align the temporal service window of the forest carbon sink with the “carbon neutrality” strategy.* **Science China Earth Sciences**, v. 66, n. 12, p. 2971-2976. 2023.
- ZHANG, J.; HUANG, S.; He, F. *Half-century evidence from western Canada shows forest dynamics are primarily driven by competition followed by climate.* **Proceedings of the National Academy of Sciences.** 112, 4009–4014. 2015.



## **APÊNDICES**

## Apêndice A – Lista de Espécies do Censo Florestal

### SAF1

Família	Nome científico	Nome popular	Número
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i>	aroeira brava	7
Anacardiaceae	<i>Schinus lentiscifolius</i>	aroeira do campo	5
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i>	aroeira do mato	1
Anacardiaceae	<i>Lithraea molleoides</i>	aroeira preta	1
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon balansae</i>	aroeira salso	1
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i>	aroeira vermelha	36
Anacardiaceae	<i>Mangifera indica</i>	mangueira	3
Annonaceae	<i>Annona crassiflora</i>	araticum	3
Annonaceae	<i>Xylopia brasiliensis</i>	tanheiro	6
Aquifoliaceae	<i>Ilex paraguariensis</i>	erva-mate	2
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i>	araucária	1
Arecaceae	<i>Butia capitata</i>	butiá	14
Arecaceae	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	jerivá	14
Arecaceae	<i>Euterpe edulis</i>	juçara	1
Arecaceae	<i>Dypsis decaryi</i>	palmeira triangular	2
Bignoniaceae	<i>Handroanthus albus</i>	ipê amarelo	7
Bignoniaceae	<i>Tabebuia roseo-alba</i>	ipê branco	2
Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	ipê roxo	3
Bignoniaceae	<i>Cybistax antisyphilitica</i>	ipê verde	2
Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	jacarandá	1
Bixaceae	<i>Bixa orellana</i>	urucum	1
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i>	guajuvira	3
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i>	louro pardo	10
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i>	trema	12
Celastraceae	<i>Maytenus ilicifolia</i>	espinheira santa	1
Ebenaceae	<i>Diospyros kaki</i>	caqui	22
Euphorbiaceae	<i>Sebastiania commersoniana</i>	branquilho	2
Fabaceae	<i>Peltophorum dubium</i>	canafístula	13
Fabaceae	<i>Apuleia leiocarpa</i>	grapia	1
Fabaceae	<i>Schizolobium parahyba</i>	guapuruvu	1
Fabaceae	<i>Inga edulis</i>	ingá	15
Fabaceae	<i>Machaerium stipitatum</i>	tatumã de espinho	6
Fabaceae	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	timbaúva	7
Fabaceae (Mimosoideae)	<i>Acacia mearnsii</i>	acácia negra	44
Fabaceae (Mimosoideae)	<i>Anadenanthera colubrina</i>	angico	17
Fabaceae (Mimosoideae)	<i>Mimosa scabrella</i>	bracatinga	3
Fagaceae	<i>Castanea sativa</i>	castanheira	2
Lauraceae	<i>Nectandra lanceolata</i>	canela amarela	8
Lauraceae	<i>Ocotea catharinensis</i>	canela preta	3
Lythraceae	<i>Punica granatum</i>	romã	3
Malpighiaceae	<i>Malpighia emarginata</i>	acerola	1
Malvaceae	<i>Astrapéea martiana</i>	astrapéea	2
Malvaceae	<i>Luehea divaricata</i>	açoita cavalo	10
Meliaceae	<i>Cabralea canjerana</i>	canjerana	10
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i>	cedro	21
Meliaceae	<i>Melia azedarach</i>	cinamomo	1
Moraceae	<i>Morus nigra</i>	amora	5

Moraceae	<i>Ficus adhatodifolia</i> / <i>Ficus</i> spp.	figueira	3
Musaceae	<i>Musa</i> spp.	bananeira	10
Myrtaceae	<i>Psidium cattleianum</i>	araçá	24
Myrtaceae	<i>Eugenia involucrata</i>	cerejeira	26
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	goiabeira	25
Myrtaceae	<i>Myrcianthes pungens</i>	guabiju	8
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	guabiroba	8
Myrtaceae	<i>Eugenia florida</i> / <i>Myrcia</i> spp.	guamirim	1
Myrtaceae	<i>Plinia cauliflora</i>	jabuticabeira	3
Myrtaceae	<i>Syzygium cumini</i>	jambolão	1
Myrtaceae	<i>Eugenia sulcata</i>	pessegueiro da praia	1
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i>	pitangueira	30
Myrtaceae	<i>Eugenia pyriformis</i>	uvaia	7
na	na	enxerteira	1
Onagraceae	<i>Fuchsia hybrida</i>	brinco princesa	1
Poaceae	<i>Bambusa vulgaris</i>	bambusa	1
Primulaceae	<i>Myrsine umbellata</i>	capororoca	29
Primulaceae	<i>Myrsine lorentziana</i>	capororoquinha	24
Rhamnaceae	<i>Hovenia dulcis</i>	uva japonesa	17
Rosaceae	<i>Rubus fruticosus</i>	amora espinhos	4
Rosaceae	<i>Cydonia oblonga</i>	marmeleiro	1
Rosaceae	<i>Prunus persica</i>	pessegueiro	1
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i>	citrus laranja	123
Rutaceae	<i>Citrus reticulata</i>	citrus tangerina	14
Rutaceae	<i>Citrus limonia</i>	limão-cravo	1
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	mamica de cadela	2
Rutaceae	<i>Murraya paniculata</i>	murta	17
Rutaceae	<i>Eriobotrya japonica</i>	nêspira	5
Rutaceae	<i>Licuala grandis</i>	palmeira leque	2
Sapindaceae	<i>Cupania vernalis</i>	camboatá branco	3
Sapindaceae	<i>Cupania oblongifolia</i>	camboatá vermelho	6
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i>	chalchal	30
Solanaceae	<i>Cestrum nocturnum</i>	dama da noite	3
Solanaceae	<i>Solanum betaceum</i>	tomate arbóreo	3
Symplocaceae	<i>Symplocos uniflora</i>	symplocos	1
Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i>	embaúba	1
Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i>	uva	1
	TOTAL		83 774

