



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE
BIOSSISTEMAS**

ANA FLÁVIA MAGALHÃES MOREIRA

**PLASTICIDADE FENOTÍPICA E SIMULAÇÃO DE TRAÇOS FUNCIONAIS EM
POPULAÇÕES DE *Atta sexdens sexdens* (LINNAEUS, 1758) (FORMICIDAE:
HYMENOPTERA) POR IDADE DE EUCALIPTAIS NO LITORAL NORTE E
AGRESTE DA BAHIA**

Alagoinhas

2023

ANA FLÁVIA MAGALHÃES MOREIRA

PLASTICIDADE FENOTÍPICA E SIMULAÇÃO DE TRAÇOS FUNCIONAIS EM
POPULAÇÕES DE *Atta sexdens sexdens* (LINNAEUS, 1758) (FORMICIDAE:
HYMENOPTERA) POR IDADE DE EUCALIPTAIS NO LITORAL NORTE E
AGRESTE DA BAHIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Simulação de Biosistemas, da Universidade do Estado da Bahia – *Campus II*, como requisito para o título de Mestre em Modelagem e Simulação de Biosistemas.

Orientadora: Profa. Dra. Eltamara Souza da Conceição.

Alagoinhas
2023

Sistema de Bibliotecas da UNEB
Biblioteca Carlos Drummond de Andrade – Campus II
Manoela Ribeiro Vieira
Bibliotecária – CRB 5/1768

M823p Moreira, Ana Flávia Magalhães
Plasticidade fenotípica e simulação de traços funcionais em populações de *atta sexdens sexdens* (linnaeus,1758) (formicidae: hymenoptera) por idade de eucaliptais no litoral norte e agreste da Bahia / Ana Flávia Magalhães Moreira – Alagoinhas, 2023.
52 f.: il

Orientador: Prof^ª. Dr^ª. Eltamara Souza da Conceição.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e da Terra. Mestrado em Modelagem e Simulação de Biosistemas. Alagoinhas, 2023.

1. Formigas - Caracterização 2. Análise Morfométrica 3. *Sexdens Sexdens* I. Conceição, Eltamara Souza da. II. Universidade do Estado da Bahia – Departamento de Ciências Exatas e da Terra III. Programa de Pós- Graduação em Modelagem e Simulação de Biosistemas IV. Título.

CDD – 595.796

“PLASTICIDADE FENOTÍPICA E SIMULAÇÃO DE TRAÇOS FUNCIONAIS EM POPULAÇÕES DE *Atta sexdens sexdens* (LINNAEUS,1758) (FORMICIDAE: HYMENOPTERA) POR IDADE DE EUCALIPTAIS NO LITORAL NORTE E AGRESTE DA BAHIA”

ANA FLÁVIA MAGALHÃES MOREIRA

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Simulação de Biosistemas, da Universidade do Estado da Bahia – Campus II, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Modelagem e Simulação de Biosistemas. **Aprovada em 25 de abril de 2023.**

Banca Examinadora

Prof. Dra. Eltamara Souza da Conceição
Universidade do Estado da Bahia
(Orientadora)

Prof. Dra. Gracineide Selma Santos de Almeida
Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dra. Maria José Dias Sales
Faculdade Santíssimo Sacramento

Alagoinhas, Bahia

Abril/2023

“Dedico este trabalho à minha mãe, Ana Maria Lima de Magalhães (*in memoriam*) mulher guerreira que me ensinou a sorrir e ter fé mesmo nos momentos de dor. Sei que, apesar de não estar presente fisicamente, ilumina os meus passos e orienta as minhas decisões.

Amo muito você.”

AGRADECIMENTOS

A Deus primeiramente, pela força e sustento nos momentos mais difíceis e por me fornecer paciência e sabedoria.

Aos meus pais, Ana e Marcelino e minha irmã Marcela, pela base, amor e incentivo diários. Ao meu marido Marcelo que sempre esteve ao meu lado com amor e dedicação.

Ao Departamento de Ciências Exatas e da Terra da Universidade do Estado da Bahia (UNEB) – *Campus II*, pela infraestrutura disponibilizada à execução deste trabalho.

Aos professores do Programa de pós-graduação em Modelagem e Simulação de Biosistemas por todos os ensinamentos, que contribuíram diretamente para minha formação profissional.

