



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS GENÉTICOS VEGETAIS

Djalma Roecker Júnior

**EFEITOS DA DIVERSIDADE FUNCIONAL DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS
SOBRE ESTRATÉGIAS ECOLÓGICAS DE PLANTAS ESPONTÂNEAS**

Florianópolis

2022

Djalma Roecker Júnior

**EFEITOS DA DIVERSIDADE FUNCIONAL DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS
SOBRE ESTRATÉGIAS ECOLÓGICAS DE PLANTAS ESPONTÂNEAS**

Dissertação/Tese submetida ao Programa de Recursos
Genéticos Vegetais da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do título de mestre em ciências
Orientador: Prof. Ilyas Siddique, Dr.
Coorientador: Prof. Fernando Joner, Dr.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Roecker Júnior, Djalma
efeitos da diversidade funcional de sistemas
agroflorestais sobre estratégias ecológicas de plantas
espontâneas / Djalma Roecker Júnior ; orientador, Ilyas
Siddique , coorientador, Fernando Joner , 2022.
58 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós
Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Florianópolis,
2022.

Inclui referências.

1. Recursos Genéticos Vegetais. 2. Sistemas
Agroflorestais. 3. Ecologia Funcional. 4. Estratégias
Ecológicas. 5. Plantas Espontâneas. I. , Ilyas Siddique. II.
, Fernando Joner. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos
Vegetais. IV. Título.

Djalma Roecker Júnior

**Efeitos da Diversidade Funcional de Sistemas Agroflorestais Sobre Estratégias
Ecológicas de Plantas Espontâneas**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Ana Catarina Conte Jakovac, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Eduardo Luís Hettwer Giehl, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de mestre em Recursos Genéticos Vegetais.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof.(a) Ilyas Siddique, Dr.(a)
Orientador(a)

Florianópolis, 2022

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Djalma e Teresinha e ao meu irmão, Pedro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família, especialmente meus pais Djalma e Teresinha, e meu irmão Pedro, que estiveram comigo dando apoio, incentivo e carinho durante todo o processo de construção desse trabalho e toda minha vida.

Aos meus amigos, que estiveram presentes nos momentos bons e ruins, em especial Tairi, Yanna, Clara, Vanessa, Bruno, Larissa, Eder e Natália, obrigado!

A Eder, Deise, Arthur e Vitor, que foram minha segunda família durante grande parte desse processo.

Aos meus orientadores Ilyas e Fernando por todo apoio, ensinamentos, direções e compreensão no processo de construção de uma pesquisa, entendendo que o mestrado é muito mais do que a construção de um trabalho acadêmico, é grande parte da formação e da vida de um ser humano com suas dificuldades e anseios.

Aos meus colegas de LEAp, aqui representados por Larissa e Diego, para que eu não corra o risco de esquecer ninguém, agradeço por todas as conversas, trocas de experiência, ensinamentos, tempo dedicado, apoio nas atividades práticas e bons momentos vividos. Um trabalho como esse só é possível com o apoio de uma grande equipe.

Agradeço especialmente a Diego e Renata, que serviram como base para todo esse trabalho, me orientaram com paciência e dedicação para que eu realizasse as atividades práticas e análises de dados, além de gentilmente cederem os dados de atributos funcionais de suas pesquisas para que eu pudesse compor minhas análises.

À equipe técnica e demais funcionários da Fazenda Ressacada, que sempre estiveram disponíveis e solícitos para ajudar no que fosse preciso, garantindo as melhores condições possíveis para a realização do experimento.

Por fim, agradeço à UFSC pela estrutura e formação oferecidas a mim. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa CAPES-PROEX (41001010041P8) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento do experimento através da Chamada Universal de pesquisa Nº 409638/2016-1.

Procure deixar este mundo um pouco melhor do que quando o encontrou. Assim, quando chegar a hora de morrer, você poderá morrer feliz, com o sentimento de que seu tempo não foi perdido e fez o seu melhor. (BADEN-POWELL)

RESUMO

Um dos maiores desafios da agricultura moderna é manter ou até mesmo aumentar a produção dos sistemas agrícolas e ao mesmo tempo reduzir seus impactos ambientais negativos. Uma das alternativas para isso é o uso de teorias da ecologia de ecossistemas naturais para manejar ecossistemas agrícolas. Os sistemas agroflorestais agroecológicos são um bom exemplo de sistema produtivo que utiliza bases ecológicas para a produção e manutenção de serviços ecossistêmicos. As plantas espontâneas representam um dos grandes desafios em sistemas agroecológicos, para otimizar essa convivência, ferramentas como o modelo CSR proposto por Grime são importantes para entender as dinâmicas ecológicas desses sistemas. O objetivo desse trabalho é entender como a diversidade funcional de plantas cultivadas influencia na cobertura do solo e nas estratégias ecológicas de plantas espontâneas em sistemas agroflorestais sucessionais agroecológicos. Para isso foi realizado um levantamento fitossociológico, coletados atributos funcionais e realizado cálculo de estratégias ecológicas CSR de espécies cultivadas e espontâneas. Esses dados foram utilizados em modelos de equações estruturais para testar os efeitos da diversidade funcional e teor de nitrogênio foliar das comunidades cultivadas sobre a diversidade funcional, cobertura de solo e estratégias ecológicas de plantas espontâneas. As comunidades vegetais estudadas apresentaram relativa importância da estratégia S, com as cultivadas apresentando comumente estratégia C e as espontâneas comumente estratégia R. Comunidades cultivadas com maiores diversidades funcionais e médias do teor de nitrogênio foliar reduziram a capacidade competitiva (estratégia C), aumentaram a estratégia R das plantas espontâneas e a cobertura de solo por essas plantas. A cobertura de solo favorece a estratégia R em detrimento da C na comunidade espontânea. Além disso, a diversidade funcional das cultivadas tem efeito negativo na diversidade funcional das espontâneas. A maior ocupação de nichos por cultivadas proporcionada pela diversidade funcional e a grande capacidade competitiva dessas plantas relacionada ao teor de nitrogênio foliar podem explicar o desfavorecimento da estratégia ecológica C na comunidade espontânea. Esses resultados indicam que sistemas agroflorestais mais diversos e com plantas com altos teores de nitrogênio foliar têm maior capacidade de conviver com plantas espontâneas, otimizando o uso dos recursos disponíveis. Sendo assim a diversidade funcional e o teor de nitrogênio foliar são características chave para o planejamento e manejo de sistemas agroflorestais.

Palavras-chave: CSR. Nitrogênio foliar. Ecologia funcional. Atributo funcional. Manejo ecológico. Plantas daninhas.

ABSTRACT

Maintaining or even increasing the production of agricultural systems while reducing their negative environmental impacts is one of the biggest challenges of modern agriculture. This could be achieved using ecological theories from natural ecosystems to manage agricultural ecosystems. Agroecological agroforestry systems are a good example of productive systems that utilizes ecological theories for the production and maintenance of ecosystem services. Weeds represent one of the greatest challenges in agroecological systems, tools like the CSR strategy model proposed by Grime are important to understand the ecological dynamics of these systems and allowing the management of weeds. The objective of this work is to understand how the functional diversity of cultivated plants influences the soil cover and the ecological strategies of weeds in agroecological successional agroforestry systems. For this, we used a phytosociological survey, collected functional traits data and calculated the CSR strategies of cultivated and spontaneous species. These data were fitted with the use of structural equations modeling to test the effects of functional diversity and leaf nitrogen content of cultivated communities on functional diversity, land cover and ecological strategies of weeds. The studied plant communities showed an importance of the S strategy, with the cultivated ones presenting a greater C strategy and the spontaneous ones a greater R strategy. Cultivated communities with greater functional diversity and leaf nitrogen content reduced the C strategy and increased the R strategy of spontaneous plants, the functional diversity and soil cover by these plants. Soil cover favors the R strategy over the C strategy in the spontaneous community. In addition, the functional diversity of cultivated plants has a negative effect on the functional diversity of spontaneous plants. The greater occupation of niches by cultivated plants provided by the functional diversity and the greater competitive ability of these plants related to the leaf nitrogen content may explain the lower values of C strategy in weeds. These results indicate that more diverse agroforestry systems with plants with high levels of leaf nitrogen content have a greater capacity to coexist with weeds, optimizing the use of resources. Thus, functional diversity and leaf nitrogen content are two key criteria for the planning and management of agroforestry systems.

Keywords: CSR. Leaf nitrogen content. Functional ecology. Functional trait. Ecological management. Weeds.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1: Disposição e dimensões (em metros) das parcelas, blocos (em números romanos) e dos tratamentos experimentais dentro de cada bloco na área experimental. As letras dentro das parcelas representam os tratamentos B - Baixo, M - Médio e A - Alto nitrogênio foliar. Fonte: imagem manipulada do Google Earth (2016). 26
- Figura 2: Representação da parcela experimental com dimensões e distribuição das faixas com os diferentes hábitos de crescimento e tempos de plantio das espécies vegetais cultivadas nos sistemas agroflorestais. Fonte: acervo do Laboratório de Ecologia Aplicada..... 27
- Figura 3: Quadros de coleta, medindo 0,50 x 0,50 m, utilizados para estimar as coberturas das espécies, cobertura do solo por matéria morta, percentual de solo exposto e realizar levantamento fitossociológico. Fonte: acervo pessoal do autor. 28
- Figura 4: Câmera fotográfica posicionada para coleta de fotos posteriormente utilizadas para obtenção do índice de área foliar. Fonte: acervo pessoal do autor. 29
- Figura 5: Modelo de equações estruturais hipotético testando o efeito da diversidade funcional de plantas cultivadas na diversidade funcional e estratégias ecológicas de plantas espontâneas, cobertura do solo e índice de área foliar. Caixas representam variáveis medidas. Caixas cinza-escuras referem-se às plantas espontâneas e cinza-claras às cultivadas. Setas representam relações unidirecionais entre variáveis e setas duplas representam relações em que causa e efeito não podem ser definidos. Setas contínuas representam relações positivas e setas pontilhadas negativas. 33
- Figura 6: Modelo de equações estruturais hipotético testando o efeito da média funcional do teor de nitrogênio foliar nas estratégias ecológicas de plantas espontâneas, cobertura do solo e índice de área foliar. Caixas representam variáveis medidas. Caixas cinza-escuras referem-se às plantas espontâneas e cinza-claras às cultivadas. Setas representam relações unidirecionais entre variáveis e setas duplas representam relações em que causa e efeito não podem ser definidos. Setas contínuas representam relações positivas e setas pontilhadas negativas..... 35
- Figura 7: Estratégias ecológicas CSR nas 6 parcelas do tratamento Alto. 38
- Figura 8: Estratégias ecológicas CSR nas 6 parcelas do tratamento Baixo..... 39
- Figura 9: Estratégias ecológicas CSR nas 6 parcelas do tratamento Médio. 40
- Figura 10: Modelo de equações estruturais mostrando o efeito da diversidade funcional de plantas cultivadas na diversidade funcional e estratégias ecológicas de plantas espontâneas, cobertura do solo e índice de área foliar. Caixas representam variáveis medidas. Caixas cinza-escuras referem-se às plantas espontâneas e cinza-claras às cultivadas. Setas representam relações unidirecionais entre variáveis e setas duplas representam relações em que causa e efeito não podem ser definidos. Setas contínuas representam relações positivas e setas pontilhadas negativas. Os valores apresentados junto às setas para as relações significativas (**p < 0.001, *p < 0.01, *p < 0.05) são os coeficientes de regressão padronizados. N = 108. AIC = 76,42. C de Fisher = 20,42 com p = 0,432 e 20 graus de liberdade. 41

Figura 11: Modelo de equações estruturais mostrando o efeito do teor de nitrogênio foliar de plantas cultivadas na diversidade funcional e estratégias ecológicas de plantas espontâneas, cobertura do solo e índice de área foliar. Caixas representam variáveis medidas. Caixas cinza-escuras referem-se às plantas espontâneas e cinza-claras às cultivadas. Setas representam relações unidirecionais entre variáveis e setas duplas representam relações em que causa e efeito não podem ser definidos. Setas contínuas representam relações positivas e setas pontilhadas negativas. Os valores apresentados junto às setas para as relações significativas (**p < 0.001, *p < 0.01, *p < 0.05) são os coeficientes de regressão padronizados. N = 108. AIC = 58,70. C de Fisher = 12,70 com p = 0,241 e 10 graus de liberdade. 43

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Atributos funcionais medidos e suas funções ecológicas (DÍAZ et al., 2016).....	30
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Espécies espontâneas presentes e suas formas de vida.....	36
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SAF – Sistema agroflorestal

SEM – Structural Equation Modeling (Modelo de equações estruturais)

N-foliar – Teor de nitrogênio foliar

CWM – Community weighted mean (Média funcional)

FD – Functional diversity (Diversidade funcional)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	PLANTAS ESPONTÂNEAS.....	18
2.2	SISTEMAS AGROFLORESTAIS.....	19
2.3	ATRIBUTOS, MÉDIA E DIVERSIDADE FUNCIONAL	20
2.4	ESTRATÉGIAS ECOLÓGICAS E O MODELO CSR.....	22
2.5	MODELOS DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS (SEM)	23
3	OBJETIVOS	24
3.1	GERAL.....	24
3.2	ESPECÍFICOS.....	24
4	HIPÓTESES.....	24
5	MATERIAL E MÉTODOS	25
5.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	25
5.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	25
5.3	COBERTURAS RELATIVAS E LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO .	27
5.4	ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR.....	28
5.5	AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS	29
5.6	DETERMINAÇÃO DA MÉDIA FUNCIONAL (COMMUNITY WEIGHTED MEAN - CWM) E DIVERSIDADE FUNCIONAL (FD)	30
5.7	QUANTIFICAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS ECOLÓGICAS CSR.....	31
5.8	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	31
5.9	MODELOS HIPOTÉTICOS	32
6	RESULTADOS	36
7	DISCUSSÃO	44
8	CONCLUSÃO.....	49

1 INTRODUÇÃO

Os agroecossistemas são essenciais para a humanidade, provendo serviços ecossistêmicos como provisão de alimentos e matérias primas diversas. Apesar disso, a manutenção desses sistemas também é dependente de serviços ecossistêmicos como a polinização, controle de pragas e doenças, manutenção da qualidade do solo, ciclagem de nutrientes, regulação climática, disponibilidade de água e outros. Atualmente, grande parte dos agroecossistemas é projetada com foco nos serviços de provisão, ou seja, busca maximizar a produção de um determinado produto em uma determinada área, ocupando o solo com vastas monoculturas e modelos ecologicamente muito simplificados. Sendo assim, os ecossistemas agrícolas se tornam altamente dependentes de manejos que visam fornecer de maneira artificial outros serviços ecossistêmicos importantes, como disponibilização e ciclagem de nutrientes e controle de doenças e pragas. No modelo agrícola convencional isso é feito de maneira geral com o uso de agrotóxicos e fertilizantes químicos sintéticos. Além disso, a intensificação da produção em sistemas agrícolas tem causado a destruição de paisagens naturais e perda de outros serviços ecossistêmicos importantes para a humanidade e para a manutenção dos próprios sistemas agrícolas (CARDINALE et al., 2012; ISBELL et al., 2017; TILMAN et al., 2011; TILMAN et al., 2002).