## SAF2

Família	Nome científico	Nome popular	Número
Annonaceae	<i>Annona crassiflora</i>	araticum	8
Aquifoliaceae	<i>Ilex paraguariensis</i>	erva-mate	2
Arecaceae	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	jerivá	3
Arecaceae	<i>Licuala grandis</i>	palmeira leque	1
Bignoneaceae	<i>Handroanthus albus</i>	ipê amarelo	2
Bignoneaceae	<i>Tabebuia roseo-alba</i>	ipê branco	4
Bignoneaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	ipê roxo	6
Bixaceae	<i>Bixa orellana</i>	urucum	1
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i>	louro pardo	4
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i>	trema	1

Ebenaceae	<i>Diospyros kaki</i>	caqui	2
Fabaceae	<i>Acacia mearnsii</i>	acácia negra	72
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	angico	6
Fabaceae	<i>Mimosa scabrella</i>	bracatinga	1
Fabaceae	<i>Peltophorum dubium</i>	canafístula	9
Fabaceae	<i>Inga edulis</i>	ingá	1
Fabaceae	<i>Bauhinia variegata</i>	pata de vaca	3
Fabaceae	<i>Machaerium stipitatum</i>	tatumã de espinho	3
Fagaceae	<i>Castanea sativa</i>	castanha portuguesa	1
Lamiaceae	<i>Vitex montevidensis</i>	tarumã	5
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	abacateiro	2
Lauraceae	<i>Fuchsia hybrida</i>	brincodoprincesa	1
Lauraceae	<i>Ocotea odorifera</i>	canela de cheiro	2
Meliaceae	<i>Cabralea canjerana</i>	canjerana	1
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i>	cedro	7
Moraceae	<i>Morus nigra</i>	amora	3
Myrtaceae	<i>Psidium rufum</i>	araçá roxo	2
Myrtaceae	<i>Eugenia involucrata</i>	cerejeira	13
Myrtaceae	<i>Acca sellowiana</i>	feijoa	13
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	goiabeira	3
Myrtaceae	<i>Myrcianthes pungens</i>	guabiju	2
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	guabiroba	1
Myrtaceae	<i>Eugenia sulcata</i>	pessegueiro da praia	2
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i>	pitangueira	71
Myrtaceae	<i>Eugenia pyriformis</i>	uvaia	4
Oleraceae	<i>Olea europaea</i>	oliveira	3
Polygonaceae	<i>Polygonum punctatum</i>	sincho	2
Primulaceae	<i>Myrsine umbellata</i>	capororoca	1
Proteaceae	<i>Grevillea robusta</i>	grevilea	8
Rhamnaceae	<i>Hovenia dulcis</i>	uva japonesa	4
Rutaceae	<i>Citrus spp.</i>	citrus	56
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i>	citrus laranjeira	13
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	mamica de cadela	3
Rutaceae	<i>Murraya paniculata</i>	murta	3
Rutaceae	<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	zanthoxylum	1
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i>	chalchal	8
Urticaceae	<i>Cecropia pachystachya</i>	embaúba	1
Verbenaceae	<i>Verbena officinalis</i>	verbena	1
	TOTAL		47 366

### SAF3

Família	Nome científico	Nome popular	Número
Anacardiaceae	<i>Schinus lentiscifolius</i>	aroeira do campo	2
Anacardiaceae	<i>Myracrodruon balansae</i>	aroeira salso	2
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i>	aroeira vermelha	5
Annonaceae	<i>Xylopia brasiliensis</i>	tanheiro	14
Aquifoliaceae	<i>Ilex paraguariensis</i>	erva-mate	13
Arecaceae	<i>Mimosa scabrella</i>	butiá	58