Aos colegas de turma por todos os momentos felizes vividos, especialmente a Jordana Barreto de Sá, que foi um alicerce por diversos momentos durante minha caminhada. A minha orientadora, Dra. Eltamara Souza da Conceição, pela orientação, dedicação, paciência e por acreditar em meu trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa das áreas de estudo no Litoral Norte e Agreste da Bahia, setembro de 2021	12
Figura 2. Temperatura e precipitação da estação da Reserva Quatis, próxima às áreas do estudo, Entre Rios, ano de 2021	13
Figura 3. Análise de Componentes Principais referente à variabilidade dos traços funcionais de <i>A. sexdens sexdens</i> em eucaliptais de 1 ano de idade, Litoral Norte e Agreste da Bahia, setembro de 2021	15
Figura 4. Análise de Componentes Principais referente à variabilidade dos traços funcionais em eucaliptais de 4 anos de idade, Litoral Norte e Agreste da Bahia, setembro de 2021. . . .	16
Figura 5. Análise de Componentes Principais referente à variabilidade dos traços funcionais em eucaliptais de 5 anos de idade, Litoral Norte e Agreste da Bahia, setembro de 2021. . . .	16
Figura 6. Correlação e regressão linear para o traço funcional “LC” de <i>A. sexdens sexdens</i> de eucaliptais de diferentes idades do Litoral Norte e Agreste da Bahia, setembro de 2021. . . .	24
Figura 7. Correlação e regressão linear para o traço funcional “CP” de <i>A. sexdens sexdens</i> de eucaliptais de diferentes idades do Litoral Norte e Agreste da Bahia, setembro de 2021. . . .	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias de traços funcionais (DI=..., IM=) de <i>A. sexdens sexdens</i> de acordo com a idade de eucaliptais, nos municípios de Entre Rios-BA e Alagoinhas-BA, Brasil, setembro de 2021.....	15
Tabela 2. Percentual de explicação da variabilidade dos dados no eixo da primeira componente principal de acordo a idade dos eucaliptos do Litoral Norte e Agreste da Bahia, setembro de 2021.....	17

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1. PROBLEMA.....	2
1.2. JUSTIFICATIVA.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivos específicos	3
1.4. HIPÓTESE	4
2. ESTADO DA ARTE	4
2.1. BIOLOGIA DE FORMIGAS CORTADEIRAS	4
2.2. FORMIGAS CORTADEIRAS E GERENCIAMENTO DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA.....	6
2.3. PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE FORMIGAS CORTADEIRAS	7
2.4. MORFOMETRIA DE FORMIGAS COMO FERRAMENTA DE AVALIAÇÃO DE PLASTICIDADE FENOTÍPICA	8
2.5. UTILIZAÇÃO DE MODELAGEM EM BIOSISTEMAS.....	8
CAPÍTULO 1 - Caracterização fenotípica de populações de <i>A. sexdens sexdens</i>, no Litoral norte e Agreste da Bahia.....	10
CAPÍTULO 2 - Uso de Modelagem para simulação de traços funcionais em populações de <i>Atta sexdens sexdens</i> (linnaeus,1758) (Formicidae: Hymenoptera) por idade de eucaliptais, no Litoral norte e Agreste da Bahia ...	21
3. CONCLUSÃO	30
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30

RESUMO

As formigas constituem um excelente táxon para caracterização fenotípica e utilização de modelagem matemática em estudos envolvendo ecologia, visto que são abundantes numericamente nos ecossistemas e sensíveis às mudanças ambientais causadas pelas alterações antrópicas. O objetivo do estudo foi caracterizar fenotipicamente operárias de *Atta sexdens sexdens* (Linnaeus, 1758) e utilizar modelagem matemática para simular traços funcionais em função da idade, das condições ecológicas e de manejo, de eucaliptais do Litoral Norte e Agreste da Bahia. Através deste, foram realizadas análises morfométricas, considerando traços funcionais, em 90 operárias de formigas coletadas de populações de *A. sexdens sexdens*, em ninhos de três classes de idade de eucaliptais no Litoral Norte e Agreste da Bahia, Brasil. Verificaram-se diferenças nas médias dos traços funcionais, tais como largura da cabeça (LC), comprimento de pernas (CP) e comprimento de pecíolo (PE) por idade do eucaliptal. Os resultados da pesquisa mostram que, suas estratégias de forrageio e demais hábitos funcionais podem ser alterados em função da idade da cultura e de suas diferentes formas de manejo, indicando novas estratégias de controle para empresas agroflorestais dessa espécie enquanto praga agrícola.

Palavras-chave: Formicidae; Morfometria; Regressão.

ABSTRACT

Ants are an excellent taxon for phenotypic characterization and use of mathematical modeling in studies involving ecology, since they are numerically abundant in ecosystems and sensitive to environmental changes caused by anthropic alterations. The objective of the study was to phenotypically characterize workers of *Atta sexdens sexdens* (Linnaeus, 1758) and use mathematical modeling to simulate functional traits as a function of age, ecological and management conditions, of eucalyptus trees from the North Coast and Agreste of Bahia. Through this, morphometric analyzes were carried out, considering functional traits, in 90 ant workers collected from populations of *A. sexdens sexdens*, in nests of three age classes of eucalyptus trees in the North Coast and Agreste of Bahia, Brazil. Differences were found in the means of functional traits, such as head width (LC), leg length (CP) and petiole length (PE) by eucalyptus age. The research results show that, their foraging strategies and other functional habits can be changed depending on the age of the crop and its different forms of management, indicating new control strategies for agroforestry companies of this species as an agricultural pest.

Key-words: Formicidae; Morphometry; Regression.