Um dos maiores desafios da agricultura moderna é manter ou até mesmo aumentar a produção (provisão) dos sistemas agrícolas e ao mesmo tempo reduzir seus impactos ambientais negativos (BENNETT; PETERSON; GORDON, 2009; DÍAZ et al., 2018; FOLEY et al., 2011; GABA, et al., 2014). Uma das alternativas para isso é o uso de teorias da ecologia de ecossistemas naturais para manejar ecossistemas agrícolas e otimizar os serviços de provisão mantendo os serviços de regulação (GABA, et al., 2017; GABA, et al., 2014). Os sistemas agroflorestais (SAFs) são um bom exemplo de sistema produtivo que utiliza bases ecológicas para a produção e manutenção de outros serviços ecossistêmicos. Os SAFs são sistemas agrícolas que integram cultivos lenhosos (árvores) com outros cultivos vegetais e/ou animais nas mesmas unidades de manejo ao mesmo tempo. SAFs altamente diversificados e com grande diversidade de espécies têm grande potencial para contribuir com a obtenção de múltiplos serviços ecossistêmicos, ou seja, são agroecossistemas multifuncionais (FINNEY; KAYE, 2017; PUMARIÑO et al., 2015; WOOD et al., 2015).

Um dos principais desafios dos sistemas agrícolas é a convivência com plantas espontâneas. Planta espontânea é um termo utilizado para designar qualquer planta que se desenvolva espontaneamente em locais indesejados por humanos, podendo ou não ter impactos

negativos, sejam eles econômicos ou ambientais (STORKEY, 2006). Plantas desse grupo são responsáveis por 9% das perdas globais na produtividade de sistemas agrícolas (OERKE, 2006) e podem causar perdas ainda maiores, chegando a 76% em determinados sistemas de cultivo (GHARDE et al., 2018). O controle de plantas espontâneas tem sido feito basicamente através do uso de agrotóxicos herbicidas (PETIT et al., 2011) e seu manejo em sistemas que não aceitam a aplicação desse tipo de produtos não é trivial. Nem sempre as plantas espontâneas são inimigas dos sistemas agrícolas, elas podem fornecer diversos serviços ecossistêmicos como, por exemplo, alimento e abrigo para polinizadores e inimigos naturais (BRETAGNOLLE; GABA, 2015) e cobertura de solo e proteção contra erosão (RUIZ-COLMENERO et al., 2013). Sendo assim o manejo correto e com base ecológica dessas plantas pode diminuir as perdas de produtividade e preservar os serviços positivos prestados por elas.

Para o manejo adequado com base ecológica de sistemas agroflorestais uma das questões fundamentais é conhecer as comunidades de plantas presentes e entender suas funções e dinâmicas ecológicas. A Ecologia Funcional é uma das abordagens possíveis e amplamente utilizadas para o melhor entendimento das dinâmicas de um ecossistema, inclusive os agrícolas, focando na forma e função das plantas através de atributos funcionais e desviando o foco de abordagens taxonômicas tradicionais (ABALOS et al., 2019; DÍAZ et al., 2016; LEVINE, 2016; SHIPLEY et al., 2016; VIOLLE et al., 2007). Os atributos funcionais são características morfológicas ou fisiológicas, mensuráveis a nível de indivíduo que podem explicar como as plantas se adaptam a condições ambientais ou afetam o ambiente ao seu redor, ou seja, são características que variam de acordo com o ambiente (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013; VIOLLE et al., 2007).

Os atributos funcionais permitem diferentes abordagens (frequentemente complementares) para o entendimento do funcionamento dos ecossistemas. Uma dessas abordagens é a média ou identidade funcional, que descreve o valor dominante de um determinado atributo funcional em uma comunidade (GARNIER; NAVAS, 2012). Esse valor pode ser um importante indicativo das dinâmicas ecológicas, já que os valores de atributos funcionais das espécies dominantes podem ser determinantes nos processos ecológicos (GRIME, 1998; TOBNER et al., 2016). Outra medida importante é a diversidade funcional, uma medida da diversidade de atributos funcionais e dos valores desses atributos funcionais, considerada uma das dimensões da biodiversidade mais diretamente correlacionadas com o funcionamento dos ecossistemas, podendo ser utilizada para explicar muitos processos

ecológicos (CADOTTE; CARSCADDEN; MIROTCHEV, 2011; DIAZ et al., 2007; DÍAZ; CABIDO, 2001; LAVOREL; GARNIER, 2002; REICH, 2014)

Outra abordagem possível para entender melhor o funcionamento dos ecossistemas é a classificação das plantas em grupos considerando suas estratégias ecológicas. Diversas teorias classificando estratégias de plantas foram elaboradas ao longo da história, e muitas delas estão relacionadas a atributos funcionais (DÍAZ et al., 2016). O modelo CSR para classificação das plantas de acordo com suas estratégias ecológicas proposto por Grime, (1977) pode ser estudado a partir de atributos funcionais e é generalizável e bem aceito atualmente (CERABOLINI et al., 2010; PIERCE et al., 2013). Esse modelo compreende três estratégias ecológicas: As plantas C, competidoras, são plantas de ambientes com condições favoráveis ao crescimento vegetal e investem seus recursos na captação eficiente de recursos e crescimento contínuo. As plantas S, tolerantes ao estresse, são plantas de ambientes pobres que investem seus recursos na capacidade de armazenar recursos. Já as plantas R, ruderais, são plantas que investem seus recursos principalmente em reprodução, gerando propágulos para que a população sobreviva a eventos que ocasionem danos letais às plantas, relativamente frequentes em seus ambientes (GRIME, 1977; PIERCE et al., 2013, 2017). Essas estratégias são organizadas em um espectro onde raramente uma planta é 100% C, S ou R, em geral as plantas apresentam uma proporção dessas estratégias.

De posse dessas ferramentas espera-se um bom entendimento da dinâmica das comunidades e do funcionamento dos agroecossistemas para que se possa propor abordagens e manejos baseados em ecologia e que mantenham a multifuncionalidade dos sistemas agrícolas ou manejados (ABALOS et al., 2019).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PLANTAS ESPONTÂNEAS

Plantas daninhas, invasoras ou infestantes são algumas das denominações utilizadas para referir-se às plantas que crescem em sistemas agrícolas sem terem sido plantadas ou planejadas. Todas essas denominações, denotam um significado negativo, ressaltando que tais plantas são indesejáveis, trazendo prejuízo aos sistemas cultivados, e por vezes o controle ou manejo dessas espécies é responsável por grande parte dos custos e energia utilizados em sistemas de produção agrícola (PETIT et al., 2011). Uma outra visão, no entanto, propõe que essas plantas nem sempre causam apenas impactos negativos aos sistemas. Para melhor expressar essa ideia, o termo “plantas espontâneas”, que será utilizado nesse trabalho, designa quaisquer plantas, exóticas ou nativas, que se desenvolvam em locais indesejados por humanos, principalmente áreas agrícolas, podendo ou não ter um impacto negativo, seja ele ambiental ou econômico (STORKEY, 2006).

As plantas espontâneas interagem de diversas formas nos agroecossistemas, compondo a base de cadeias alimentares, fornecendo abrigo e recursos para pássaros, pequenos mamíferos, insetos e outros organismos, que podem, por sua vez, agir como polinizadores e inimigos naturais (BRETAGNOLLE; GABA, 2015). Além disso, essas plantas atuam cobrindo e protegendo o solo, regulando a temperatura e até mesmo podem fornecer recursos e alimentos diretamente para as pessoas (KINUPP; LORENZI, 2015; RUIZ-COLMENERO et al., 2013).

Por outro lado, plantas espontâneas podem ser prejudiciais na medida que competem por espaço, luz, água e nutrientes com espécies vegetais cultivadas. Também podem servir como abrigo ou hospedeiras intermediárias para pragas e doenças, podendo comprometer plantações e causar prejuízos que chegam a 76% da produtividade em alguns sistemas de produção (GHARDE et al., 2018), sendo responsáveis por cerca de 9% das perdas agrícolas globais (OERKE, 2006). Além desses danos diretos, o controle de plantas espontâneas é feito principalmente com a utilização de produtos químicos (PETIT et al., 2011), que causam grandes prejuízos ambientais como poluição de águas subterrâneas (LOOS et al., 2010), indução de resistência a herbicidas por plantas espontâneas (DÉLYE; JASIENIUK; LE CORRE, 2013), até mesmo câncer em pessoas (GUYTON et al., 2015) e são um problema em quase todas as partes do planeta onde a agricultura está presente.

O estabelecimento de comunidades espontâneas é fortemente influenciado por fatores ambientais, como estrutura do solo, clima, disponibilidade de água e nutrientes, interações com outras plantas e filtros ambientais (NAVAS, 2012; PETIT et al., 2011). Essas comunidades

normalmente apresentam distribuições clássicas de abundância, com poucas espécies dominantes e muitas subordinadas (DORNELAS et al., 2009). Por conta dessas características, plantas espontâneas são importantes indicadores das condições ambientais como limitações de nutrientes, seca, excesso de água, entre outros, podendo ser ferramentas úteis para o próprio manejo agrícola, na medida que fornecem informações que podem ajudar a orientar práticas para o melhor estabelecimento das plantas cultivadas (PRIMAVESI, 2017). Além disso, sistemas de manejo baseados em teorias ecológicas, entendendo as funções das diferentes plantas no ecossistema, podem permitir a convivência com as plantas espontâneas, beneficiando-se delas e promovendo sistemas agrícolas mais biodiversos (GABA et al., 2014; SANTOS et al., 2021).

2.2 SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Sistema agroflorestral (SAF) é uma denominação ampla utilizada para designar qualquer sistema agrícola que integra intencionalmente árvores com outras culturas anuais ou perenes na mesma unidade de manejo, promovendo sistemas agrícolas mais biodiversos e multifuncionais (GABA et al., 2014; MALÉZIEUX et al., 2009).

Sistemas agroflorestrais podem ser desde simples, como o consórcio de uma espécie arbórea com pastagem, cerca viva ou quebra-vento, por exemplo, a extremamente complexos, como SAFs sucessionais que buscam imitar e até mesmo acelerar a dinâmica natural da sucessão ecológica consorciando uma grande diversidade de espécies ao longo do tempo. No entanto, todos esses sistemas promovem, em diferentes níveis, biodiversidade, contrastando com o modelo agrícola predominante implantado principalmente a partir da revolução verde. O manejo agrícola incluindo árvores não é novo, diferentes povos em diferentes regiões já praticam esse tipo de agricultura há milhares de anos. Na Amazônia, por exemplo, povos ameríndios já praticavam o cultivo de espécies anuais consorciadas com espécies arbóreas comestíveis há 4500 anos (MAEZUMI et al., 2018).

A inclusão de árvores nos sistemas agrícolas traz diversos benefícios como o aumento da complexidade dos habitats, favorecendo inimigos naturais e polinizadores (PUMARIÑO et al., 2015), sombra, abrigo, alimentos e outros recursos para animais e pessoas (MALÉZIEUX et al., 2009), condições microclimáticas mais estáveis do que sistemas agrícolas convencionais (LIN; PERFECTO; VANDERMEER, 2008), capacidade de acessar água e nutrientes em camadas mais profundas do solo, devido ao maior comprimento radicular das árvores (MALÉZIEUX et al., 2009) e maior capacidade de acumulação e fixação de carbono, além do

fornecimento de madeira (CHATTERJEE et al., 2018). Ou seja, SAFs são sistemas agrícolas biodiversos e multifuncionais (FINNEY; KAYE, 2017; GABA et al., 2014; SANTOS et al., 2021).

Uma outra grande demanda na atualidade é a restauração de áreas degradadas ou desmatadas. Nesse sentido, SAFs sucessionais podem ser importantes ferramentas para conciliar a restauração de ecossistemas com espécies nativas e a produção de alimentos e outros produtos agrícolas. Nesses sistemas, busca-se replicar as condições naturais da sucessão ecológica, onde a composição de espécies muda ao longo do tempo e espécies pioneiras criam condições ambientais favoráveis para o estabelecimento e desenvolvimento de outras, que, por sua vez, irão substituí-las no sistema, assim como ocorre naturalmente em uma floresta (SANTOS et al., 2021; VIEIRA; HOLL; PENEIREIRO, 2009).

Dentre os SAFs sucessionais destaca-se um modelo batizado como “agricultura sintrópica” proposto pelo agricultor e pesquisador suíço Ernst Götsch, que já está se difundindo pelo Brasil e sendo aprimorado por meio de experiências coletivas (FERREIRA; DAL SOGLIO, 2017). Nesse sistema o foco está em utilizar a poda como uma ferramenta para acelerar os processos ecológicos. Para isso, o foco está no plantio superadensado de espécies nativas, ou presentes em sistemas de cultivo tradicionais do local, junto com espécies cuja função é produzir grande quantidade e qualidade de biomassa. O adensamento permite uma melhor ocupação do espaço nos estágios iniciais e as podas são utilizadas posteriormente para abrir espaço e permitir a entrada de luz para os estratos inferiores, além de produzir uma grande quantidade de biomassa que ajuda a cobrir e melhorar a qualidade geral do solo (VIEIRA; HOLL; PENEIREIRO, 2009).

Uma importante etapa para o sucesso desses SAFs é seu planejamento e manejo, para isso, o uso de teorias ecológicas baseadas na função das plantas nos ecossistemas, ou ecologia funcional, pode ser uma ferramenta importante para a prática de SAFs mais produtivos, eficientes do ponto de vista do manejo e que mantenham serviços ecossistêmicos importantes (SANTOS et al., 2021).

2.3 ATRIBUTOS, MÉDIA E DIVERSIDADE FUNCIONAL

Ecologia funcional é uma abordagem ecológica que propõe um olhar para os ecossistemas a partir das funções e formas dos indivíduos ali presentes, independente da sua taxonomia, contrastando com muitos estudos que, para relacionar biodiversidade com funções ecossistêmicas, utilizam como medida a riqueza de espécies (GARNIER; NAVAS, 2012;

LAVOREL; GARNIER, 2002; SHIPLEY et al., 2016). A abordagem funcional é baseada em atributos funcionais, definidos como qualquer característica morfológica, fisiológica ou fenológica mensurável a nível de indivíduo e que esteja relacionada a respostas a condições ambientais ou tenham efeito sobre funções ecossistêmicas, ou seja, características que são influenciadas pelo ambiente ou o influenciam (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013; VIOLLE et al., 2007). Entender as diferentes características das plantas e como elas interagem com o ecossistema pode responder diversas questões sobre dinâmicas ecológicas, estabelecimento de comunidades e sua resposta a mudanças ambientais (DÍAZ et al., 2016; GARNIER; NAVAS, 2012; LAVOREL; GARNIER, 2002; MCGILL et al., 2006).

Uma análise da estrutura funcional da comunidade pode explicar os efeitos da biodiversidade sobre o funcionamento dos ecossistemas e abordagens funcionais explicam melhor algumas relações ecológicas do que a riqueza de espécies (CADOTTE; CARSCADDEN; MIROTCHEV, 2011; GARNIER; NAVAS, 2012; LOREAU et al., 2001; TOBNER et al., 2016). Segundo a hipótese da razão de massas, o funcionamento dos ecossistemas é determinado em grande parte pelos valores de atributos funcionais das espécies dominantes (GRIME, 1998). Ou seja, a capacidade dos atributos em influenciar o ambiente é proporcional à sua abundância. Isso pode ser medido por meio da média funcional, frequentemente também chamada de identidade funcional, que determina o valor mais provável, ou dominante, de um atributo em uma comunidade com uma média dos valores dos atributos ponderados por suas abundâncias e é considerada um resumo da hipótese da razão de massas (GARNIER; NAVAS, 2012; TOBNER et al., 2016). Sendo assim, conhecer a média funcional de atributos-chave para o estabelecimento e manutenção de comunidades pode ser uma importante ferramenta para um entendimento amplo de várias dinâmicas ecológicas (RICOTTA; MORETTI, 2011). Maiores médias funcionais de teor de nitrogênio foliar, por exemplo, estão associadas a maiores produtividades de biomassa acima do solo, indicando espécies mais aquisitivas (DÍAZ et al., 2016; REICH, 2014; WRIGHT et al., 2004).