Arecaceae	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	jerivá	5
Boraginaceae	<i>Cordia salicifolia</i>	chádebugre	1
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i>	guajuvira	10
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i>	louro pardo	14
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i>	trema	2
Ebenaceae	<i>Diospyros kaki</i>	caqui	1
Fabaceae	<i>Acacia mearnsii</i>	acácia negra	20
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	angico	3
Fabaceae	<i>Mimosa scabrella</i>	bracatinga	7
Fabaceae	<i>Inga edulis</i>	ingá	1
Fabaceae	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	timbaúva	2
Fabaceae	<i>Lonchocarpus spp.</i>	timbó	1
Lauraceae	<i>Ocotea odorifera</i>	canela de cheiro	7
Lauraceae	<i>Nectandra megapotamica</i>	canela murta	6
Lauraceae	<i>Ocotea catharinensis</i>	canela preta	9
Malvaceae	<i>Luehea divaricata</i>	açoita	1
Malvaceae	<i>Luehea divaricata</i>	açoitacavalo	2
Meliaceae	<i>Cabralea canjerana</i>	canjerana	5
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i>	cedro	4
Moraceae	<i>Ficus spp.</i>	figueira	1
Musaceae	<i>Musa spp.</i>	bananeira	5
Myrtaceae	<i>Psidium cattleianum</i>	araçá	3
Myrtaceae	<i>Plinia edulis</i>	cabeludinha	1
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	goiabeira	2
Myrtaceae	<i>Myrcianthes pungens</i>	guabiju	2
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	guabiroba	1
Myrtaceae	<i>Syzygium cumini</i>	jambolão	1
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i>	pitangueira	1
Primulaceae	<i>Myrsine umbellata</i>	capororoca	16
Primulaceae	<i>Myrsine lorentziana</i>	capororoquina	10
Rhamnaceae	<i>Hovenia dulcis</i>	uva japonesa	8
Rutaceae	<i>Citrus spp.</i>	citrus	23
Rutaceae	<i>Citrus reticulata</i>	citrus tangerina	2
Rutaceae	<i>Murraya paniculata</i>	murta	5
Rutaceae	<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	zanthoxylum	5
Sapindaceae	<i>Cupania vernalis</i>	camboatá	6
Sapindaceae	<i>Cupania oblongifolia</i>	camboatá branco	2
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i>	chalchal	10
	TOTAL		43 299

**SAF 4**

Família	Nome científico	Nome popular	Número
Anacardiaceae	<i>Schinus lentiscifolius</i>	aroeira do campo	1
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i>	araucária	2
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i>	guajuvira	1
Euphorbiaceae	<i>Sebastiania commersoniana</i>	branquilho	2
Fabaceae	<i>Acacia mearnsii</i>	acácia negra	100
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	angico	12
Juglandaceae	<i>Carya illinoensis</i>	pecaneira	1
Malvaceae	<i>Astrapéa martiana</i>	astrapéia	1
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i>	cedro	1
Meliaceae	<i>Melia azedarach</i>	cinamomo	2
Musaceae	<i>Musa spp.</i>	bananeira	11
Myrtaceae	<i>Psidium cattleianum</i>	araçá	2
Myrtaceae	<i>Myrcianthes pungens</i>	guabiju	1
Myrtaceae	<i>Eugenia sulcata</i>	pessegueiro da praia	2
Rosaceae	<i>Cydonia oblonga</i>	marmeleiro	2
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i>	nêspira	4
Rutaceae	<i>Citrus spp.</i>	citrus	135
Rutaceae	<i>Murraya paniculata</i>	murta	1
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i>	chalchal	2
Sapindaceae	<i>Dodonea viscosa</i>	vassourão	1
	TOTAL		19 284

**SAF 5**

Família	Nome científico	Nome popular	Número
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i>	araucária	1
Arecaceae	<i>Butia capitata</i>	butiá	1
Euphorbiaceae	<i>Vernica fordii</i>	tungue	1
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	angico	1
Juglandaceae	<i>Prunus spp.</i>	pessegueiro	147
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	abacateiro	1
<i>Olea europaea</i>	<i>Carya illinoensis</i>	pecaneira	32
Oleraceae	<i>Olea europaea</i>	oliveira	2
Rutaceae	<i>Citrus spp.</i>	citrus	1
	TOTAL		8 187

**SAF 6**

Família	Nome científico	Nome popular	Número
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i>	aroeira vermelha	2
Annonaceae	<i>Annona crassiflora</i>	araticum	1
Aquifoliaceae	<i>Ilex paraguariensis</i>	erva-mate	1
Arecaceae	<i>Butia capitata</i>	butiá	135