1. INTRODUÇÃO GERAL

O plantio de eucalipto vem em crescente expansão no território baiano, devido às condições edafoclimáticas ideais para seu cultivo, além da facilidade na obtenção de terras que abastecem o agronegócio de extração de madeira, celulose e carvão (SILVA *et al.* 2020). O setor florestal brasileiro é considerado um dos mais competitivos mundialmente e as plantações de eucalipto no país cobrem cerca de 7,6 milhões de hectares (IBGE, 2019). O modelo de manejo das árvores deve ser definido quando se planeja a implantação do sistema (WENDLING; OLIVEIRA; PINTO JUNIOR, 2021). Fatores como condições prévias do plantio, bioma de inserção da atividade e regime hídrico da região são determinantes para os impactos, tanto positivos quanto negativos (VITAL, 2007).

Nesse contexto, a utilização de atributos funcionais de formigas, que abrangem características morfológicas, anatômicas, fisiológicas, bioquímicas e fenológicas e influenciam o desempenho dos organismos no ambiente, são informações necessárias para o monitoramento e controle de áreas degradadas, a fim de melhorar a conservação da biodiversidade (VIOLLE *et al.*, 2007; FERNANDES *et al.* 2020). Nesse sentido, as formigas são um relevante grupo para este tipo de estudo, sobretudo porque possui grande expressividade numérica nos ambientes, ocupando importantes papéis nos ecossistemas (HOLLDOBER; WILSON, 1990). Estudos mostram que muitas características corporais de formigas estão associadas à aptidão no ambiente, contribuindo dessa forma, para indicar processos de sucessão de espécies, estratégias diferenciadas de forrageamento e adaptação, em resposta às mudanças na estrutura do habitat (BERNARDES-JUNIOR *et al.*, 2020).

Muitas espécies de formigas podem sobreviver às condições abióticas extremas, em adaptação às mudanças ambientais, sobretudo em áreas agrícolas, se tornando pragas e gerando custos sob a produção e estabelecimento do cultivo (SIQUEIRA *et al.*, 2017). Dessa forma, estudos sobre plasticidade fenotípica permitem compreender sobre como alterações morfológicas nessas espécies podem oferecer vantagens competitivas em diferentes tipos de ambientes (WESTNEAT *et al.*, 2019).

Dentre as espécies mais conhecidas da família Formicidae estão as da subfamília Myrmicinae, na qual está incluída a tribo Attini (WARN *et al.*, 2015). As dos gêneros *Atta* e *Acromyrmex* pertencem a essa tribo e compreendem um grupo vasto,

com mais de 230 espécies descritas e algumas ainda não descritas (SCHULTZ; BRADY, 2008; MONTOYA-LERMA *et al* 2012). As formigas cortadeiras como são conhecidas e sobretudo as *Atta*, são caracterizadas principalmente pelo cuidado cooperativo com a prole, divisão reprodutiva do trabalho e realização de atividades associadas à variação do tamanho corporal das operárias. Essas peculiaridades evidenciam o alto grau de polimorfismo existente nesse gênero, assim como a complexa organização social de suas colônias (DELLA LUCIA; GANDRA; GUEDES, 2013).

Quando em equilíbrio com o meio, as *Atta* são consideradas engenheiras de ecossistemas, pois modulam de forma indireta ou não, a disponibilidade de recursos, os modificando física ou quimicamente (STEPHAN *et al.*, 2015). No entanto, devido a antropização, as formigas cortadeiras são consideradas pragas em plantios florestais de grande importância econômica, especialmente *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. (LEMES *et al.*, 2021). Pelo menos nos primeiros dois anos de estabelecimento da planta, bem como nas demais fases fenológicas, ajudam a intensificar o processo de perda de volume de madeira por área (DELLA-LUCIA, 2011). Nesse trabalho, o objetivo foi caracterizar fenotipicamente operárias de *A. sexdens sexdens* (Linnaeus, 1758) e simular traços funcionais das populações em função da idade, das condições ecológicas e de manejo de eucaliptais do Litoral Norte Agreste da Bahia.

1.1. PROBLEMA

A plasticidade fenotípica pode vir a oferecer vantagens competitivas para a adaptação da espécie *A. sexdens sexdens* em ambientes modificados?

1.2. JUSTIFICATIVA

Os padrões de biodiversidade são obtidos a partir de eventos históricos e contemporâneos. Assim, para o entendimento da evolução biológica é necessário identificar e compreender quais fatores são geradores de diversidade. Estudos envolvendo plasticidade fenotípica são relevantes, uma vez que os organismos produzem fenótipos alternativos em resposta a diferentes fatores ambientais.

Essas variações morfológicas podem variar desde ajustes sutis até variações do fenótipo completo, desempenhando um papel importante no surgimento de caracteres adaptativos que ofereçam vantagens competitivas à determinadas espécies em função de determinados tipos de habitats, visto que alterações na morfologia estão diretamente relacionadas a preferências ecológicas e comportamentais das espécies (STOTZ et al 2021). Entretanto, poucos estudos de comunidades de formigas têm ênfase em como eles mudam (GIB et al 2015).