Outra hipótese, a da complementaridade, diz que a maior diversidade de atributos funcionais é importante para uma melhor performance da comunidade (LOREAU et al., 2001). Isso ocorre pelo fato de que espécies com valores diferentes de atributos tendem a ocupar nichos ecológicos distintos, utilizando os recursos de maneira complementar, reduzindo os efeitos de competição (LAVOREL; GARNIER, 2002). Ou seja, uma comunidade mais diversa aproveita melhor os recursos e otimiza os ciclos biogeoquímicos (DÍAZ; CABIDO, 2001). A complementaridade pode ser medida pela diversidade funcional, o que pode ser feito através da

entropia quadrática de Rao, que quantifica a dissimilaridade entre os atributos presentes em uma comunidade, também considerando suas abundâncias (BOTTA-DUKÁT, 2005; PILLAR et al., 2013).

Essas duas hipóteses não são excludentes e, combinadas, podem ser ferramentas poderosas para o entendimento dos processos ecológicos presentes em comunidades vegetais, permitindo o planejamento de sistemas agroflorestais mais produtivos e multifuncionais (BÀRBERI et al., 2018; GABA et al., 2014, 2017; SANTOS et al., 2021).

2.4 ESTRATÉGIAS ECOLÓGICAS E O MODELO CSR

A classificação de estratégias vem da ideia de que, para sobreviver e deixar descendentes, um indivíduo deve utilizar da maneira mais eficiente possível os limitados recursos que lhe estão disponíveis, adaptando-se ao ambiente. A ecologia funcional aborda as estratégias ecológicas de diferentes maneiras. Entendendo que as adaptações, uso de recursos, estratégias de sobrevivência, crescimento e reprodução podem ser expressas em atributos funcionais, ou seja, plantas com estratégias diferentes apresentam características diferentes, uma abordagem baseada em atributos para explicar as estratégias de comunidades vegetais pode ser uma ferramenta importante para entender processos ecológicos em diversos ecossistemas.

A classificação de plantas quanto a sua capacidade de obter e utilizar recursos em um espectro de “aquisitivas” a “conservadoras” é um exemplo de como os atributos funcionais podem ajudar a entender melhor a história de vida das plantas. Esse espectro propõe que plantas aquisitivas, geralmente com folhas mais finas e com maior teor de nitrogênio, obtêm e utilizam recursos e renovam suas folhas mais rapidamente, enquanto plantas mais conservadoras, com folhas mais espessas e menor teor de nitrogênio, possuem folhas mais longevas, crescem de maneira mais lenta e tendem a estocar recursos. Essas estratégias têm implicações ecológicas diretas, podendo ser extrapoladas a nível de indivíduo a comunidade, onde comunidades mais aquisitivas favorecem ciclos biogeoquímicos mais rápidos, com maior perda de folhas e serrapilheira que se decompõe rapidamente, enquanto comunidades conservadoras favorecem ciclos mais lentos, com tendência de acúmulo de nutrientes no solo (DÍAZ et al., 2016; REICH, 2014; WRIGHT et al., 2004).

Buscando entender melhor as dinâmicas ecológicas em populações vegetais Grime (1974) propõe que três processos principais determinam a vegetação, sendo eles competição, estresse e distúrbios. E propõe que a evolução das plantas está associada a três principais estratégias, de acordo com esses três processos (GRIME, 1977). As três estratégias propostas

são: a estratégia C, competitiva, predominante em ambientes com condições favoráveis ao crescimento vegetal, e onde as C-estrategistas investem seus recursos em crescimento, através da captação e uso eficiente de recursos. A estratégia S, de tolerância ao estresse, predominante em ambientes pobres em recursos, que apresentam limitações ao desenvolvimento vegetal, e onde as S-estrategistas investem seus recursos na capacidade de armazenar recursos. E a estratégia R, ruderal, predominante em ambientes com condições favoráveis, mas sujeitos a distúrbios constantes, e onde as R-estrategistas são plantas que investem seus recursos principalmente em reprodução, gerando propágulos para que a população sobreviva a eventos que ocasionem danos letais às plantas (CERABOLINI et al., 2010; GRIME, 1977; PIERCE et al., 2013, 2017). Esse modelo é bastante aceito e generalizável para comunidades vegetais globalmente (CERABOLINI et al., 2010; PIERCE et al., 2013, 2017). Nele as plantas são alocadas em um espectro triangular de estratégias, atribuindo-se um valor para a inclinação em direção à cada estratégia, de forma que a soma dos valores deverá ser 100%, ou seja, infere-se quanto do total dos recursos disponíveis as plantas investem em cada uma das três estratégias. Graças à ferramenta desenvolvida por Pierce et al. (2017), isso pode ser facilmente calculado com dados de atributos funcionais, permitindo a classificação precisa de indivíduos, populações e comunidades vegetais de acordo com a teoria CSR proposta por Grime (1977).

2.5 MODELOS DE EQUAÇÕES ESTRUTURAIS (SEM)

Modelos de equações estruturais (SEMs) são modelos que unem diversas variáveis em uma rede causal e permite a realização de inferências sobre a relação dessas variáveis. Nestes modelos, os caminhos (setas) representam relações hipotéticas propostas a partir de conhecimento, observações e estudos prévios. As variáveis podem servir como preditoras em uma determinada relação e resposta em outra, o que permite que sejam testados efeitos diretos e indiretos entre variáveis (LEFCHECK, 2016; SHIPLEY, 2009, 2016). Modelos deste tipo permitem que dados sejam utilizados para o teste de hipóteses sobre relações de variáveis relacionadas ao funcionamento dos ecossistemas (SHIPLEY, 2016). Uma situação frequente em sistemas biológicos é que exista correlação entre variáveis preditoras, e esses modelos permitem também que elas sejam testadas antes de quantificar os seus efeitos sobre as variáveis resposta (GRACE, 2006).

SEMs se diferenciam de outros modelos por duas características principais. Primeiro é necessário conhecimento prévio do sistema estudado para que relações e suas direções sejam propostas, e onde as variáveis podem servir como preditoras e resposta ao mesmo tempo em

diferentes relações, permitindo quantificação de efeitos diretos e indiretos (LEFCHECK, 2016). Além disso, pode-se testar a significância do modelo como um todo, não só interações individuais entre as variáveis do modelo, permitindo que se teste a estrutura das relações ecológicas do ecossistema (GRACE, 2006).

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Entender como a diversidade funcional de plantas cultivadas influencia na cobertura do solo e nas estratégias ecológicas de plantas espontâneas em SAFs sucessionais agroecológicos.

3.2 ESPECÍFICOS

1. Avaliar o efeito da diversidade funcional da vegetação no processo de supressão de plantas espontâneas em SAFs.
2. Avaliar o efeito da diversidade funcional da vegetação nas estratégias ecológicas das plantas espontâneas em SAFs.
3. Avaliar o efeito das estratégias ecológicas das plantas espontâneas na cobertura do solo por elas.

4 HIPÓTESES

1. O aumento na diversidade funcional dos cultivos e da cobertura de solo por eles diminui a estratégia ecológica C das plantas espontâneas porque aumenta os nichos ecológicos ocupados pela comunidade cultivada.
2. A diminuição da estratégia C de plantas espontâneas reduz a cobertura de solo por essas plantas porque reduz sua capacidade competitiva.
3. O aumento da diversidade funcional e cobertura dos cultivos tem efeito negativo sobre a diversidade funcional e cobertura do solo de plantas espontâneas porque reduz os nichos ecológicos disponíveis para essa comunidade.
4. O aumento no teor de nitrogênio dos cultivos diminui a estratégia C de plantas espontâneas porque aumenta a capacidade competitiva das cultivadas.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi e continua sendo conduzido desde 2016 na Fazenda Experimental da Ressacada, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, situada em Florianópolis (27° 41' 06,28" S; 48°32' 38,81" O). Segundo a classificação climática de Köppen, a fazenda situa-se numa área de clima subtropical úmido (Cfa), com temperatura média de $21 \pm 4^\circ\text{C}$ e precipitação média de 1415 ± 435 mm (dados de 2008-2016 da estação meteorológica do Aeroporto Internacional Hercílio Luz). O solo da área experimental é classificado como Neossolo Quartzarênico Hidromórfico Típico, sendo, portanto, um solo arenoso de cor escura, elevado teor de matéria orgânica e lençol freático bastante elevado. O experimento foi implantado em uma área plana com cerca de 1500 m² anteriormente utilizada para cultivo de arroz convencional. Em outubro de 2016, antes que o experimento fosse instalado, essa área foi manejada com enxada rotativa.

5.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Três sistemas agroflorestais (de alto, baixo e médio teor de nitrogênio foliar) foram implantados em parcelas de 9 × 9 metros, com 0,5 m de bordadura (64 m² de área útil da parcela), no delineamento em Blocos Completos Casualizados, com 6 blocos (Figura 1). O experimento foi planejado de forma a manter constante a riqueza de espécies entre os tratamentos possibilitando testar os efeitos da diversidade funcional, independente dos efeitos de riqueza. Assim, cada tratamento é composto por um consórcio de oito espécies de plantas, divididas entre arbóreas pioneiras e arbustivas. Dentro de cada parcela os indivíduos foram plantados em faixas conforme a forma de crescimento, compondo 1 faixa de plantas arbóreas, e 4 faixas de plantas arbustivas, com 2 tempos de plantio diferentes, e dispostas simetricamente em relação à linha de árvores, sendo 1 faixa de cada tempo de plantio em cada lado da parcela (Figura 2). Esta disposição espacial tem a finalidade de facilitar operacionalmente os manejos culturais, cujas necessidades variam muito no tempo devido à complexidade do sistema.



Figura 1: Disposição e dimensões (em metros) das parcelas, blocos (em números romanos) e dos tratamentos experimentais dentro de cada bloco na área experimental. As letras dentro das parcelas representam os tratamentos B - Baixo, M - Médio e A - Alto nitrogênio foliar.
Fonte: imagem manipulada do Google Earth (2016).

Ao todo no experimento foram manejadas quatro espécies consideradas arbustos e mais 8 espécies arbóreas pioneiras. O tratamento “alto” é composto por oito espécies semelhantes em atributos funcionais (baixa diversidade funcional) com alta concentração de N-foliar (>2,5%). O tratamento “baixo” tem oito espécies também semelhantes em atributos funcionais (baixa diversidade funcional), mas com baixa concentração de N-foliar (<2,5%). Já o tratamento “médio” é formado por oito espécies com diferentes níveis de atributos funcionais (alta diversidade funcional) consorciando quatro espécies de plantas de baixa concentração de N-foliar e quatro espécies de alto N-foliar (Apêndice A).

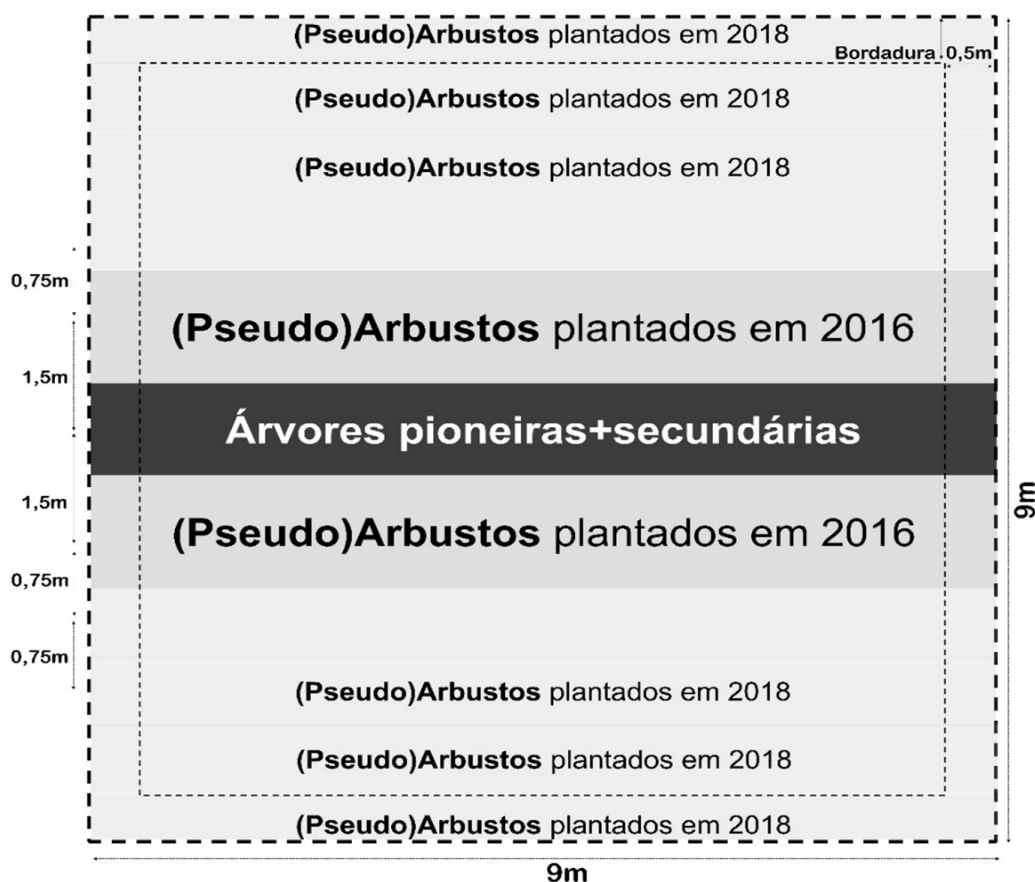


Figura 2: Representação da parcela experimental com dimensões e distribuição das faixas com os diferentes hábitos de crescimento e tempos de plantio das espécies vegetais cultivadas nos sistemas agroflorestais. Fonte: acervo do Laboratório de Ecologia Aplicada.

5.3 COBERTURAS RELATIVAS E LEVANTAMENTO FITOSSOCIOLÓGICO

Para a determinação dos pontos de coleta, as linhas de cultivo de cada parcela foram divididas em seções de 0,5 m, totalizando 18 seções por linha. Posteriormente foi realizado um sorteio de 2 pontos de coleta por faixa de cultivo, totalizando 108 quadros. Nas faixas de plantas arbustivas os dois quadros obrigatoriamente foram coletados em lados diferentes da parcela, sendo assim, na faixa central foram amostrados 2 pontos e 1 ponto em cada faixa de crescimento arbustivo, totalizando 6 quadros por parcela.

O percentual de cobertura por cada espécie, cobertura do solo por matéria morta e o percentual de solo exposto foram estimados visualmente através do método do quadrado inventário adaptado de Lavorel et al., (2007). Para isso, um quadro de 0,5 × 0,5 m foi colocado em cada ponto sorteado (Figura 3). Para a estimativa visual dos percentuais de cobertura considerou-se apenas a cobertura da projeção vertical do quadro até uma altura máxima de 1 m

do nível do solo. As coberturas por plantas foram estimadas utilizando as seguintes categorias: cobertura de até 1%, entre 1 e 5% e subsequentemente em categorias de 10% de intervalo, de 10 a 100% (LONDO, 1976). Um valor de cobertura estimada foi atribuído a cada espécie, podendo a cobertura do quadro totalizar mais que 100%. Posteriormente os valores foram somados e a cobertura relativa de cada espécie foi determinada em relação ao total estimado por ponto de coleta.