Asteraceae	<i>Vernonia polysphaera</i>	assapeixe	2
Boraginaceae	<i>Patagonula americana</i>	guajuvira	10
Boraginaceae	<i>Cordia trichotoma</i>	louro pardo	14
Cactaceae	<i>Hylocereus undatus</i>	pitaya	4
Cannabaceae	<i>Trema micrantha</i>	trema	1
Ebenaceae	<i>Diospyros kaki</i>	caqui	2
Fabaceae	<i>Machaerium stipitatum</i>	tatumã de espinho	8
Jungladaceae	<i>Carya illinoensis</i>	pecaneira	2
Lythraceae	<i>Lagerstroemia indica</i>	extremosa	1
Malvaceae	<i>Luehea divaricata</i>	açoitacavalo	8
Meliaceae	<i>Cabralea canjerana</i>	canjerana	2
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i>	cedro	7
Moraceae	<i>Ficus spp.</i>	figueira	1
Musaceae	<i>Musa spp.</i>	bananeira	28
Myrtaceae	<i>Psidium cattleianum</i>	araçá	3
Myrtaceae	<i>Eugenia involucrata</i>	cerejeira	24
Myrtaceae	<i>Acca sellowiana</i>	feijoa	1
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	goiabeira	2
Myrtaceae	<i>Myrcianthes pungens</i>	guabiju	6
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	guabiroba	41
Myrtaceae	<i>Plinia cauliflora</i>	jabuticabeira	28
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i>	pitangueira	1
Myrtaceae	<i>Eugenia pyriformis</i>	uvaia	26
Rosaceae	<i>Malus domestica</i>	macieira	13
Rosaceae	<i>Prunus persica</i>	pessegueiro	11
Rutaceae	<i>Citrus spp.</i>	citrus	2
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i>	citrus laranja	14
Rutaceae	<i>Citrus limonia</i>	limão-cravo	1
Rutaceae	<i>Citrus excelsa</i>	limão-do-mato	1
Rutaceae	<i>Murraya paniculata</i>	murta	2
Rutaceae	<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	zanthoxylum	1
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i>	chalchal	3
	TOTAL		35 409

### SAF 7

Família	Nome científico	Nome popular	Número
Arecaceae	<i>Butia capitata</i>	butiá	91
Arecaceae	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	jerivá	1
Bignoniaceae	<i>Handroanthus albus</i>	ipê amarelo	1

Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	angico	4
Fabaceae	<i>Inga edulis</i>	ingá	2
Fabaceae	<i>Peltophorum dubium</i>	canafístula	5
Fabaceae	<i>Família Fabaceae</i>	leguminosa	3
Fabaceae	<i>Machaerium stipitatum</i>	tatumã de espinho	1
Lamiaceae	<i>Vitex montevidensis</i>	tarumã	5
Lythraceae	<i>Punica granatum</i>	romã	4
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i>	cedro	2
Musaceae	<i>Musa spp.</i>	bananeira	2
Myrtaceae	<i>Psidium cattleianum</i>	araçá	4
Myrtaceae	<i>Eugenia florida</i>	guamirim	3
Myrtaceae	<i>Eugenia involucrata</i>	cerejeira	12
Myrtaceae	<i>Acca sellowiana</i>	feijoa	1
Myrtaceae	<i>Myrcianthes pungens</i>	guabiju	7
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	guabiroba	10
Myrtaceae	<i>Plinia cauliflora</i>	jabuticabeira	2
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	goiabeira	27
Myrtaceae	<i>Eugenia sulcata</i>	pessegueiro da praia	4
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i>	pitangueira	19
Myrtaceae	<i>Eugenia pyriformis</i>	uvaia	12
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i>	citrus laranjeira	4
Rutaceae	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i>	mamica de cadela	3
Rutaceae	<i>Murraya paniculata</i>	murta	2
Sapindaceae	<i>Cupania vernalis</i>	camboatá	1
			26
			232

SAF 8			
Família	Nome científico	Nome popular	Número
Anacardiaceae	<i>Lithraea molleoides</i>	aroeira preta	1
Bignoniaceae	<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	ipê	2
Bignoniaceae	<i>Tabebuia roseo-alba</i>	ipêjardim	1
Bignoniaceae	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	jacarandá mimoso	4
Fabaceae	<i>Acacia spp.</i>	acácia	12
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	angico	Lauraceae
Fabaceae	<i>Mimosa scabrella</i>	bracatinga	1
Meliaceae	<i>Cabralea canjerana</i>	canjerana	1
Meliaceae	<i>Melia azedarach</i>	cinamomo	1
Moraceae	<i>Morus nigra</i>	amora	1
Moraceae	<i>Ficus spp.</i>	figueira	1
Moraceae	<i>Ficus carica</i>	figo	4
Musaceae	<i>Musa spp.</i>	banana	3
Myrtaceae	<i>Psidium cattleianum</i>	araçá	11
Myrtaceae	<i>Eugenia involucrata</i>	cerejeira	1
Myrtaceae	<i>Syzygium cumini</i>	jambolão	1

Rosaceae	<i>Prunus persica</i>	pessegueiro	13
Rutaceae	<i>Citrus spp.</i>	citrus	33
		18	91