Assim, estudos como o aqui proposto, fornecem dados importantes sobre como a plasticidade fenotípica pode oferecer vantagens competitivas para adaptação de formigas da espécie *A. sexdens sexdens*, na disputa e alocação de recursos e seu gradativo aperfeiçoamento como praga agrícola.

1.3. OBJETIVOS

Caracterizar fenotipicamente operárias de *A. sexdens sexdens* e simular traços funcionais das populações em função da idade, das condições ecológicas e de manejo, de eucaliptais do Litoral Norte e Agreste da Bahia.

1.3.1. Objetivos específicos

- Identificar diferenças fenotípicas em populações de *A. sexdens sexdens* por classe de idade de eucaliptais;
- Realizar análises morfométricas entre as formigas *A. sexdens sexdens* por classe de idade de eucaliptais;
- Relacionar a morfometria entre as formigas *A. sexdens sexdens* a aspectos comportamentais e adaptativos;
- Simular valores de traços funcionais de formigas *A. sexdens sexdens* para classes de idade de eucaliptais não pesquisadas.

1.4. HIPÓTESE

Se existe plasticidade fenotípica entre as populações de *A. sexdens sexdens*, então elas podem apresentar vantagens competitivas nos ambientes onde estão inseridas.

2. ESTADO DA ARTE

2.1. BIOLOGIA DE FORMIGAS CORTADEIRAS

As *A. sexdens sexdens*, apresentam ampla distribuição na superfície terrestre e organização social, sendo peças-chave nos ecossistemas, assumindo dessa forma, um enorme potencial para o desenvolvimento de estudos sobre bioindicação e padrões de distribuição das espécies (CHAPMAN *et al.*, 2018). Apesar da extensa distribuição geográfica do gênero *Atta* no Brasil, a espécie *A. sexdens* é mais comumente encontrada nas regiões Sudeste e Centro-Oeste (DELABIE *et al.*, 2011). As *Atta* são caracterizadas principalmente pelo cuidado cooperativo com a prole, divisão reprodutiva do trabalho e realização de atividades associadas à variação do tamanho corporal das operárias. Em *A. sexdens*, um modelo de relações interespecíficas é realizado de modo que o polimorfismo conduz a uma divisão de trabalho entre subcastas físicas (WILSON, 1983).

Nessa perspectiva, o polimorfismo assume um importante papel na relação entre a especialização morfológica de indivíduos e atribuição de tarefas específicas, podendo ter sido um fator que favoreceu o estabelecimento de colônias ao longo da evolução, em ambientes suscetíveis a mudanças ambientais, garantindo dessa forma, maior capacidade de adaptação dessas colônias (OSTER; WILSON, 1979).

Nos ambientes, elas desempenham importantes funções ecológicas, contribuindo para dispersão secundária de sementes e quebra de dormência de espécies vegetais nativas (SWANSON *et al.*, 2019). Além disso, seus ninhos subterrâneos são capazes de aumentar a fertilidade e permeabilidade do solo através do acúmulo de matéria orgânica (MONTROYA-LERMA *et al.*, 2012). Sua ocorrência se dá em função do tipo de vegetação, temperatura, precipitação e modificação da

paisagem (GONÇALVES,1961).

São conhecidas popularmente por serem formigas cortadeiras ou cultivadoras de fungo, devido à sua capacidade de cultivar e se alimentar de fungos mutualistas e por serem causadoras de danos às plantações agrícolas, portanto, consideradas pragas (LAZZARI *et al.*, 2019). As formigas cortam partes frescas das plantas para servirem de substrato para os fungos que cultivam (DELLA-LUCIA *et al.*, 2014). Muitas espécies vegetais são cortadas, tanto na fase de brotação, quanto na fase adulta.

Durante esse processo, as espécies vegetais coletadas auxiliam no cultivo do fungo simbiote *Leucoagaricus gongylophorus* (Möller,1983), de modo que estes servirão como a única base nutricional dentro das colônias, fornecendo nutrientes tanto para as larvas, quanto para as operárias (NAGAMOTO *et al.*, 2011; DELLA LUCIA *et al.*, 2014). Essa relação é benéfica para ambos, visto que as formigas se beneficiam do fungo através da quebra enzimática, permitindo desoxidação de compostos secundários vegetais que poderiam agir como inseticidas naturais para a espécie, bem como os fungos se mantêm livres de competidores, por intermédio da aplicação de compostos antibióticos produzidos pelas formigas (CURRIE *et al.*, 1999).

O processamento e incorporação do material vegetal é uma atividade complexa que envolve tarefas diferenciadas. Operárias maiores são responsáveis pelo corte e transporte de folhas, as jardineiras tendem a permanecer dentro dos ninhos, realizando tratamento final do substrato foliar (DELLA-LUCIA *et al.*,1993), operárias de tamanho intermediário realizam uma enorme variedade de tarefas e soldados participam da defesa da colônia (WILSON,1980). Existe também um porcionamento das atividades realizadas por diferentes operárias, de modo que o material coletado é transportado de uma para outra até sua incorporação (DINIZ; BUENO, 2010).