Além da cobertura, os quadros foram utilizados para a realização de um levantamento fitossociológico. Para isso, todas as plantas encontradas em cada quadro foram identificadas a nível de espécie.



Figura 3: Quadros de coleta, medindo $0,5 \times 0,5$ m, utilizados para estimar as coberturas das espécies, cobertura do solo por matéria morta, percentual de solo exposto e realizar levantamento fitossociológico. Fonte: acervo pessoal do autor.

5.4 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

Para a coleta do índice de área foliar foi utilizada uma câmera com lente hemisférica, posicionada no centro de cada ponto de coleta com a lente a 1 m do nível do solo, sem fazer distinção entre plantas espontâneas e cultivadas (Figura 4).

A câmera foi posicionada com a lente apontada para cima e nivelada, com as coletas sendo realizadas em dias nublados. As imagens obtidas foram posteriormente analisadas com o software Gap Light Analyzer para a obtenção dos valores de índice de área foliar em cada ponto coletado (FRAZER; CANHAM; LERTZMAN, 1999).



Figura 4: Câmera fotográfica posicionada para coleta de fotos posteriormente utilizadas para obtenção do índice de área foliar. Fonte: acervo pessoal do autor.

5.5 AVALIAÇÃO DE ATRIBUTOS FUNCIONAIS

Utilizando-se protocolos padronizados descritos no ‘*New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide*’ (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013) foram determinados e medidos seis atributos funcionais que capturam a essência da função e forma das plantas (DÍAZ et al., 2016). Todas as espécies cultivadas no experimento tiveram esses atributos determinados (Quadro 1.). Entretanto, as espécies de plantas espontâneas selecionadas para mensuração dos atributos foram aquelas mais frequentes (presentes em mais de 50% das unidades amostrais) e abundantes no sistema (que somam pelo menos 80% da abundância relativa acumulada de cada um dos pontos de coleta) (Apêndice B). Dessas espécies, foram coletados indivíduos com completo desenvolvimento vegetativo, idealmente

em fase reprodutiva. Considerando que as espécies localmente mais abundantes determinam os processos ecossistêmicos mais instantâneos (GRIME, 1998), utiliza-se esse critério para representar de forma satisfatória a contribuição da comunidade em relação a diversos processos do ecossistema (GARNIER et al., 2004; PAKEMAN; QUESTED, 2007).

Quadro 1: Atributos funcionais medidos e suas funções ecológicas (DÍAZ et al., 2016).

Atributo (unidade)	Função
Altura da planta (m)	Habilidade de interceptação de luz, ocupação de espaços e dispersão de diásporos.
Densidade específica do caule ($\text{mg} \cdot \text{mm}^{-3}$)	Crescimento potencial, acúmulo de carbono e risco de mortalidade por falha bioquímica ou hidráulica.
Área foliar (mm^2)	Importante para captação de energia pela folha e regulação hídrica.
Área foliar específica ($\text{mm}^2 \cdot \text{mg}^{-1}$)	Potencial fotossintético, concentração de nitrogênio e longevidade.
Conteúdo de matéria seca foliar ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)	Taxa de crescimento, tolerância a situações de estresse, resistência e longevidade
Conteúdo de nitrogênio foliar ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$) ¹	Reflete uma demanda conflitante entre benefícios do potencial fotossintético e os custos de aquisição de nitrogênio e sofrer herbivoria.

¹ O conteúdo de nitrogênio foliar foi determinado apenas para as espécies cultivadas.

5.6 DETERMINAÇÃO DA MÉDIA FUNCIONAL (COMMUNITY WEIGHTED MEAN - CWM) E DIVERSIDADE FUNCIONAL (FD)

Os diferentes componentes da biodiversidade foram determinados separadamente para as comunidades de plantas cultivadas e espontâneas e para cada ponto de coleta utilizando todos os atributos descritos no Quadro 1 através de diferentes pacotes no software R (R CORE TEAM, 2018).

A média funcional (CWM) de cada atributo foi calculada baseada na hipótese da relação de massas (GRIME, 1998) utilizando o pacote “FD” (LALIBERTÉ; LEGENDRE, 2010):

$$CWM = \sum_{i=1}^n p_i \times t_i$$

Onde p_i e t_i são, respectivamente, a abundância relativa e o valor do atributo para a espécie i em uma comunidade com um total de n espécies.

A diversidade funcional (FD) foi calculada utilizando a entropia quadrática de Rao (RAO, 1982) considerada uma medida adequada para esse componente da biodiversidade (BOTTA-DUKÁT, 2005; PILLAR et al., 2013), utilizando o pacote “SYNCSA” (DEBASTIANI; PILLAR, 2012):

$$FD = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^s d_{ij} p_i p_j$$

Onde d_{ij} é a diferença, de 0 a 1, entre espécies i e j baseada em um conjunto de atributos funcionais definidos e p_i e p_j são, respectivamente, as abundâncias relativas das espécies i e j em relação a uma comunidade com s espécies.

Para as plantas espontâneas a cobertura relativa dos quadros de coleta foi utilizada como abundância relativa. Já para as cultivadas, por nem sempre estarem presentes nos quadros e de maneira a melhor representar toda essa comunidade, a abundância relativa foi representada pela proporção de biomassa de cada espécie em relação à faixa de cultivo. Os valores de biomassa em cada faixa foram medidos com amostragem sistemática, sorteando um ponto de coleta (1 m linear) em cada linha de cultivo, coletando a toda a biomassa e medindo a massa seca conforme procedimento descrito por Pérez-Harguindeguy et al. (2013) para medição do conteúdo de matéria seca.

5.7 QUANTIFICAÇÃO DAS ESTRATÉGIAS ECOLÓGICAS CSR

As proporções de estratégias ecológicas CSR foram calculadas para todas as espécies que tiveram seus atributos determinados através da ferramenta ‘StrateFy’ desenvolvida por Pierce et al. (2017) para calcular estratégias CSR em plantas vasculares utilizando três atributos funcionais: área foliar, área foliar específica e conteúdo de matéria seca foliar. Posteriormente calculou-se a média (CWM) das estratégias ecológicas para cada ponto de coleta.

5.8 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram analisados através de Modelos de Equações Estruturais (SEM – “*structural equation modeling*”) utilizando os pacotes estatísticos “NLME” e “PiecewiseSEM”

no software R (LEFCHECK, 2016; PINHEIRO et al., 2021; R CORE TEAM, 2018). Valores de todas as variáveis testadas em cada ponto de coleta foram utilizados para o ajuste dos modelos de equações estruturais.

Nesse tipo de análise um modelo causal hipotético é testado e posteriormente ajustado, retirando variáveis e relações não significativas e adicionando relações não previstas que apresentam significância estatística e fazem sentido ecologicamente. Considerando o desenho experimental, os blocos e parcelas (tratamentos) foram adicionados como variáveis de efeito aleatório. Depois de ajustados os modelos, calculou-se a estatística C de Fisher para avaliá-los. Se esse valor seguir uma distribuição de qui-quadrado, considera-se que os dados foram gerados seguindo as hipóteses testadas no modelo, ou seja, se o qui-quadrado for estatisticamente não significativo ($p > 0,05$), os dados são compatíveis com uma amostragem aleatória e o modelo não é rejeitado (LEFCHECK, 2016; SHIPLEY, 2009).

5.9 MODELOS HIPOTÉTICOS

Dois modelos hipotéticos foram elaborados para testar os efeitos de duas variáveis experimentais que refletem estratégias de planejamento e manejo de SAFs que podem ser implementadas de maneira prática e foram controladas no experimento. O primeiro modelo foi desenhado para testar os efeitos da diversidade funcional das plantas cultivadas sobre o índice de área foliar, a diversidade funcional e cobertura de plantas espontâneas e sobre a cobertura de solo por plantas cultivadas, relações observadas previamente por Santos et al. (2021) no primeiro ano do mesmo experimento. Além dessas relações, também foram incluídos no mesmo modelo os efeitos da diversidade funcional de cultivadas sobre as estratégias ecológicas C e R (Figura 5). Espera-se que uma comunidade cultivada mais diversa ocupe mais nichos ecológicos (DÍAZ; CABIDO, 2001; LAVOREL; GARNIER, 2002) e desta forma utilize uma maior parte dos recursos disponíveis, reduzindo a capacidade competitiva da comunidade espontânea e, conseqüentemente, a cobertura de solo por essas plantas.

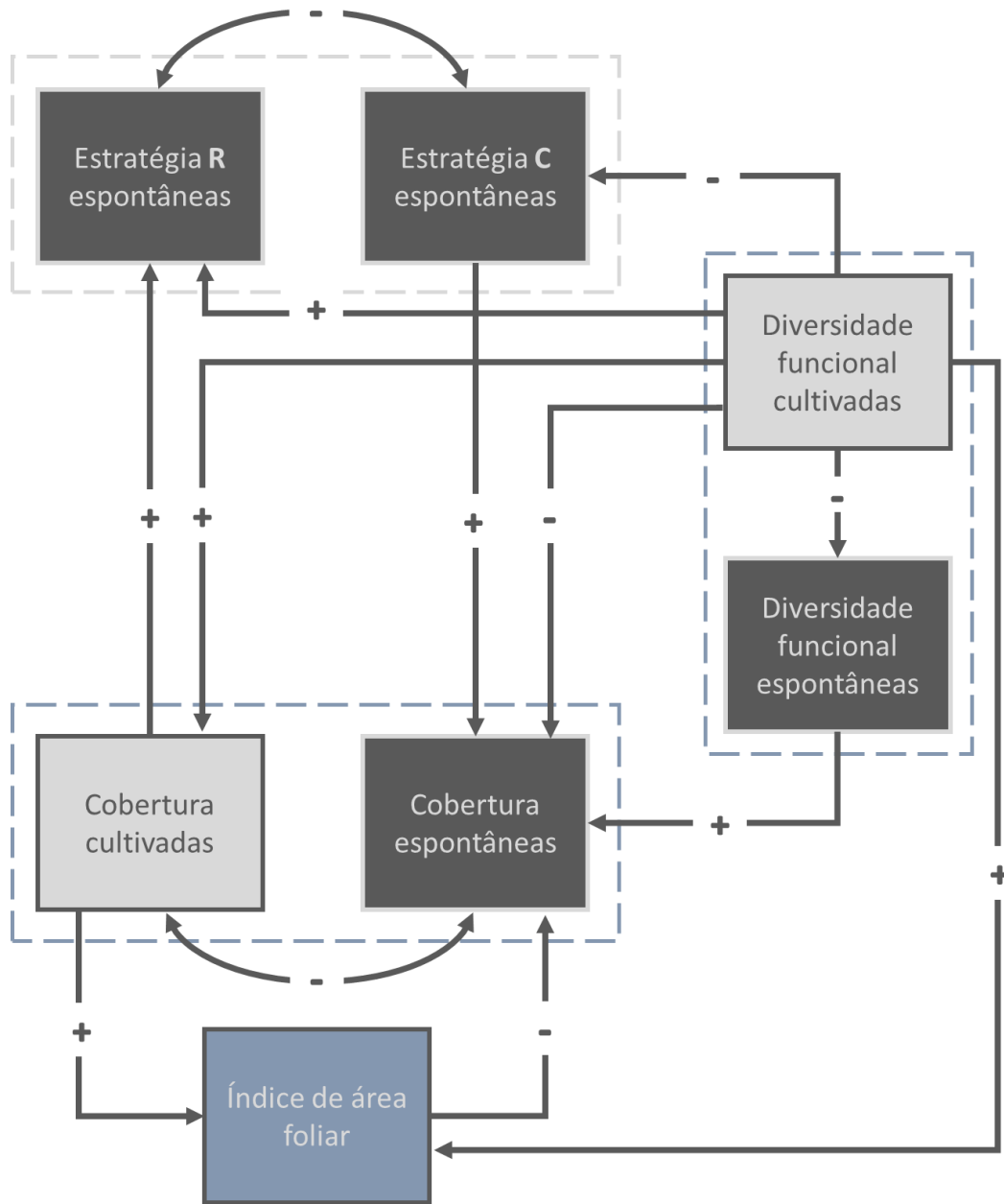


Figura 5: Modelo de equações estruturais hipotético testando o efeito da diversidade funcional de plantas cultivadas na diversidade funcional e estratégias ecológicas de plantas espontâneas, cobertura do solo e índice de área foliar. Caixas representam variáveis medidas. Caixas cinza-escuras referem-se às plantas espontâneas e cinza-claras às cultivadas. Setas representam relações unidirecionais entre variáveis e setas duplas representam relações em que causa e efeito não podem ser definidos. Sinal positivo nas setas indicam relação positivas e sinais negativos indicam relações negativas.

Um segundo modelo hipotético foi desenhado para testar os efeitos da média funcional do teor de nitrogênio foliar das plantas cultivadas sobre as estratégias ecológicas e cobertura de solo por plantas espontâneas, índice de área foliar e cobertura de solo por plantas cultivadas (Figura 6). Considerando que o teor de nitrogênio foliar reflete estratégias mais aquisitivas e com rápido crescimento (DÍAZ et al., 2016; REICH, 2014; WRIGHT et al., 2004), espera-se que comunidades cultivadas com maiores teores de nitrogênio foliar tenham maior capacidade competitiva e utilizem recursos mais rapidamente, aumentando sua cobertura e reduzindo a cobertura e capacidade competitiva da comunidade espontânea.