#### SAF 9

Família	Nome científico	Nome popular	Número
Anacardiaceae	<i>Lithraea molleoides</i>	aroeira preta	1
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolius</i>	aroeira vermelha	5
Anacardiaceae	<i>Spondias tuberosa</i>	umbu	1
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i>	araucária	4
Arecaceae	<i>Butia capitata</i>	butiá	2
Bignoniaceae	<i>Tabebuia roseo-alba</i>	ipê de jardim	1
Bignoniaceae	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	ipê roxo	1
Fabaceae	<i>Acacia mearnsii</i>	acácia negra	1
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	angico	1
Fabaceae	<i>Cajanus cajan</i>	guandu	2
Fabaceae	<i>Bauhinia variegata</i>	pata de vaca	1
Fabaceae	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	timbaúva	2
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	abacateiro	1
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i>	cedro	1
Meliaceae	<i>Melia azedarach</i>	cinamomo	5
Moraceae	<i>Ficus spp.</i>	figueira	1
Musaceae	<i>Musa spp.</i>	bananeira	10
Myrtaceae	<i>Eucalyptus spp.</i>	eucalipto	1
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	goiabeira	2
Myrtaceae	<i>Plinia cauliflora</i>	jabuticabeira	1
Myrtaceae	<i>Syzygium cumini</i>	jambolão	1
Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus sellowianus</i>	sarandi	1
Rhamnaceae	<i>Hovenia dulcis</i>	uva japonesa	7
Rosaceae	<i>Rubus fruticosus</i>	amora de espinhos	6
Rosaceae	<i>Cydonia oblonga</i>	marmeleiro	2
Rosaceae	<i>Eriobotrya japonica</i>	nêspera	5
Rosaceae	<i>Prunus persica</i>	pessegueiro	19
Rutaceae	<i>Citrus spp.</i>	citrus	1
Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i>	abiu	1
Solanaceae	<i>Solanum betaceum</i>	tomate arbóreo	2
Vitaceae	<i>Vitis vinifera</i>	uva	6
		30	95

#### SAF 10

Família	Nome científico	Nome popular	Número
Annonaceae	<i>Annona crassiflora</i>	araticum	2
Arecaceae	<i>Butia capitata</i>	butiá	20
Asteraceae	<i>Tagetes erecta</i>	tagetes	1
Asteraceae	<i>Vernonia polyanthes</i>	vassourão	22
Celastraceae	<i>Maytenus ilicifolia</i>	espinheira santa	1

Ebenaceae	<i>Diospyros kaki</i>	caqui	3
Fabaceae	<i>Acacia mearnsii</i>	acácia negra	16
Fabaceae	<i>Anadenanthera colubrina</i>	angico	1
Fabaceae	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	timbaúva	1
Lauraceae	<i>Persea americana</i>	abacateiro	4
Lauraceae	<i>Ocotea odorifera</i>	canela de cheiro	1
Malvaceae	<i>Luehea divaricata</i>	açoitacavalo	1
Moraceae	<i>Ficus carica</i>	figo	3
Musaceae	<i>Musa spp.</i>	bananeira	35
Myrtaceae	<i>Eucalyptus spp.</i>	eucalipto	8
Myrtaceae	<i>Psidium guajava</i>	goiabeira	6
Myrtaceae	<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	guabiroba	1
Myrtaceae	<i>Eugenia sulcata</i>	pessegueiro da praia	2
Myrtaceae	<i>Eugenia uniflora</i>	pitangueira	3
Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus sellowianus</i>	sarandi	2
Primulaceae	<i>Myrsine lorentziana</i>	capororoquinha	1
Rosaceae	<i>Cydonia oblonga</i>	marmeleiro	4
Rosaceae	<i>Prunus persica</i>	pessegueiro	3
Rutaceae	<i>Citrus spp.</i>	citrus	10
Rutaceae	<i>Citrus sinensis</i>	citrus laranja	2
Rutaceae	<i>Citrus limon</i>	citrus limão	2
Rutaceae	<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	zanthoxylum	2
Sapindaceae	<i>Cupania vernalis</i>	camboatá	1
Sapindaceae	<i>Sapindus saponaria</i>	sabão de soldado	1
Sapotaceae	<i>Pouteria caimito</i>	abiu	1

29 160

## Apêndice B – Lista de espécies de invertebrados do solo.

### SAF1

#### Ordem/Família

Armadillidiidae / Philosciidae  
 Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Termitidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Lumbricidae  
 Formicidae  
 Scorpionidae / Buthidae  
 Tabanidae  
 Lumbricidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Termitidae

### SAF2

#### Ordem/Família

Armadillidiidae / Philosciidae  
 Formicidae  
 Culicidae / Muscidae  
 Lumbricidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Formicidae  
 Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
 Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
 Julidae / Spirostreptidae  
 Formicidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Formicidae  
 Tabanidae  
 Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Lumbricidae  
 Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae

### SAF3

#### Ordem/Família

Lumbricidae  
 Lumbricidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Termitidae  
 Formicidae

Formicidae  
 Formicidae  
 Formicidae  
 Termitidae  
 Formicidae  
 Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
 Formicidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Indeterminada  
 Formicidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Gryllidae / Acrididae  
 Gryllidae / Acrididae  
 Termitidae  
 Formicidae  
 Formicidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Formicidae  
 Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
 Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
 Indeterminada  
 Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
 Lumbricidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Salticidae / Theridiidae / Lycosidae  
 Termitidae  
 Formicidae  
 Indeterminada

### SAF4

#### Ordem/Família

Armadillidiidae / Philosciidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
 Desconhecida  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Armadillidiidae / Philosciidae  
 Indeterminada  
 Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae

Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Desconhecida  
Termitidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Indeterminada  
Termitidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Nymphalidae / Saturniidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Reduviidae / Pentatomidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Coleoptera

#### **SAF 5**

##### **Ordem/Família**

Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Formicidae  
Desconhecida  
Indeterminada  
Indeterminada  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Scolopendridae / Geophilidae  
Lumbricidae  
Scolopendridae / Geophilidae  
Curculionidae  
Forficulidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Desconhecida  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Formicidae  
Scorpionidae / Buthidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Indeterminada  
Desconhecida  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Indeterminada  
Formicidae  
Formicidae  
Formicidae  
Formicidae