Portanto, as formigas cortadeiras, apesar de serem consideradas pragas, contribuem para o funcionamento dos ecossistemas, participando dos processos ecológicos. Sendo relevante o desenvolvimento de estudos sob diferentes abordagens, envolvendo a relação destas formigas na natureza, bem como, usando-a como referência para avaliação da qualidade ambiental.

2.2. FORMIGAS CORTADEIRAS E GERENCIAMENTO DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA

A conversão das matas nativas, provocada pelas atividades silviculturais,entre

tantas outras atividades antrópicas, podem gerar desequilíbrio nos ecossistemas, provocando perda de patrimônio biológico, através do comprometimento de diversas espécies da fauna e flora (VIANI *et al.*, 2015). Essas atividades também tornam esses ambientes mais suscetíveis a invasões de pragas agrícolas (BOESING *et al.*, 2017). Portanto, isso exige atenção para as práticas silviculturais adotadas nas lavouras.

As formigas cortadeiras são consideradas pragas em plantios florestais de grande importância econômica, especialmente *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. Pelo menos nos primeiros dois anos de estabelecimento da planta, bem como, nas demais fases fenológicas, intensificando o processo de perda de volume de madeira por área (JUVENAL; MATTOS, 2002).

Estabelecer quais elementos da paisagem influenciam a ocorrência de pragas é um fator preponderante para a adequação de práticas de cultivo (PEREZ-ALVAREZ, *et al.*, 2019). Sendo assim, empresas florestais e agrícolas têm buscado estratégias de manejo adequadas ao controle dessas formigas (ARAUJO *et al.*, 2003) e é importante encontrar um método alternativo que seja ecologicamente favorável, eficiente e economicamente viável (VINHA *et al.*, 2020).

As colônias de formigas cortadeiras são consideradas modelos interessantes que auxiliam projetos para gerenciamento de produções agrícolas mais sustentáveis (BENCKISER, 2011). Áreas de monocultura, integradas a fragmentos de floresta nativa, podem reestabelecer a conectividade da paisagem, reduzindo o isolamento de habitats (SALLIOU; BARNAUD, 2017). No entanto, para eucaliptais, o sistema é adverso, principalmente para as espécies faunísticas, porém, o incremento do estado de conservação da vegetação, a nível estrutural, favorece serviços ecossistêmicos, como conservação do solo e da água (CHILES *et al.*, 2022). A detecção e monitoramento de formigas cortadeiras em sistemas agroflorestais brasileiros, sobretudo a sistemática, que é o método mais utilizado, é realizado por quantificação de ninhos (REIS *et al.*, 2010). São feitos transectos em linhas de plantio e identificação de áreas com maior índice de desfolhamento por formigas, além do monitoramento e aplicação de compostos para controle dessas formigas enquanto pragas agrícolas (ZANETTI *et al.*, 1999). Considerando os prejuízos econômicos e ambientais em função de tais práticas, é necessária cada vez mais, a busca por métodos de controle alternativos, tais como o controle biológico, o uso de extratos vegetais que atuem como inseticidas ou fungicidas. Priorizando dessa forma, uma produção com menor impacto possível sobre a biodiversidade local.

2.1. PLASTICIDADE FENOTÍPICA DE FORMIGAS CORTADEIRAS

Um dos pontos-chave na ecologia é a compreensão sobre a relação entre espécies e ambiente. Para isso, os especialistas buscam identificar quais são os fatores que estruturam as comunidades de formigas em diferentes habitats e escalas. Nesse contexto, há sugestão de que, conforme condições ambientais distintas, características morfológicas, comportamentais ou reprodutiva das espécies, podem mudar gradualmente (KEDDY, 1992) em função do ambiente, gerando características ou traços funcionais contrastantes (PETERS et al., 2016).

A plasticidade fenotípica, expressa pelos traços funcionais, é uma adaptação recorrente e necessária dos organismos às variações ambientais, que pode ser contínua ou descontínua e persistir ou não ao longo do ciclo de vida das espécies (WESTNEAT et al., 2019). Estudos envolvendo esse processo são fundamentais para a compreensão do papel desempenhado pela plasticidade no curso da evolução (DAVIS, 2016). Sendo relevantes para fornecer dados sobre como as espécies podem lidar com diversas mudanças ambientais e climáticas, naturais ou antrópicas (YELA; CALCATERRA; ARANDA-RICKERT, 2020).

Essas adaptações, no entanto, nem sempre podem ser benéficas, porque podem favorecer o estabelecimento de determinadas espécies, de forma a melhorar seu desempenho na disputa e aquisição de recursos, por exemplo, em função das características da área, tornando algumas espécies como pragas, gerando custos sob a produção e estabelecimento do cultivo (SIQUEIRA et al., 2017). As formigas cortadeiras forrageiam em amplas áreas durante a busca por alimento em trilhas, sendo esse comportamento bastante notório e conhecido em suas colônias (FARJI-BRENER et al., 2018).