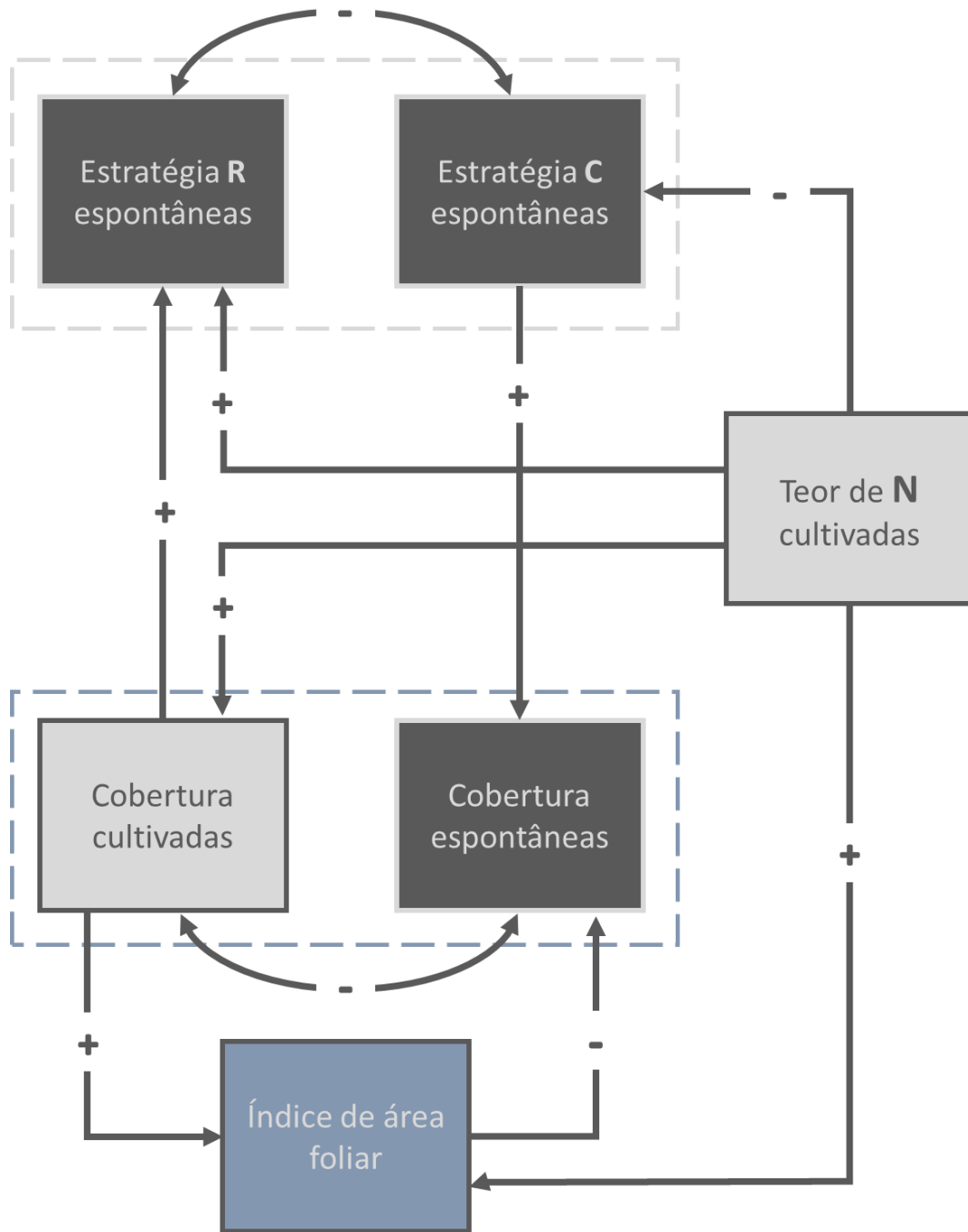


Figura 6: Modelo de equações estruturais hipotético testando o efeito da média funcional do teor de nitrogênio foliar nas estratégias ecológicas de plantas espontâneas, cobertura do solo e índice de área foliar. Caixas representam variáveis medidas. Caixas cinza-escuras referem-se às plantas espontâneas e cinza-claras às cultivadas. Setas representam relações unidirecionais entre variáveis e setas duplas representam relações em que causa e efeito não podem ser definidos. Sinal positivo nas setas indicam relação positivas e sinais negativos indicam relações negativas.

6 RESULTADOS

No levantamento fitossociológico foram identificadas ao todo 39 espécies de plantas espontâneas pertencentes a 18 famílias botânicas diferentes. Dessas, 30 são ervas, 4 lianas, 9 subarbustos e 1 arbusto (Tabela 1). As famílias Poaceae, Asteraceae e Cyperaceae compreendem somadas mais de metade das espécies presentes. *Canna indica*, *Ipomoea batatas*, *Arachis pintoii* e *Panicum maximum* apresentam histórico de cultivo anterior na área de estudo, mas foram consideradas espontâneas por não fazerem parte da comunidade cultivada no momento da coleta.

Tabela 1: Espécies espontâneas presentes e suas formas de vida.

Família ¹	Espécie ¹	Forma de Vida ¹
Apiaceae	<i>Centella asiatica</i> (L.) Urb. ²	Erva
Asteraceae	<i>Bidens pilosa</i> L.	Erva
Asteraceae	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist ²	Subarbusto
Asteraceae	<i>Cyrtocymura scorpioides</i> (Lam.) H. Rob. ²	Subarbusto
Asteraceae	<i>Mikania banisteriae</i> DC.	Liana
Asteraceae	<i>Mikania cordifolia</i> (L.f.) Willd.	Liana
Asteraceae	<i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski ²	Erva
Cannaceae	<i>Canna indica</i> L. ²	Erva
Caryophyllaceae	<i>Drymaria cordata</i> (L.) Willd. ex Schult.	Erva
Commelinaceae	<i>Commelina benghalensis</i> L. ²	Erva
Convolvulaceae	<i>Ipomoea batatas</i> (L.) Lam.	Erva, Liana
Convolvulaceae	<i>Ipomoea triloba</i> L.	Liana
Cyperaceae	<i>Cyperus distans</i> L.	Erva
Cyperaceae	<i>Cyperus sphacelatus</i> Rottb.	Erva
Cyperaceae	<i>Cyperus strigosus</i> L.	Erva
Cyperaceae	<i>Fimbristylis dichotoma</i> (L.) Vahl	Erva
Cyperaceae	<i>Kyllinga brevifolia</i> Rottb.	Erva
Euphorbiaceae	<i>Croton glandulosus</i> L.	Erva, Subarbusto
Fabaceae	<i>Arachis pintoii</i> Krapov. & W.C. Greg ²	Erva
Fabaceae	<i>Desmodium barbatum</i> (L.) Benth. ²	Subarbusto
Fabaceae	<i>Desmodium incanum</i> (SW.) DC. ²	Subarbusto
Hypoxidaceae	<i>Hypoxis decumbens</i> L.	Erva
Lamiaceae	<i>Hyptis brevipes</i> Poit.	Erva, Subarbusto
Lamiaceae	<i>Hyptis fasciculata</i> Benth. ²	Erva, Subarbusto
Malvaceae	<i>Sida urens</i> L.	Subarbusto
Melastomataceae	<i>Tibouchina urvilleana</i> (DC.) Cogn. ²	Arbusto
Oxalidaceae	<i>Oxalis corniculata</i> L.	Erva
Phyllanthaceae	<i>Phyllanthus niruri</i> L.	Erva, Subarbusto
Poaceae	<i>Axonopus obtusifolius</i> (Raddi) Chase ²	Erva
Poaceae	<i>Digitaria ciliaris</i> (Retz.) Koeler	Erva
Poaceae	<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scop.	Erva

Família¹	Espécie¹	Forma de Vida¹
Poaceae	<i>Panicum maximum</i> Jacq. ²	Erva
Poaceae	<i>Paspalum conjugatum</i> P.J. Bergius ²	Erva
Poaceae	<i>Paspalum hyalinum</i> Nees ex Trin. ²	Erva
Poaceae	<i>Paspalum urvillei</i> Steud.	Erva
Poaceae	<i>Sacciolepis vilvoides</i> (Trin.) Chase	Erva
Poaceae	<i>Steinchisma decipiens</i> (Nees ex Trin.) W.V.Br. ²	Erva
Polygonaceae	<i>Polygonum acuminatum</i> Kunth	Erva
Solanaceae	<i>Solanum americanum</i> Mill.	Erva

¹ Revisados de acordo com Flora do Brasil (2020)

² Espécies que tiveram seus atributos funcionais determinados

As estratégias ecológicas CSR presentes foram, em média, 57:35:8% (classe CS) para a comunidade cultivada e 39:26:34% (classe CSR) para as espontâneas. Nota-se uma grande presença de estratégia S em ambas as comunidades, sendo as principais diferenças os maiores valores de C nas comunidades cultivadas e R nas espontâneas, o que também foi observado analisando os tratamentos separadamente. As comunidades no tratamento Alto apresentaram médias de 57:31:11% (C/CSR) para cultivadas e 39:22:38% (CR/CSR) para espontâneas (Figura 7). No tratamento Baixo a comunidade cultivada apresentou média de 62:35:3% (C/CS) e a espontânea 41:26:32% (CSR) (Figura 8). No tratamento Médio as médias foram de 51:38:11% (CS/CSR) e 37:30:33% (CSR) para cultivadas e espontâneas, respectivamente (Figura 9).

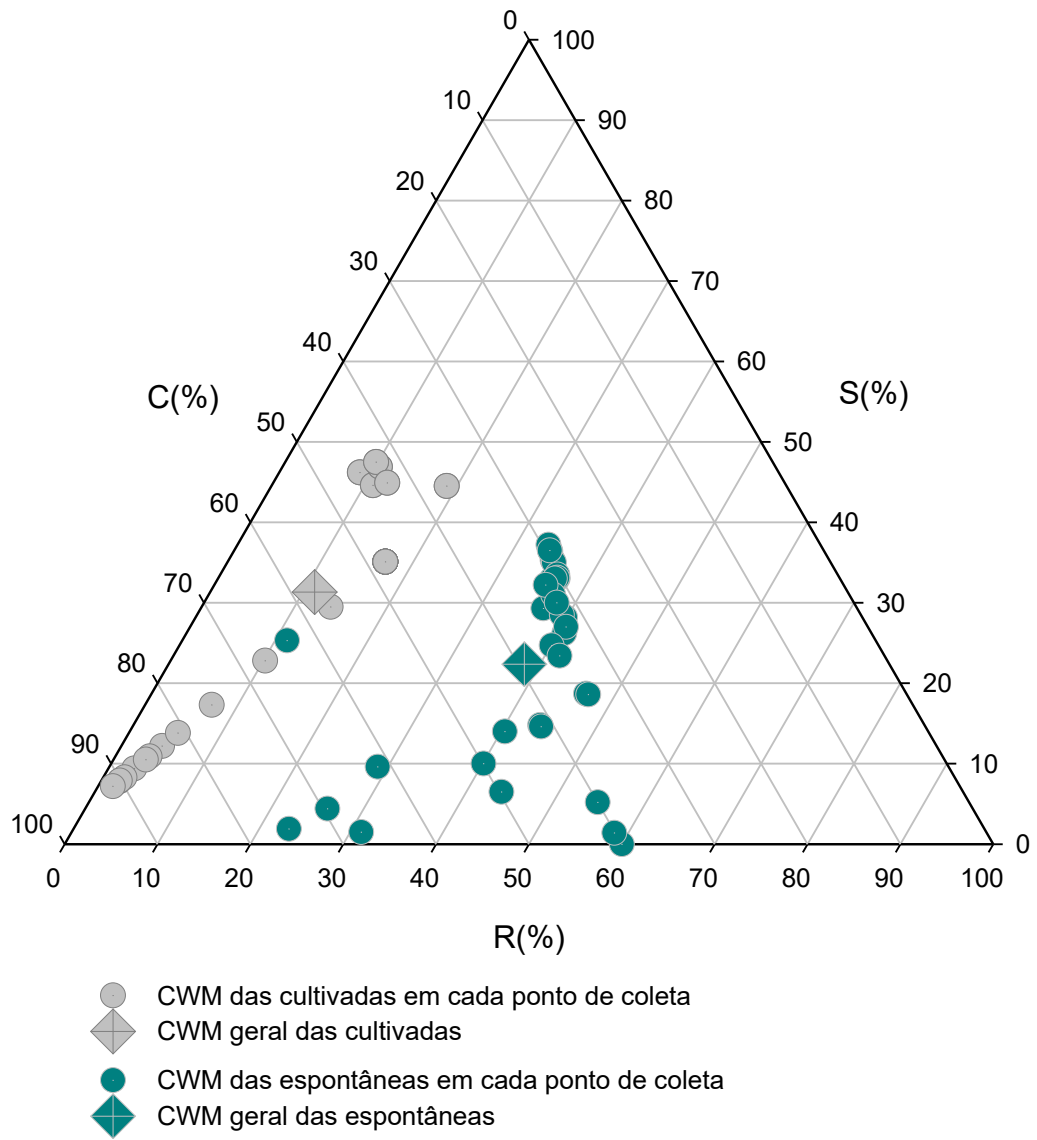


Figura 7: Estratégias ecológicas CSR nas 6 parcelas do tratamento Alto.

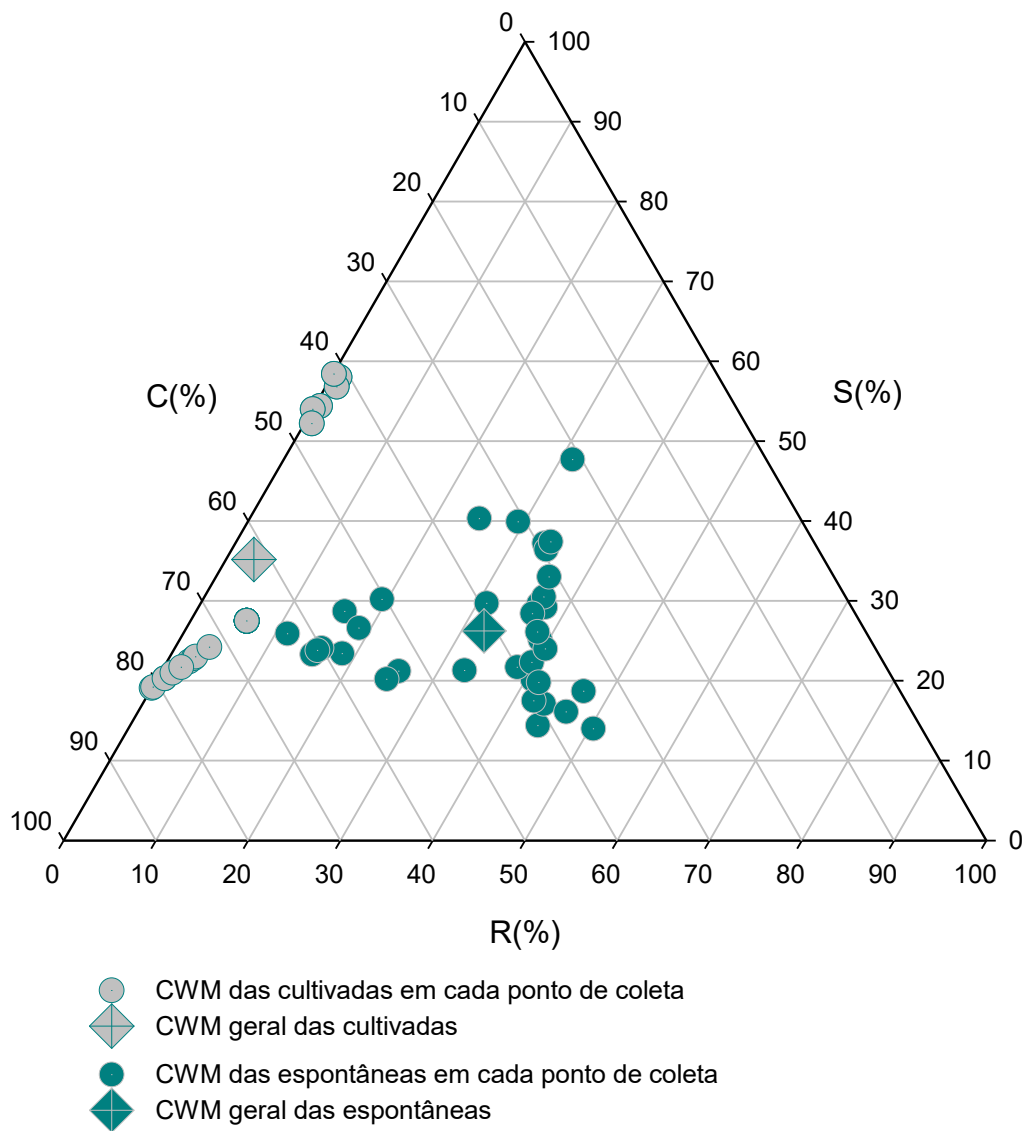


Figura 8: Estratégias ecológicas CSR nas 6 parcelas do tratamento Baixo.