Armadillidiidae / Philosciidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Indeterminada  
Indeterminada  
Armadillidiidae / Philosciidae

#### **SAF6**

Armadillidiidae / Philosciidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Lumbricidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Salticidae / Theridiidae / Lycosidae  
Indeterminada  
Formicidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Desconhecida  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Lumbricidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Salticidae / Theridiidae / Lycosidae  
Salticidae / Theridiidae / Lycosidae  
Gryllidae / Acrididae  
Tabanidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Lumbricidae  
Formicidae  
Desconhecida  
Lumbricidae  
Lumbricidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Desconhecida  
Desconhecida  
Salticidae / Theridiidae / Lycosidae  
Indeterminada  
Formicidae

#### **SAF7**

Termitidae  
Formicidae  
Lumbricidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Desconhecida  
Desconhecida  
Lumbricidae

Lumbricidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Formicidae  
Termitidae  
Termitidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Formicidae  
Formicidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Salticidae / Theridiidae / Lycosidae  
Lumbricidae  
Nymphalidae / Saturniidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Indeterminada  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Gryllidae / Acrididae  
Formicidae  
Termitidae

#### **SAF8**

Lumbricidae  
Forficulidae  
Forficulidae  
Lumbricidae  
Forficulidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Formicidae  
Indeterminada  
Salticidae / Theridiidae / Lycosidae  
Gryllotalpidae  
Glomeridae  
Lumbricidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Scolopendridae / Geophilidae  
Formicidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Salticidae / Theridiidae / Lycosidae

Salticidae / Theridiidae / Lycosidae  
Varia  
Gryllotalpidae  
Indeterminada  
Indeterminada  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Indeterminada  
Formicidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Gryllotalpidae  
Lumbricidae  
Termitidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Formicidae  
Formicidae

#### **SAF9**

Armadillidiidae / Philosciidae  
Indeterminada  
Formicidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Gryllotalpidae  
Salticidae / Theridiidae / Lycosidae  
Culicidae / Muscidae  
Gryllotalpidae  
Gryllidae / Acrididae  
Salticidae / Theridiidae / Lycosidae  
Indeterminada  
Indeterminada  
Coccinellidae  
Indeterminada  
Aphididae  
Lumbricidae  
Scolopendridae / Geophilidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Lumbricidae  
Lumbricidae  
Salticidae / Theridiidae / Lycosidae  
Indeterminada

Salticidae / Theridiidae / Lycosidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Lumbricidae  
Formicidae  
Termitidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Reduviidae / Pentatomidae  
Desconhecida

**SAF10**

Termitidae  
Formicidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Armadillidiidae / Philosciidae

Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Termitidae  
Formicidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Termitidae  
Formicidae  
Reduviidae / Pentatomidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae  
Armadillidiidae / Philosciidae  
Formicidae  
Salticidae / Theridiidae / Lycosidae  
Carabidae / Scarabaeidae / Coccinellidae

## **ANEXOS**

## Anexo A – Laudo de análise do solo

### Laboratório de Fertilidade do Solo

Página 1/2

### Laudo de Análise de Solo

Nome: Ernestino de Souza Gomes Guarino  
Município:  
Fone:  
Entrada: 08/02/2023

Localidade:  
Uso Atual:  
Cultura: Agrofloresta  
Emissão: 13/04/2023

Amostra Reg. Nº	Identificação	Coordenadas		Área (ha)	Prof. cm	Sist. Cult.
		Lat. (S)	Long. (W)			
38348	Amostra 1	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38349	Amostra 2	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38350	Amostra 3	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38351	Amostra 4	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38352	Amostra 5	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38353	Amostra 6	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--

Amostra Reg. Nº	pH água 1:1	Índice SMP	C.E.	H+Al	Al	Ca	Mg	K	Saturação (%)	
				cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>						Al
38348	5,3	6,4	--X--	2,8	0,1	3,9	1,1	--X--	--X--	--X--
38349	5,1	6,4	--X--	2,8	0,1	3,1	1,4	--X--	--X--	--X--
38350	4,4	5,3	--X--	10,0	2,3	1,5	0,8	--X--	--X--	--X--
38351	4,8	5,7	--X--	6,2	1,6	1,7	1,4	--X--	--X--	--X--
38352	5,4	6,4	--X--	2,9	0,1	3,0	1,3	--X--	--X--	--X--
38353	6,4	7,1	--X--	1,3	0,0	7,1	3,1	--X--	--X--	--X--

Amostra Reg. Nº	Classe textural	Argila	M.O.	P	K	Na	S	CTC	
		----- % -----	mg/dm <sup>3</sup>						efetiva
38348	3	22	2,4	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--
38349	4	20	2,7	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--
38350	3	26	3,7	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--
38351	2	42	3,1	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--
38352	4	18	2,0	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--
38353	3	21	2,4	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--