Explicar sobre como a plasticidade promove diversificação de espécies, a partir da produção de fenótipos divergentes entre elas, ainda é um desafio para os ecologistas (TURCOTTE; LEVINE, 2016). No entanto, vários estudos têm buscado explicar como as condições do habitat podem atuar na seleção dos traços funcionais em insetos e têm mostrado fortes associações entre morfologia e o tipo de habitat (GIBB; PARR, 2013). Essas associações dão um indicativo de como as assembleias de formigas podem ser influenciadas pela complexidade da estrutura do habitat onde vivem (WINCK et al., 2017).

A espécie *A. sexdens sexdens* é um excelente modelo para avaliação dessas

alterações fenotípicas, devido à sua abundância nos ecossistemas, sobretudo em sistemas agrícolas, mas principalmente devido ao polimorfismo evidente e características comportamentais associadas, típico de uma espécie derivada e considerada altamente adaptada a ambientes modificados.

A morfometria têm sido uma ferramenta útil para estudos taxonômicos, uma vez que permite demonstrar diferenças entre espécies (NASCIMENTO; FERNANDES; SOUZA, 2020). Na mirmecologia, a morfometria em conjunto com a Taxonomia, agrega informações adicionais e são fundamentais na identificação de espécies, bem como no entendimento sobre as interações ambientais que mantêm (FEDOSEEVA *et al.*, 2011).

Com respeito a formigas cortadeiras, as ferramentas de morfologia e morfometria vêm ainda sendo pouco exploradas (MAAVARA, 1983; GRUTZMACHER *et al.*, 2007). O método mais utilizado para a identificação são as chaves taxonômicas, entretanto existem confusões taxonômicas entre essas formigas, resultantes da ausência de revisões mais atuais sobre a maioria das Attini, dificultando a identificação das espécies até mesmo para os taxonomistas (BRANDÃO; NUNES; SANHUDO, 2011).

Nesse contexto, os especialistas, têm utilizado métodos simples de medidas lineares de tamanho, como largura da cabeça, comprimento da cabeça, entre outras. Mas isso também pode ser usado para melhor compreender a função das espécies nas comunidades de formigas nos ecossistemas terrestres (YOSHIMURA; FISHER, 2012).

2.2. UTILIZAÇÃO DE FORMIGAS NOS ESTUDOS DE MODELAGEM

Os insetos constituem o maior grupo de organismos eucarióticos encontrados no planeta Terra (STORK, 2018). Muitas espécies ainda não foram descritas, sobretudo pelo pouco conhecimento sobre sua distribuição e ecologia, assim como a heterogeneidade espaço-temporal de sua ocorrência (SOLOMON, 1957). Os impactos humanos contribuem negativamente para redução significativa da biodiversidade, sobretudo de insetos. Por isso, muitos biólogos e ecólogos, principalmente, vem utilizando uma ampla gama de modelos que possibilitam compreender como as intervenções humanas interferem nessas perdas (CEPIC; BECHTOLD; WILFING, 2022).

As predições realizadas pelos modelos possibilitam que novas perguntas sejam

feitas sobre as dinâmicas populacionais, fenologia e interações bióticas dos insetos. Modelar esses processos é, portanto, um ato desafiador, visto que precisa ser submetido à validação experimental (VALINA *et al.*, 2019).

Segundo Goss *et al.* (1989), modelos preditivos podem ser uma ferramenta capazes de auxiliar na descrição do maior número possível de aspectos comportamentais em insetos, como formigas. Procurando simular ações com possíveis diferentes estratégias de sobrevivência em resposta à configuração em ambientes dinâmicos e de diferentes fitofisionomias.

A partir da combinação das respostas geradas nessas previsões, esclarece-se mais sobre o potencial das espécies, assim como sua distribuição no espaço-tempo, além de favorecer a tomada de decisões sobre a conservação das mesmas (ISAAC *et al.*, 2020). Em formigas, a maior parte dos modelos sobre comportamento presentes na literatura, utiliza equações diferenciais para analisar diferentes padrões de forrageamento, a partir da comunicação complexa entre elas (SUMPTER; PRATT, 2003).

CAPÍTULO 1 - Caracterização fenotípica de populações de *A. sexdens sexdens*, no Litoral norte e Agreste da Bahia.

RESUMO

A utilização de atributos funcionais em formigas tem funcionado como um mecanismo que pode explicar como formigas reagem a contextos ambientais diferenciados. Os traços funcionais, que são características morfológicas, fisiológicas e fenológicas, medidas em nível individual, podem influenciar no desempenho desses organismos no ambiente onde estão inseridos. O objetivo deste capítulo foi caracterizar fenotipicamente operárias de populações de *A. sexdens sexdens* (Linnaeus, 1758), em função da idade, das condições ecológicas e de manejo de eucaliptais do Litoral Norte e Agreste da Bahia. Através deste, foram realizadas análises morfométricas, análises de variância e análise de componentes principais (PCA), considerando traços funcionais, em 90 operárias coletadas dessas de *A. sexdens sexdens*, em ninhos de três áreas de eucaliptais com idades diferentes, localizadas no Litoral Norte e Agreste da Bahia, Brasil. Verificaram-se diferenças nas médias dos traços funcionais, tais como largura da cabeça (LC), comprimento de pernas (CP) e comprimento de pecíolo (PE) por idade de eucaliptal. O estudo mostrou que, suas estratégias de forrageio e demais hábitos funcionais podem ser alterados em função da idade da cultura e de suas diferentes formas de manejo.