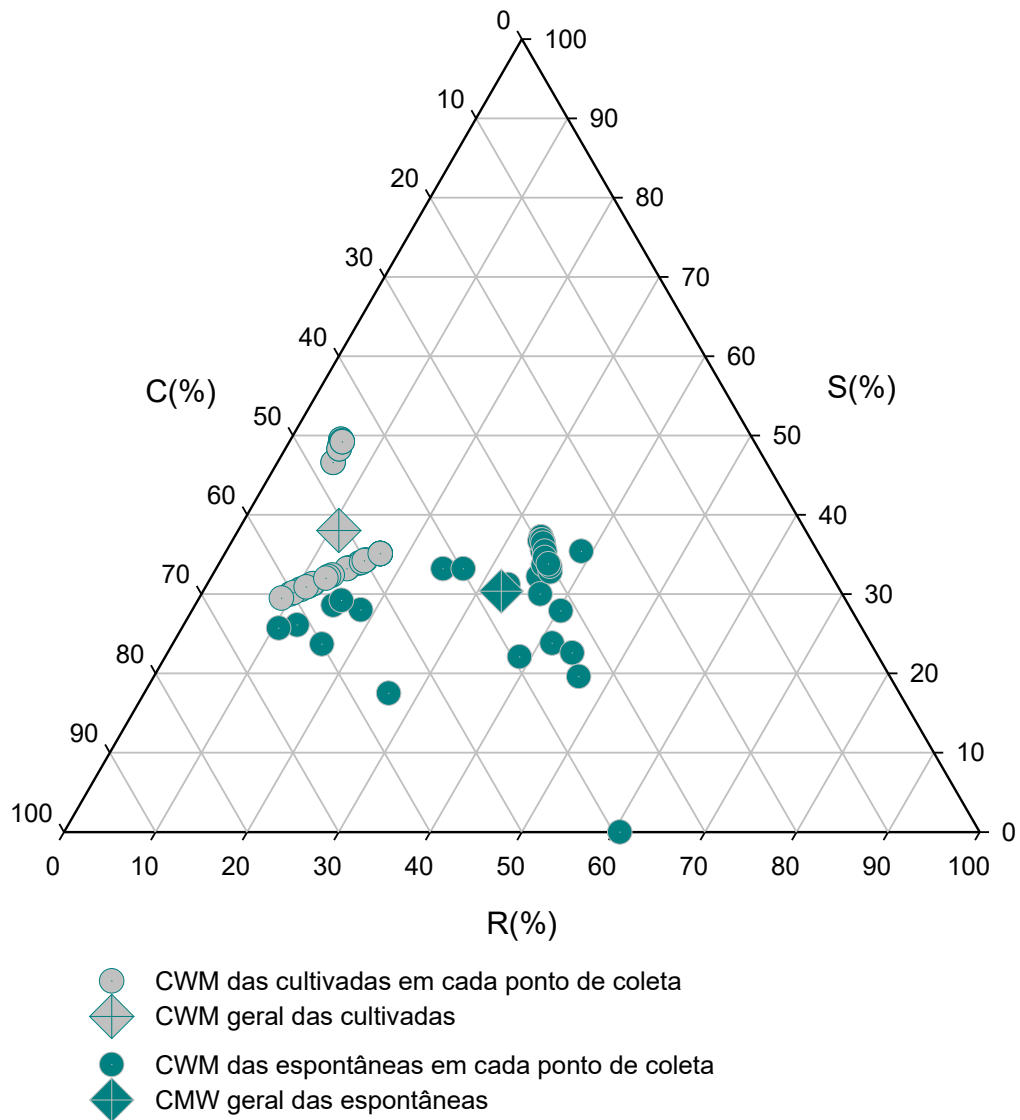


Figura 9: Estratégias ecológicas CSR nas 6 parcelas do tratamento Médio.

Dois modelos de equações estruturais foram ajustados com os dados obtidos. O primeiro descreve os efeitos da diversidade funcional de plantas cultivadas sobre as estratégias ecológicas e diversidade funcional de plantas espontâneas, cobertura do solo e índice de área foliar (Figura 10). E o segundo descreve os efeitos do teor de nitrogênio foliar de plantas cultivadas sobre as mesmas variáveis (Figura 11).

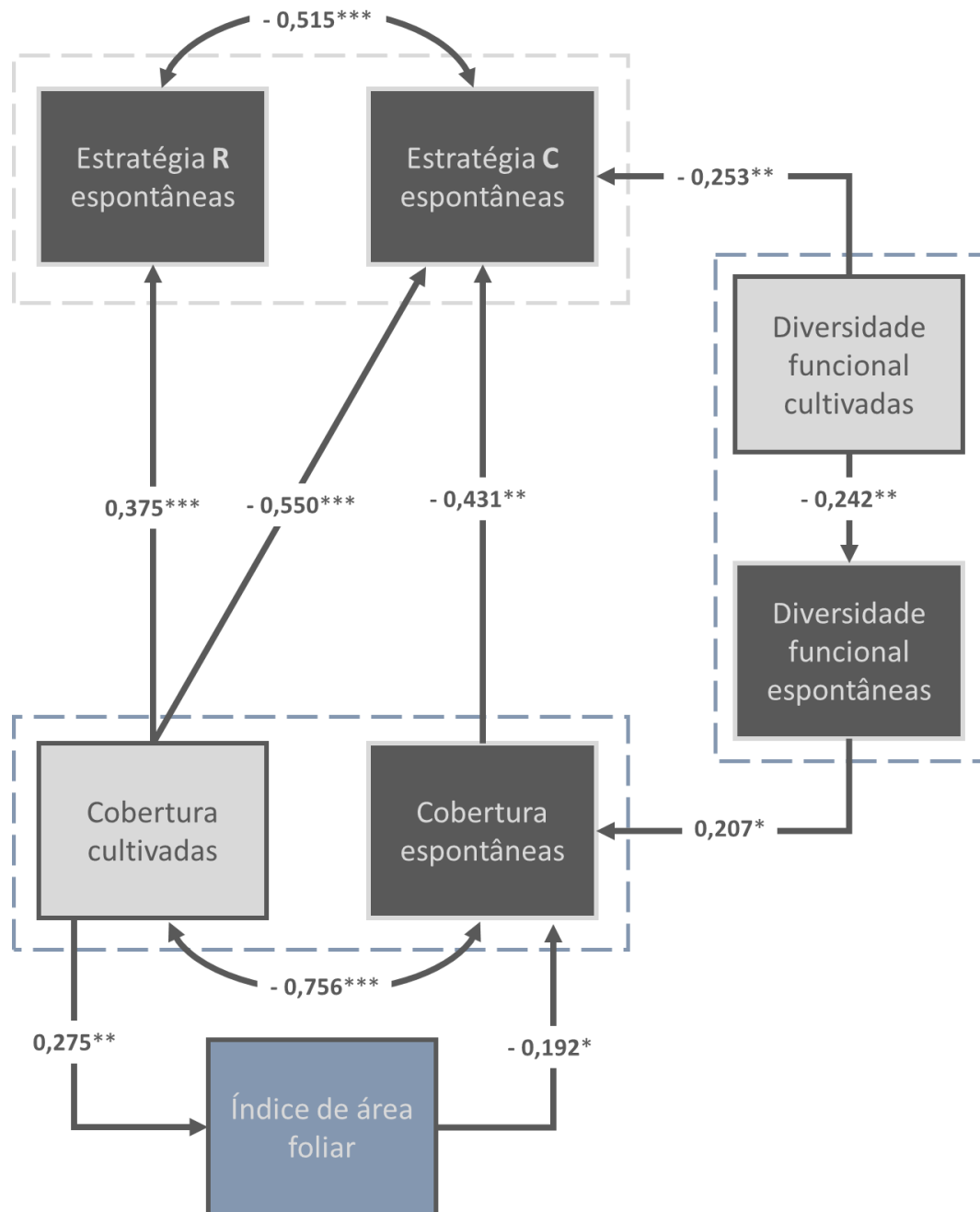


Figura 10: Modelo de equações estruturais mostrando o efeito da diversidade funcional de plantas cultivadas na diversidade funcional e estratégias ecológicas de plantas espontâneas, cobertura do solo e índice de área foliar. Caixas representam variáveis medidas. Caixas cinza-escuras referem-se às plantas espontâneas e cinza-claras às cultivadas. Setas representam relações unidirecionais entre variáveis e setas duplas representam relações em que causa e efeito não podem ser definidos. Os valores apresentados junto às setas para as relações significativas ($***p < 0.001$, $**p < 0.01$, $*p < 0.05$) são os coeficientes de regressão padronizados. $N = 108$. $AIC = 76,42$. C de Fisher = $20,42$ com $p = 0,432$ e 20 graus de liberdade.

Duas variáveis controláveis no planejamento e plantio de sistemas agroflorestais foram impulsoras de respostas no primeiro modelo ajustado (Figura 10). A diversidade funcional de cultivadas, tendo efeito direto na estratégia C (coeficiente de regressão $b = -25,32$) e diversidade funcional das plantas espontâneas (coeficiente de regressão $b = -0,25$). E a cobertura de plantas cultivadas, que está correlacionada com a cobertura de espontâneas (coeficiente de regressão $b = -0,76$) e afeta diretamente as estratégias C (coeficiente de regressão $b = -57,30$) e R (coeficiente de regressão $b = 33,83$) das espontâneas e o índice de área foliar (coeficiente de regressão $b = 2,78$) que, por sua vez, diminui a cobertura de espontâneas (coeficiente de regressão $b = -0,02$). A diversidade funcional das espontâneas aumenta a cobertura de espontâneas (coeficiente de regressão $b = 0,23$) e tem efeito também na estratégia C de espontâneas (coeficiente de regressão $b = -38,18$). Devido à complementaridade entre variáveis, estão correlacionadas as estratégias C e R de espontâneas (coeficiente de regressão $b = -0,51$) e as coberturas de cultivadas e espontâneas.

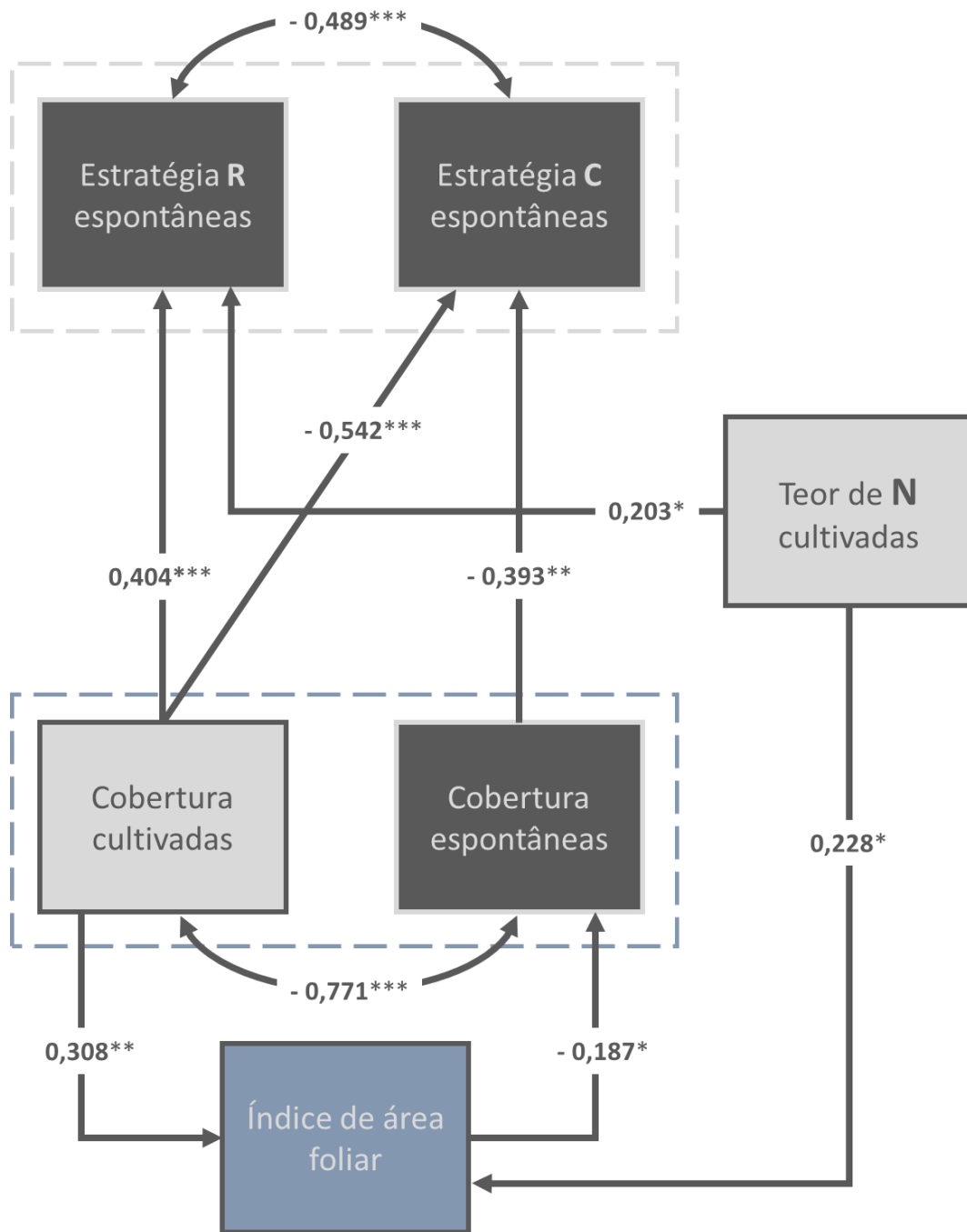


Figura 11: Modelo de equações estruturais mostrando o efeito do teor de nitrogênio foliar de plantas cultivadas na diversidade funcional e estratégias ecológicas de plantas espontâneas, cobertura do solo e índice de área foliar. Caixas representam variáveis medidas. Caixas cinza-escuras referem-se às plantas espontâneas e cinza-claras às cultivadas. Setas representam relações unidirecionais entre variáveis e setas duplas representam relações em que causa e efeito não podem ser definidos. Os valores apresentados junto às setas para as relações significativas ($^{***}p < 0.001$, $^{**}p < 0.01$, $^*p < 0.05$) são os coeficientes de regressão padronizados. N = 108. AIC = 58,70. C de Fisher = 12,70 com $p = 0,241$ e 10 graus de liberdade.

Testando outra variável controlável, o teor de nitrogênio foliar das cultivadas, obteve-se resultados muito similares. Sendo essa variável impulsora de mudanças no ecossistema (Figura 11). O teor de nitrogênio das cultivadas afeta diretamente o índice de área foliar (coeficiente de regressão $b = 0,03$) e a estratégia R de espontâneas (coeficiente de regressão $b = 0,22$). A cobertura de cultivadas teve efeito direto sobre a estratégia C (coeficiente de regressão $b = -56,51$) e R de espontâneas (coeficiente de regressão $b = 36,45$) e sobre o índice de área foliar (coeficiente de regressão $b = 3,11$). Assim como no modelo anterior, estão correlacionadas, devido à natureza das variáveis, as estratégias C e R de espontâneas (coeficiente de regressão $b = -0,49$) e coberturas de cultivadas e espontâneas (coeficiente de regressão $b = -0,77$).

7 DISCUSSÃO

Este trabalho mostrou uma maior abundância de estratégias de competição (C) nas comunidades vegetais estudadas, com presença importante da estratégia de tolerância ao estresse (S) e uma maior abundância da estratégia R nas comunidades espontâneas. Observa-se também ausência de plantas espontâneas arbustivas ou arbóreas e a influência da cobertura do solo por plantas cultivadas, diversidade funcional e do teor de nitrogênio foliar das cultivadas nas dinâmicas ecológicas e estratégias ecológicas das plantas espontâneas.