Amostra Reg. Nº	B	Cu	Zn	Mn	Fe	Relações entre Cátions			
	mg/dm <sup>3</sup>					g/dm <sup>3</sup>	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
38348	--X--	0,1	1,4	20,9	1,2	3,5	--X--	--X--	--X--
38349	--X--	0,1	1,1	14,6	0,1	2,2	--X--	--X--	--X--
38350	--X--	0,1	0,3	1,3	0,6	1,9	--X--	--X--	--X--
38351	--X--	0,1	0,3	0,1	1,2	1,2	--X--	--X--	--X--
38352	--X--	0,1	0,5	0,1	0,4	2,3	--X--	--X--	--X--
38353	--X--	0,1	0,5	0,1	1,9	2,3	--X--	--X--	--X--

**Observações:**

Data de coleta das amostras 1 e 3: 25/10/2022  
Data de coleta da amostra 4: 26/10/2022  
Data de coleta das amostras 5 e 6: 27/10/2022

Walkyria Bueno Scivitaro  
Responsável Técnico - CREA RS 102890

Embrapa Clima Temperado. <http://www.cpact.embrapa.br/laboratorio/fertil>  
Rod. BR 392 Km 78, Caixa Postal 403 Pelotas, RS, CEP 96001-970  
Fone: (53) 3215-8231. E-mail: [labokce@cpact.embrapa.br](mailto:labokce@cpact.embrapa.br)

## Laboratório de Fertilidade do Solo

Página 2/2

### Laudo de Análise de Solo

Nome: Ernestino de Souza Gomes Guarino  
Município:  
Fone:  
Entrada: 08/02/2023

Localidade:  
Uso Atual:  
Cultura: Agrofloresta  
Emissão: 13/04/2023

Amostra Reg. Nº	Identificação	Coordenadas		Área (ha)	Prof. cm	Sist. Cult.
		Lat. (S)	Long. (W)			
38354	Amostra 7	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38355	Amostra 8	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38356	Amostra 9	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38357	Amostra 10	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--

Amostra Reg. Nº	pH água 1:1	Índice SMP	C.E.	H+Al	Al	Ca	Mg	K	Saturação (%)	
				----- cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----						Al
38354	5,9	6,7	--X--	2,0	0,0	4,2	2,2	--X--	--X--	--X--
38355	5,4	6,6	--X--	2,2	0,0	4,8	1,1	--X--	--X--	--X--
38356	5,6	6,5	--X--	2,4	0,0	5,4	2,9	--X--	--X--	--X--
38357	5,0	6,3	--X--	3,2	0,3	3,2	1,6	--X--	--X--	--X--

Amostra Reg. Nº	Classe textural	Argila	M.O.	P	K	Na	S	CTC	
		----- % -----		----- mg/dm <sup>3</sup> -----				efetiva	pH 7
38354	4	20	1,5	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--
38355	3	25	1,8	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--
38356	3	24	3,0	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--
38357	3	25	2,6	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--	--X--

Amostra Reg. Nº	B	Cu	Zn	Mn	Fe	Relações entre Cátions			
	----- mg/dm <sup>3</sup> -----					g/dm <sup>3</sup>	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
38354	--X--	0,1	0,8	0,1	1,2	1,9	--X--	--X--	--X--
38355	--X--	0,1	0,5	0,1	0,4	4,4	--X--	--X--	--X--
38356	--X--	0,1	0,6	0,1	1,6	1,9	--X--	--X--	--X--
38357	--X--	0,1	0,4	0,1	1,3	2,0	--X--	--X--	--X--

**Observações:**

Data de coleta das amostras 7 e 8: 27/10/2022  
Data de coleta das amostras 9 e 10: 08/11/2022

Walkyria Bueno Scivittaro  
Responsável Técnico - CREA RS 102890

Embrapa Clima Temperado. <http://www.cpact.embrapa.br/laboratorios/fertil>  
Rod. BR 392 Km 78, Caixa Postal 403 Pelotas, RS, CEP 96001-970  
Fone: (51) 3275-8231. E-mail: [labxolo@cpact.embrapa.br](mailto:labxolo@cpact.embrapa.br)

## Laboratório de Fertilidade do Solo

Página 1/2

### Laudo de Análise de Solo

Nome: Ernestino de Souza Gomes Guarino  
Município:  
Fone:  
Entrada: 08/02/2023

Localidade:  
Uso Atual:  
Cultura: Agrofloresta  
Emissão: 13/04/2023

Amostra Reg. Nº	Identificação	Coordenadas		Área (ha)	Prof. cm	Sist. Cult.
		Lat. (S)	Long. (W)			
38348	Amostra 1	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38349	Amostra 2	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38350	Amostra 3	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38351	Amostra 4	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38352	Amostra 5	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38353	Amostra 6	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--

Amostra Reg. Nº	pH água 1:1	Índice SMP	C.E.	H+Al	Al	Ca	Mg	K	Saturação (%)	
				----- cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----						Al
38348	5,3	6,4	--X--	2,6	0,1	3,9	1,1	0,3	1,9	67
38349	5,1	6,4	--X--	2,6	0,2	3,1	1,4	0,5	3,8	66
38350	4,4	5,3	--X--	10,0	2,3	1,5	0,8	0,4	46,0	21
38351	4,8	5,7	--X--	6,2	1,6	1,7	1,4	0,4	31,4	36
38352	5,4	6,4	--X--	2,9	0,2	3,0	1,3	0,2	4,3	61
38353	6,4	7,1	--X--	1,3	0,0	7,1	3,1	0,4	0,0	89