Palavras-chave: Traços funcionais; Ecologia; Morfologia.

I. INTRODUÇÃO

A complexidade do hábitat, em conformidade com as características da vegetação, interfere nos processos que regem a assembleia de comunidades de insetos. As espécies persistem, dentro das comunidades, se suas características funcionais forem bem combinadas com as condições ambientais (NOOTEN *et al.*, 2019). Utilizar características funcionais para entender a dinâmica da comunidade de formigas é altamente promissor para a ecologia aplicada.

O polimorfismo é uma variação na sequência de DNA que pode afetar fenótipos individuais dentro de uma mesma população (SUKHUMSIRICHART, 2018), tendo relação com plasticidade fenotípica. Embora ambos possam se modificar em resposta a fatores ambientais, são considerados fenômenos distintos que, no entanto, associados, irão subsidiar informações que evidenciem os fatores que induzem a

produção de variantes fenotípicas divergentes (LEIMAR, 2007).

Essas respostas podem ou não ser adaptativas, de caráter morfológico, típicas de determinado estado fisiológico, comportamental ou pela combinação desses fatores em qualquer nível de organização. Apesar de os biólogos terem proposto a importância que esse fenômeno desempenha para a evolução das espécies, essa ideia ainda permanece controversa por mais de um século (SOMMER, 2020).

Uma das formas mais extremas de constatação de plasticidade existente na Biologia é o desenvolvimento de castas em insetos sociais. O tamanho, forma e o comportamento de rainhas e operárias costumam ser radicalmente diferentes. Muito embora os mecanismos subjacentes à diferenciação de castas não sejam completamente compreendidos, têm implicações nas funções exercidas por cada grupo dentro dessa organização estrutural (ANDRADE, 2019). Assim, uma abordagem funcional fornece uma base preditiva para compreender respostas, em diferentes níveis nas populações de formigas ao longo dos gradientes de alteração ambiental (POFF *et al.*, 2006).

Os insetos sociais, a exemplo das formigas, podem desenvolver mecanismos de resfriamento corporal evaporativo e conseqüentemente reduzir a temperatura do ninho e da ninhada, contribuindo para o sucesso e estabelecimento de suas colônias (WEST-EBERHARD, 2008). Sendo assim, sua plasticidade contribui para que as espécies consigam sobreviver sob estresse ambiental imprevisível (GONZÁLEZ, BUTKOVIC; SANTIAGO, 2020).

Portanto, é de fundamental importância que seja considerado o papel da plasticidade na tomada de decisões que busquem mitigar a perda de biodiversidade e a prestação de serviços ecossistêmicos prestados pelos insetos (FILAZZOLA; MATTER; MACLVOR, 2021), considerando que a natureza da seleção, assim como sua funcionalidade dentro das populações ainda são pouco documentadas.

Neste capítulo, o objetivo do estudo foi caracterizar fenotipicamente operárias de populações de *A. sexdens sexdens* em função da idade, das condições ecológicas e de manejo de eucaliptais, do Litoral Norte e Agreste da Bahia.