A composição taxonômica das plantas espontâneas observadas no experimento, principalmente por suas formas de vida, mostra o potencial de sistemas agroflorestais para a convivência e controle dessas plantas. Durante 3 anos não foram realizadas práticas de manejo para controle direto de espontâneas, como roçada, capina, ou controle químico, por exemplo, e na maior parte da área também não foi realizado nenhum tipo de preparo do solo após a implantação inicial. Todas as práticas e manejos foram focadas nas plantas cultivadas e incorporação de biomassa e, ainda assim, observa-se uma ausência de espécies espontâneas arbóreas ou arbustivas (Tabela 1), contrastando com áreas de sucessão secundária no estado de Santa Catarina, nas quais, normalmente, aos 2 anos já é possível a observação de arbustos, árvores pioneiras e indivíduos jovens de espécies secundárias (SIMINSKI et al., 2021). Dois fatores importantes podem ser responsáveis por isso: filtros ambientais, principalmente relacionados às condições do solo, e o adensamento de espécies arbóreas e arbustivas cultivadas com grande capacidade competitiva.

Áreas de restinga normalmente apresentam solos arenosos, pouco estruturados, pobres em nutrientes e suscetíveis a grandes mudanças na disponibilidade de água, indo rapidamente

de secos a alagados (BONILHA et al., 2012). Essas condições atuam como filtro ambiental, selecionando principalmente plantas com características e atributos funcionais que as permitam armazenar recursos, tolerar secas e sobreviver em ambientes com baixa disponibilidade de nutrientes. Logo, a estratégia de tolerância ao estresse (S) é prioritária para a sobrevivência de qualquer comunidade vegetal em tais condições, o que é esperado em áreas de restinga (ROSADO; MATTOS, 2017), portanto espera-se que essa estratégia se mantenha relativamente importante em todas as comunidades vegetais estudadas, como observado nas Figuras 7, 8 e 9. O crescimento e ocupação do espaço, por outro lado, dependem da aquisição de recursos e são expressos pela estratégia C (GRIME, 1977). Portanto, espera-se que vegetações arbóreas e arbustivas apresentem uma tendência a estratégias de competição (C-estrategistas) (PIERCE et al., 2013, 2017), como observado na vegetação cultivada, ainda que, para sobreviver no ambiente pobre, essa comunidade também apresente uma grande presença da estratégia S (Figuras 7, 8 e 9).

O cultivo em SAFs pode ser um fator importante para explicar as estratégias ecológicas observadas, pois permite que as plantas cultivadas superem alguns desses filtros ambientais e se estabeleçam mais rapidamente, desfavorecendo a vegetação nativa que já apresenta naturalmente uma capacidade competitiva (estratégia C) menor por já ser adaptada a ambientes mais pobres (ROSADO; MATTOS, 2017). Embora os SAFs estudados recebam alguns distúrbios como podas e pisoteio, não se pode considerar esses ambientes como sujeitos a grandes ou constantes distúrbios, como áreas de cultivo convencional, por exemplo, onde se esperaria uma prevalência da estratégia R (GRIME, 1977), apesar disso essa estratégia teve grande abundância nas comunidades cultivadas (Figuras 7, 8 e 9). O ambiente com baixa disponibilidade de nutrientes onde a estratégia S é prioritária e as condições de cultivo em SAFs agroecológicos, como plantio adensado de comunidades com grande capacidade competitiva e alta diversidade funcional, podem favorecer uma vegetação espontânea predominantemente herbácea e com prevalência de estratégia R (Tabela 1; Figuras 7, 8 e 9), já que comunidades cultivadas mais diversas ocupam nichos mais rapidamente e dificultam o estabelecimento de espontâneas (MWANGI et al., 2007). Esses processos ecológicos também podem ser observados quando analisamos os efeitos da diversidade funcional e do teor de nitrogênio foliar das plantas cultivadas sobre a comunidade espontânea (Figuras 10 e 11).

A cobertura de solo por plantas cultivadas, além do grande efeito direto na diminuição da cobertura de espontâneas, também otimiza a ocupação vertical do espaço, aumentando o

índice de área foliar, o que aumenta a interceptação de luz pela comunidade e reduz a cobertura do solo por plantas espontâneas. Além disso, a cobertura do solo por plantas cultivadas aumenta a estratégia R e diminui a estratégia C da comunidade espontânea, reforçando a hipótese de que a maior ocupação de espaço pelas plantas cultivadas diminui a capacidade competitiva das espontâneas (Figuras 10 e 11). No planejamento e manejo de SAFs isso pode ser relevante já que é possível alcançar maiores coberturas de solo através do plantio de comunidades com maior diversidade funcional (SANTOS et al., 2021), o que pode reforçar o efeito da cobertura através da ocupação de diferentes nichos ecológicos.

Aumentando a diversidade funcional de plantas cultivadas otimiza-se a ocupação de nichos e obtenção de recursos por essas espécies já que atributos funcionais diferentes (comunidades com alta diversidade funcional) indicam plantas que são mais propensas a ocupar nichos distintos (DÍAZ; CABIDO, 2001; LAVOREL; GARNIER, 2002). Aumentar a ocupação de espaço e a quantidade de nichos por plantas cultivadas diminui os nichos disponíveis para as espontâneas, reduzindo os recursos disponíveis para essas plantas e diminuindo sua capacidade de competir, o que pode causar a seleção de uma vegetação espontânea com estratégia predominantemente R (Figura 10). Esse processo pode ser acentuado pelos filtros ambientais, já que a escassez de recursos pode indicar menor disponibilidade de nichos (HARPOLE; TILMAN, 2007), e essas plantas também destinam boa parte dos seus recursos para sobreviver ao estresse (estratégia S), reduzindo ainda mais sua capacidade competitiva. Isso pode ser importante principalmente em SAFs com cultivo predominante de espécies arbóreas e arbustivas, que normalmente apresentam maior capacidade competitiva, permitindo a convivência com a vegetação espontânea sem necessidade de práticas de controle direto, minimizando a utilização de insumos externos, a competição com os cultivos e ainda obtendo diversos benefícios ecológicos da presença de plantas espontâneas (BRETAGNOLLE; GABA, 2015; GABA et al., 2017; RUIZ-COLMENERO et al., 2013). Além disso, comunidades cultivadas mais diversas também oferecem aumentos na produtividade e multifuncionalidade em SAFs (SANTOS et al., 2021).

A diminuição na diversidade funcional das espontâneas causada pelo aumento da diversidade funcional das cultivadas pode ser uma evidência da maior ocupação de nichos e utilização dos recursos disponíveis por plantas cultivadas em detrimento das espontâneas (DÍAZ; CABIDO, 2001; LAVOREL; GARNIER, 2002). Esse processo de menor ocupação de nichos se evidencia pela relação negativa entre a diversidade funcional de espontâneas e a cobertura do solo por essas plantas (Figura 10). Esses resultados reforçam a importância da

diversidade funcional em SAFs já demonstrada por Santos et al. (2021), mostrando que além de aumentar o controle de espontâneas, a produtividade e a multifuncionalidade nesses sistemas, comunidades mais diversas podem melhorar a convivência com plantas espontâneas, otimizando o uso de recursos pelas plantas cultivadas.

A prevalência da estratégia C nas comunidades cultivadas (Figuras 7, 8 e 9) também pode explicar a ausência de uma influência direta da diversidade funcional sobre a cobertura de plantas cultivadas (Figura 10), relação observada por Santos et al. (2021). Mesmo que a ocupação de nichos inicial tenha um papel importante para aumentar a cobertura de cultivadas e reduzir a de espontâneas (MWANGI et al., 2007), o sistema estudado tem 3 anos de desenvolvimento, tempo suficiente para que a maior capacidade competitiva das cultivadas se expresse e mesmo as comunidades menos diversas se desenvolvam e cubram o solo de maneira eficiente. Isso vale também para a ausência de uma relação direta dos teores de nitrogênio e cobertura de solo por plantas cultivadas (Figura 11).

Maiores teores de nitrogênio foliar indicam comunidades vegetais com maior capacidade de aquisição de recursos (DÍAZ et al., 2016; REICH, 2014; WRIGHT et al., 2004), e, conseqüentemente, maior capacidade de competir por recursos (estratégia C). Nos SAFs estudados os efeitos da média funcional do teor de nitrogênio foliar da comunidade cultivada reduzindo a cobertura de solo e a estratégia C de plantas espontâneas e aumentando sua estratégia R (Figura 11) são muito semelhantes aos observados para a diversidade funcional das cultivadas (Figura 10). Indicando que esse atributo também é importante para otimizar a convivência com plantas espontâneas em SAFs.

Aumentando os teores de nitrogênio foliar da comunidade cultivada é possível acelerar ciclos biogeoquímicos e outros processos ecológicos, já que esse atributo está ligado a maiores produtividades de biomassa acima do solo e estratégias de rápido crescimento e aquisição de recursos (DÍAZ et al., 2016; GARNIER et al., 2004; REICH, 2014; WRIGHT et al., 2004). Além disso, a utilização de leguminosas em SAFs é uma prática comum globalmente (DUCHENE; VIAN; CELETTE, 2017), o que torna fácil a adoção prática de comunidades com elevados teores de nitrogênio foliar.

A utilização de espécies com alto teor de nitrogênio foliar, indicando estratégias aquisitivas e de rápido crescimento, pode ser especialmente eficaz quando combinada com o plantio de comunidades com alta diversidade funcional. Os efeitos semelhantes dessas duas

variáveis na comunidade espontânea (Figuras 10 e 11) podem indicar uma sinergia entre elas para otimizar o controle e convivência com plantas espontâneas em SAFs.

A adoção de comunidades cultivadas com alta diversidade funcional otimiza a ocupação dos diferentes nichos ecológicos por essas plantas (DÍAZ; CABIDO, 2001; LAVOREL; GARNIER, 2002) e dificulta o estabelecimento de comunidades espontâneas (MWANGI et al., 2007), enquanto o plantio de espécies com elevados teores de nitrogênio foliar acelera a utilização dos recursos disponíveis e os ciclos biogeoquímicos (DÍAZ et al., 2016; GARNIER et al., 2004; REICH, 2014; WRIGHT et al., 2004). Além disso, a seleção de comunidades com alta diversidade funcional é mais fácil quando se utiliza critérios baseados em gradientes facilmente reconhecidos como altos e baixos teores de nitrogênio foliar (SANTOS et al., 2021), o que pode ser obtido com consórcios de gramíneas e leguminosas, por exemplo, que também incluem plantas com altos teores de nitrogênio foliar. Portanto, além da otimização do uso de recursos por cultivadas e convivência com espontâneas, o teor de nitrogênio foliar e a diversidade funcional são características de fácil aplicação prática e podem ser chaves para tomadas de decisão durante a implantação e manejo de SAFs agroecológicos que promovem a biodiversidade, produção de alimentos seguros e a restauração e manutenção de serviços ecossistêmicos.

8 CONCLUSÃO

As estratégias ecológicas de plantas espontâneas são influenciadas direta e indiretamente pela cobertura do solo, diversidade funcional e teor de nitrogênio das plantas cultivadas. Essas características de SAFs podem ser utilizadas de maneira prática para planejar SAFs que otimizem a ocupação de nichos e uso de recursos pelo plantio de comunidades cultivadas diversas e que incluam plantas com alto teor de nitrogênio foliar, permitindo melhor convivência com plantas espontâneas, melhor cobertura do solo e otimização dos ciclos biogeoquímicos.

Apesar da escassez de estudos utilizando as estratégias ecológicas CSR em agroecossistemas e SAFs em particular, esse trabalho mostrou que esse modelo de estratégias pode ser utilizado para compreender melhor as dinâmicas ecológicas envolvidas nesses sistemas de cultivo e, aliado aos recentes avanços que permitiram a fácil classificação de plantas no modelo CSR através de atributos funcionais, pode ser uma ferramenta importante para futuras pesquisas e tomadas de decisão no cultivo e manejo de SAFs.

A capacidade de SAFs para conviver com plantas espontâneas, obtendo benefícios de sua presença e, ao mesmo tempo, otimizando a utilização de recursos por plantas cultivadas demonstrada por esse trabalho pode ser um fator importante para estimular a maior adoção desses sistemas para produção de alimentos seguros e saudáveis, restauração ecológica e obtenção de diversos serviços ecossistêmicos, já que plantas espontâneas representam um dos maiores desafios para a agricultura moderna.

A adoção de práticas agrícolas que permitam a convivência da população humana com a natureza a longo prazo e mantendo serviços ecossistêmicos importantes é urgente no atual cenário global. Nesse contexto, SAFs agroecológicos são uma importante ferramenta por possuírem todas essas características. Mais pesquisas, aplicações práticas e incentivos, principalmente por parte dos diferentes níveis de governo são necessários para continuar o desenvolvimento de práticas agroecológicas no Brasil e no mundo. Tendo isso em vista, este trabalho contribuiu para o melhor entendimento das dinâmicas ecológicas em SAFs e fornecendo informações que podem auxiliar nas tomadas de decisões de todos os atores envolvidos no desenvolvimento de uma agricultura mais sustentável.

REFERÊNCIAS

- ABALOS, D. et al. Plant trait-based approaches to improve nitrogen cycling in agroecosystems. **Journal of Applied Ecology**, v. 56, n. 11, p. 2454–2466, 9 nov. 2019.
- BÀRBERI, P. et al. Linking species traits to agroecosystem services: a functional analysis of weed communities. **Weed Research**, v. 58, n. 2, p. 76–88, abr. 2018.
- BENNETT, E. M.; PETERSON, G. D.; GORDON, L. J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. **Ecology Letters**, v. 12, n. 12, p. 1394–1404, dez. 2009.
- BONILHA, R. M. et al. Characterization of the soil fertility and root system of restinga forests. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1804–1813, dez. 2012.
- BOTTA-DUKÁT, Z. Rao's quadratic entropy as a measure of functional diversity based on multiple traits. **Journal of Vegetation Science**, v. 16, n. 5, p. 533–540, 24 out. 2005.
- BRETAGNOLLE, V.; GABA, S. Weeds for bees? A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 3, p. 891–909, 24 jul. 2015.
- CADOTTE, M. W.; CARSCADDEN, K.; MIROTCHEV, N. Beyond species: functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, n. 5, p. 1079–1087, out. 2011.
- CARDINALE, B. J. et al. Biodiversity loss and its impact on humanity. **Nature**, v. 486, n. 7401, p. 59–67, 2012.
- CERABOLINI, B. E. L. et al. Can CSR classification be generally applied outside Britain? **Plant Ecology**, v. 210, n. 2, p. 253–261, 26 out. 2010.
- CHATTERJEE, N. et al. Changes in soil carbon stocks across the Forest-Agroforest-Agriculture/Pasture continuum in various agroecological regions: A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 266, p. 55–67, nov. 2018.
- DEBASTIANI, V. J.; PILLAR, V. D. SYNCOSA--R tool for analysis of metacommunities based on functional traits and phylogeny of the community components. **Bioinformatics**, v. 28, n. 15, p. 2067–2068, 1 ago. 2012.
- DÉLYE, C.; JASIENIUK, M.; LE CORRE, V. Deciphering the evolution of herbicide resistance in weeds. **Trends in Genetics**, v. 29, n. 11, p. 649–658, nov. 2013.
- DIAZ, S. et al. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 52, p. 20684–20689, 26 dez. 2007.
- DÍAZ, S. et al. The global spectrum of plant form and function. **Nature**, v. 529, n. 7585, p. 167–171, 2016.
- DÍAZ, S. et al. Assessing nature's contributions to people. **Science**, v. 359, n. 6373, p. 270–272, 19 jan. 2018.