Amostra Reg. Nº	Classe textural	Argila	M.O.	P	K	Na	S	CTC	
		----- % -----						efetiva	pH 7
38348	3	22	2,4	7,5	104	--X--	--X--	5,4	7,9
38349	4	20	2,7	40,7	187	--X--	--X--	5,2	7,6
38350	3	26	3,7	4,9	168	--X--	--X--	5,0	12,7
38351	2	42	3,1	1,6	171	--X--	--X--	5,1	9,7
38352	4	18	2,0	2,9	86	--X--	--X--	4,7	7,4
38353	3	21	2,4	47,8	172	--X--	--X--	10,6	11,9

Amostra Reg. Nº	B	Cu	Zn	Mn	Fe	Relações entre Cátions			
	----- mg/dm <sup>3</sup> -----					g/dm <sup>3</sup>	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
38348	--X--	0,1	1,4	20,9	1,2	3,5	13,0	3,7	16,7
38349	--X--	0,1	1,1	14,6	0,1	2,2	6,2	2,8	9,0
38350	--X--	0,1	0,3	1,3	0,6	1,9	3,8	2,0	5,7
38351	--X--	0,1	0,3	0,1	1,2	1,2	4,2	3,5	7,7
38352	--X--	0,1	0,5	0,1	0,4	2,3	15,0	6,5	21,5
38353	--X--	0,1	0,5	0,1	1,9	2,3	17,7	7,8	25,5

Observações:  
Data de coleta das amostras 1, 2 e 3: 25/10/2022  
Data de coleta da amostra 4: 26/10/2022  
Data de coleta das amostras 5 e 6: 27/10/2022

Walkyria Bueno Schwartzo  
Responsável Técnico - CREA RS 102890

Empresa C ilha Tem pe rado. i ttp://www.opact.em.br/pa.br/laboratorios/fertili  
Rod. B R 392 Km 78. Caixa Postal 403 Pelotas, RS. CEP 96001-970  
Fone: (53) 3275-8231. E-mail: labo.oks@opact.em.br/pa.br

## Laboratório de Fertilidade do Solo

Página 2/2

### Laudo de Análise de Solo

Nome: Ernestino de Souza Gomes Guarino  
Município:  
Fone:  
Entrada: 08/02/2023

Localidade:  
Uso Atual:  
Cultura: Agrofloresta  
Emissão: 13/04/2023

Amostra Reg. Nº	Identificação	Coordenadas		Área (ha)	Prof. cm	Sist. Cult.
		Lat. (S)	Long. (W)			
38354	Amostra 7	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38355	Amostra 8	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38356	Amostra 9	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--
38357	Amostra 10	--X--	--X--	--X--	0-20 cm	--X--

Amostra Reg. Nº	pH água 1:1	Índice SMP	C.E.	H+Al	Al	Ca	Mg	K	Saturação (%)	
				----- cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> -----						Al
38354	5,9	6,7	--X--	2,0	0,0	4,2	2,2	0,4	0,0	77
38355	5,4	6,6	--X--	2,2	0,0	4,8	1,1	0,6	0,0	75
38356	5,6	6,5	--X--	2,4	0,0	5,4	2,9	0,3	0,0	78
38357	5,0	6,3	--X--	3,2	0,3	3,2	1,6	0,4	5,5	62

Amostra Reg. Nº	Classe textural	Argila	M.O.	P	K	Na	S	CTC	
		----- % -----	----- mg/dm <sup>3</sup> -----						efetiva
38354	4	20	1,5	14,9	168	--X--	--X--	6,8	8,8
38355	3	25	1,8	14,4	221	--X--	--X--	6,5	8,7
38356	3	24	3,0	1,9	112	--X--	--X--	8,6	11,0
38357	3	25	2,6	3,4	167	--X--	--X--	5,5	8,4

Amostra Reg. Nº	B	Cu	Zn	Mn	Fe	Relações entre Cátions			
	----- mg/dm <sup>3</sup> -----					g/dm <sup>3</sup>	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
38354	--X--	0,1	0,8	0,1	1,2	1,9	10,5	5,5	16,0
38355	--X--	0,1	0,5	0,1	0,4	4,4	8,0	1,8	9,8
38356	--X--	0,1	0,6	0,1	1,6	1,9	18,0	9,7	27,7
38357	--X--	0,1	0,4	0,1	1,3	2,0	8,0	4,0	12,0

Observações:  
Data de coleta das amostras 7 e 8: 27/10/2022  
Data de coleta das amostras 9 e 10: 08/11/2022

Walkyria Bueno Scivitaro  
Responsável Técnico - CREA RS 102890

Embrapa Clima Temperado. <http://www.cpact.embrapa.br/laboratorios/fertil>  
Rod. BR 392 Km 78, Caixa Postal 403 Pelotas, RS, CEP 96001-970  
Fone: (51) 3275-8231. E-mail: [labolo@cpact.embrapa.br](mailto:labolo@cpact.embrapa.br)