DÍAZ, S.; CABIDO, M. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 16, n. 11, p. 646–655, nov. 2001.

DORNELAS, M. et al. Species abundance distributions reveal environmental heterogeneity in modified landscapes. **Journal of Applied Ecology**, v. 46, n. 3, p. 666–672, jun. 2009.

DUCHENE, O.; VIAN, J.-F.; CELETTE, F. Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 240, p. 148–161, mar. 2017.

FERREIRA, L. R.; DAL SOGLIO, F. K. Instituições e concepções de sistemas agroflorestais no Rio Grande do Sul. In: SIDDIQUE, I.; DIONÍSIO, A. C.; SIMÕES-RAMOS, G. A. (Eds.). **Redes SAFAS: construindo conhecimento sobre Agroflorestas em rede**. Florianópolis: UFSC, 2017.

FINNEY, D. M.; KAYE, J. P. Functional diversity in cover crop polycultures increases multifunctionality of an agricultural system. **Journal of Applied Ecology**, v. 54, n. 2, 2017.

FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337–342, 12 out. 2011.

FRAZER, G. W.; CANHAM, C. D.; LERTZMAN, K. P. **Gap Light Analyzer - GLA, version 2.0** Burnaby, British Columbia Simon Fraser University, 1999.

GABA, S. et al. Agroecological weed control using a functional approach: A review of cropping systems diversity. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 34, n. 1, p. 103–119, 2014.

GABA, S. et al. Response and effect traits of arable weeds in agro-ecosystems: a review of current knowledge. **Weed Research**, v. 57, n. 3, p. 123–147, jun. 2017.

GARNIER, E. et al. Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. **Ecology**, v. 85, n. 9, p. 2630–2637, 2004a.

GARNIER, E. et al. Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. **Ecology**, v. 85, n. 9, p. 2630–2637, 2004b.

GARNIER, E.; NAVAS, M.-L. A trait-based approach to comparative functional plant ecology: concepts, methods and applications for agroecology. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 2, p. 365–399, 11 abr. 2012.

GHARDE, Y. et al. Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India. **Crop Protection**, v. 107, p. 12–18, maio 2018.

GRACE, J. B. **Structural Equation Modeling and Natural Systems**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

GRIME, J. P. Vegetation classification by reference to strategies. **Nature**, v. 250, n. 5461, p. 26–31, 1 jul. 1974.

GRIME, J. P. Evidence for the Existence of Three Primary Strategies in Plants and Its Relevance to Ecological and Evolutionary Theory. **The American Naturalist**, v. 111, n. 982, p. 1169–1194, nov. 1977.

GRIME, J. P. Benefits of plant diversity to ecosystems: immediate, filter and founder effects. **Journal of Ecology**, v. 86, n. 6, p. 902–910, dez. 1998.

GUYTON, K. Z. et al. Carcinogenicity of tetrachlorvinphos, parathion, malathion, diazinon, and glyphosate. **The Lancet. Oncology**, v. 16, n. 5, p. 490–1, maio 2015.

HARPOLE, W. S.; TILMAN, D. Grassland species loss resulting from reduced niche dimension. **Nature**, v. 446, n. 7137, p. 791–793, 25 abr. 2007.

ISBELL, F. et al. Linking the influence and dependence of people on biodiversity across scales. **Nature**, v. 546, n. 7656, p. 65–72, 2017.

JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. **Flora do Brasil 2020**.

KINUPP, V. F.; LORENZI, H. **Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2015.

LALIBERTÉ, E.; LEGENDRE, P. A distance-based framework for measuring functional diversity from multiple traits. **Ecology**, v. 91, n. 1, p. 299–305, jan. 2010.

LAVOREL, S. et al. Assessing functional diversity in the field – methodology matters! **Functional Ecology**, p. 071124124908001-???, 22 nov. 2007.

LAVOREL, S.; GARNIER, E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. **Functional Ecology**, v. 16, n. 5, p. 545–556, out. 2002.

LEFCHECK, J. S. PIECEWISE SEM: Piecewise structural equation modelling in R for ecology, evolution, and systematics. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 7, p. 573–579, 2016.

LEVINE, J. M. A trail map for trait-based studies. **Nature**, v. 529, n. 7585, p. 163–164, 14 jan. 2016.

LIN, B. B.; PERFECTO, I.; VANDERMEER, J. Synergies between Agricultural Intensification and Climate Change Could Create Surprising Vulnerabilities for Crops. **BioScience**, v. 58, n. 9, p. 847–854, 1 out. 2008.

LONDO, G. The Decimal Scale For Relevés Of Permanent Quadrats. **Vegetatio**, v. 33, n. 1954, p. 61–64, 1976.

LOOS, R. et al. Pan-European survey on the occurrence of selected polar organic persistent pollutants in ground water. **Water Research**, v. 44, n. 14, p. 4115–4126, jul. 2010.

LOREAU, M. et al. Biodiversity and Ecosystem Functioning: Current Knowledge and Future Challenges. **Science**, v. 294, n. 5543, p. 804–808, 26 out. 2001.

MAEZUMI, S. Y. et al. The legacy of 4,500 years of polyculture agroforestry in the eastern Amazon. **Nature Plants**, v. 4, n. 8, p. 540–547, 23 ago. 2018.

MALÉZIEUX, E. et al. Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 43–62, mar. 2009.

MCGILL, B. et al. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 21, n. 4, p. 178–185, abr. 2006.

MWANGI, P. N. et al. Niche pre-emption increases with species richness in experimental plant communities. **Journal of Ecology**, v. 95, n. 1, p. 65–78, jan. 2007.

NAVAS, M.-L. Trait-based approaches to unravelling the assembly of weed communities and their impact on agro-ecosystem functioning. **Weed Research**, v. 52, n. 6, p. 479–488, dez. 2012.

OERKE, E.-C. Crop losses to pests. **The Journal of Agricultural Science**, v. 144, n. 1, p. 31–43, 9 fev. 2006.

PAKEMAN, R. J.; QUESTED, H. M. Sampling plant functional traits: What proportion of the species need to be measured? **Applied Vegetation Science**, v. 10, n. 1, p. 91–96, 2007.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. et al. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v. 61, n. 3, p. 167, 2013.

PETIT, S. et al. Weeds in agricultural landscapes. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 31, n. 2, p. 309–317, 28 abr. 2011.

PIERCE, S. et al. Allocating CSR plant functional types: the use of leaf economics and size traits to classify woody and herbaceous vascular plants. **Functional Ecology**, v. 27, n. 4, p. 1002–1010, ago. 2013.

PIERCE, S. et al. A global method for calculating plant CSR ecological strategies applied across biomes world-wide. **Functional Ecology**, v. 31, n. 2, p. 444–457, 7 fev. 2017.

PILLAR, V. D. et al. Functional redundancy and stability in plant communities. **Journal of Vegetation Science**, v. 24, n. 5, p. 963–974, set. 2013.

PINHEIRO, J. et al. **nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models**, 2021.

PRIMAVESI, A. M. **Algumas plantas indicadoras: como reconhecer os problemas de um solo**. São Paulo: Expressão Popular, 2017.

PUMARIÑO, L. et al. Effects of agroforestry on pest, disease and weed control: A meta-analysis. **Basic and Applied Ecology**, v. 16, n. 7, p. 573–582, nov. 2015.

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing** Vienna, Austria R Foundation for Statistical Computing, , 2018.

- RAO, C. R. Diversity and dissimilarity coefficients: A unified approach. **Theoretical Population Biology**, v. 21, n. 1, p. 24–43, fev. 1982.
- REICH, P. B. The world-wide “fast-slow” plant economics spectrum: A traits manifesto. **Journal of Ecology**, v. 102, n. 2, p. 275–301, 2014.
- RICOTTA, C.; MORETTI, M. CWM and Rao’s quadratic diversity: a unified framework for functional ecology. **Oecologia**, v. 167, n. 1, p. 181–188, 22 set. 2011.
- ROSADO, B. H. P.; MATTOS, E. A. On the relative importance of CSR ecological strategies and integrative traits to explain species dominance at local scales. **Functional Ecology**, v. 31, n. 10, p. 1969–1974, 24 out. 2017.
- RUIZ-COLMENERO, M. et al. Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the central Spain. **CATENA**, v. 104, p. 153–160, maio 2013.
- SANTOS, D. et al. Crop functional diversity drives multiple ecosystem functions during early agroforestry succession. **Journal of Applied Ecology**, v. 58, n. 8, p. 1718–1727, 16 ago. 2021.
- SHIPLEY, B. Confirmatory path analysis in a generalized multilevel context. **Ecology**, v. 90, n. 2, p. 363–368, fev. 2009.
- SHIPLEY, B. et al. Reinforcing loose foundation stones in trait-based plant ecology. **Oecologia**, v. 180, n. 4, p. 923–931, 2016a.
- SHIPLEY, B. **Cause and Correlation in Biology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2016.
- SHIPLEY, B. et al. Reinforcing loose foundation stones in trait-based plant ecology. **Oecologia**, v. 180, n. 4, p. 923–931, 21 abr. 2016b.
- SIMINSKI, A. et al. Dynamics of Natural Regeneration: Implications for Landscape Restoration in the Atlantic Forest, Brazil. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, 11 mar. 2021.
- STORKEY, J. A functional group approach to the management of UK arable weeds to support biological diversity. **Weed Research**, v. 46, n. 6, p. 513–522, dez. 2006.
- TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, n. 6898, p. 671–677, ago. 2002.
- TILMAN, D. et al. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260–20264, 13 dez. 2011.
- TOBNER, C. M. et al. Functional identity is the main driver of diversity effects in young tree communities. **Ecology Letters**, v. 19, n. 6, p. 638–647, 2016.
- VIEIRA, D. L. M.; HOLL, K. D.; PENEIREIRO, F. M. Agro-Successional Restoration as a Strategy to Facilitate Tropical Forest Recovery. **Restoration Ecology**, v. 17, n. 4, p. 451–459, jul. 2009.

VIOLLE, C. et al. Let the concept of trait be functional! *Oikos*, v. 116, n. 5, p. 882–892, maio 2007.

WOOD, S. A. et al. **Functional traits in agriculture: Agrobiodiversity and ecosystem services** *Trends in Ecology and Evolution*, 2015.

WRIGHT, I. J. et al. The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, v. 428, n. 6985, p. 821–827, abr. 2004.

APÊNDICE A – Espécies cultivadas e tratamentos em que foram utilizadas

Tabela A.1. Relação do nome comum e científico (entre parênteses) das espécies utilizadas em cada um dos três tratamentos experimentais (B - Baixo, M - Médio e A - Alto nitrogênio foliar), suas respectivas formas de crescimento e concentrações de nitrogênio foliar.

Espécies	Formas de crescimento	N- foliar	Tratamentos¹
Araçá (<i>Psidium cattleianum</i>)		Baixo	B
Aroeira (<i>Schinus terebinthifolia</i>)		Baixo	B
Tucaneira (<i>Cytharexylum myrianthum</i>)		Baixo	B e M
Castanheira-da-praia (<i>Pachira glabra</i>)	Árvores (pioneiras)	Baixo	B e M
Ingá (<i>Inga marginata</i>)		Alto	A e M
Erytrina (<i>Erythrina speciosa</i>)		Alto	A e M
Grandiúva (<i>Trema micrantha</i>)		Alto	A
Mutamba (<i>Guazuma ulmifolia</i>)		Alto	A
Cana-de-açúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)		Baixo	B
Capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i>)		Baixo	B e M
Guandu (<i>Cajanus cajan</i>)	Adebadeiras	Alto	A e M
Banana (<i>Musa paradisiaca L.</i>)		Alto	A

¹Tratamentos: B – espécie utilizada no tratamento baixo; A – espécie utilizada no tratamento alto; M – espécie utilizada no tratamento médio.

APÊNDICE B – Valores dos atributos funcionais determinados

Tabela B.1. Espécies cultivadas e seus atributos funcionais.

Espécie	LA(mm ²)	LDMC(%)	SLA(mm ² /mg)	SD(mg/mm ³)	H(m)	N(mg/g)
<i>C. cajan</i>	5718,00	28,98	17,18	0,36	2,83	33,74
<i>C. myrianthum</i>	4288,90	30,79	13,10	0,66	1,27	13,42
<i>E. speciosa</i>	32975,79	24,34	19,21	0,30	1,54	50,30
<i>G. ulmifolia</i>	5799,92	35,33	13,99	0,53	2,32	15,50
<i>I. marginata</i>	8805,08	46,64	12,44	0,63	2,00	30,30
<i>M. paradisiaca</i>	1249730,00	19,38	9,63	0,07	5,09	21,08
<i>P. glabra</i>	32196,22	34,41	14,51	0,37	0,75	21,65
<i>P. purpureum</i>	18241,20	29,62	12,76	0,31	3,82	10,71
<i>P. cattleianum</i>	2561,16	38,11	6,30	0,81	1,54	10,94
<i>S. officinarum</i>	44457,00	28,03	6,76	0,06	3,21	8,06
<i>S. terebinthifolia</i>	6698,92	39,71	8,75	0,62	1,83	12,11
<i>T. micrantha</i>	2740,42	31,03	17,51	0,36	2,38	35,76

LA: área foliar; LDMC: conteúdo de matéria seca; SLA: área foliar específica; SD: densidade de caule; H: altura

Tabela B.2. Espécies espontâneas e seus atributos funcionais.

Espécie	LA(mm ²)	LDMC(%)	SLA(mm ² /mg)	SD(mg/mm ³)	H(m)
<i>Arachis pintoi</i>	1582,60	26,71	24,07	0,19	0,12
<i>Axonopus obtusifolius</i>	1812,00	19,28	23,44	0,29	0,17
<i>Canna indica</i>	15122,58	17,13	21,82	0,11	0,85
<i>Centella asiatica</i>	2040,40	22,05	16,39	0,19	0,29
<i>Commelina benghalensis</i>	1561,44	15,55	32,87	0,11	0,45
<i>Conyza bonariensis</i>	1152,15	23,28	19,46	0,35	0,78
<i>Cyrtocymura scorpioides</i>	1836,64	21,79	23,77	0,52	0,58
<i>Desmodium barbatum</i>	929,00	40,00	21,28	0,50	0,53
<i>Desmodium incanum</i>	1024,34	37,86	22,15	0,56	0,62
<i>Hyptis fasciculata</i>	268,67	23,20	26,59	0,39	1,12
<i>Panicum maximum</i>	17394,44	28,96	14,98	0,28	1,44
<i>Paspalum conjugatum</i>	639,43	20,24	41,63	0,39	0,34
<i>Paspalum hyalinum</i>	767,20	23,35	23,99	0,18	0,15
<i>Sphagneticola trilobata</i>	1365,00	18,81	27,45	1,00	0,44
<i>Steinchisma decipiens</i>	468,73	31,63	27,09	0,31	0,27
<i>Tibouchina urvilleana</i>	2381,25	36,91	11,60	0,63	0,82

LA: área foliar; LDMC: conteúdo de matéria seca; SLA: área foliar específica; SD: densidade de caule; H: altura