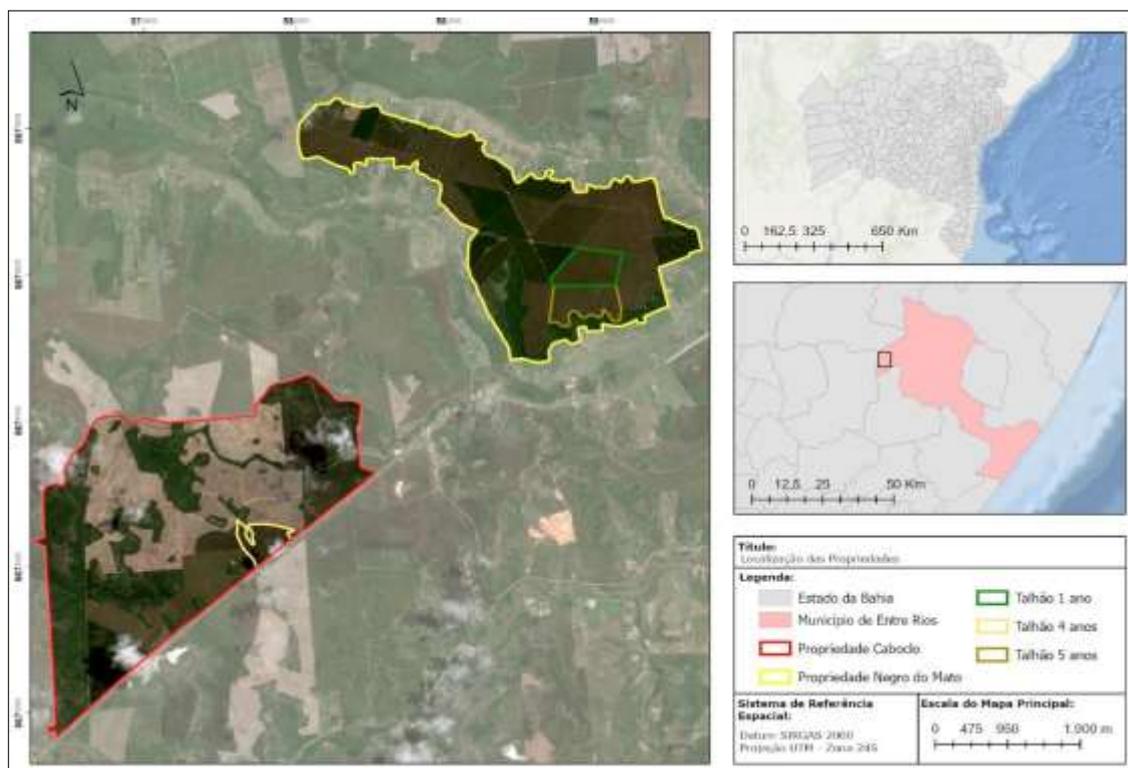
II. MATERIAL E MÉTODOS

a. ÁREAS DE ESTUDO

As coletas foram realizadas em propriedades rurais do Litoral Norte e Agreste da Bahia, Negro do Mato ($11^{\circ}58'3.140''S$ $38^{\circ}14'18.744''W$) e Caboclo ($11^{\circ}59'22.042''S$ $38^{\circ}16'4.398''W$), localizadas nos municípios de Entre Rios-BA e Alagoinhas-BA, respectivamente (Fig 1). Os eucaliptais em que foram feitas as coletas tinham três classes de idades (um, quatro e cinco anos).

Os eucaliptais de 1 ano atingem 5 metros de altura. Já os de 4 anos, em média 17,6 metros e os de 5 anos já próximos a época de colheita, 25 metros. O método de monitoramento é realizado pela empresa, após o plantio e nos nos 2 primeiros anos já começa a fase de controle, com adição de compostos e retirada do sub-bosque de forma constante, como prática do manejo. As plantações se encontram sobre solos argilosos e arenosos e o clima é classificado como úmido e subúmido, com pluviosidade média anual de 1.495,7mm; temperatura média anual de $23^{\circ}C$ e 80 % de umidade (Fig 2), segundo dados da Bracell.

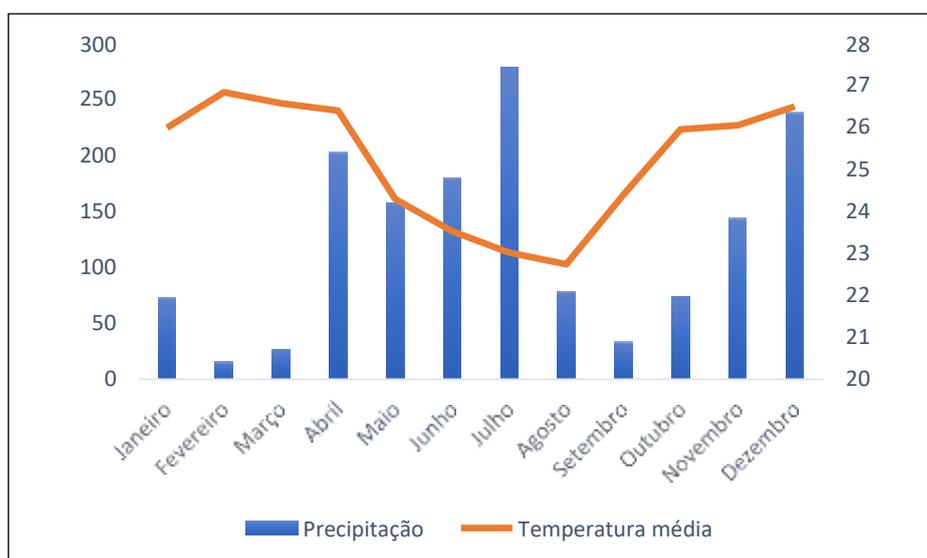
Figura 1. Mapa das áreas de estudo no Litoral Norte e Agreste da Bahia, setembro de 2021.



b. COLETA DE DADOS

As formigas foram provenientes de nove colônias, de *A. sexdens sexdens*, coletadas manualmente nos três talhões de *Eucalyptus* sp., sempre mantendo no mínimo vinte e cinco metros de distância entre os ninhos e cinquenta metros da borda, a fim de manter a interdependência entre os ninhos (BESTELMEYER *et al.*, 2000). A coleta foi realizada em setembro de 2021, devido a temperatura e climatização ideais para as atividades de forrageamento das colônias e o material foi depositado na Coleção de referência do Laboratório de Zoologia da Universidade do Estado da Bahia, em Alagoinhas-BA. Para as análises morfométricas, foram obtidas medidas de noventa espécimes de operárias, a partir da captura de imagens obtidas em câmera conectada ao estereomicroscópio. Foram aferidas características funcionais em nível individual, selecionando até dez indivíduos por amostra, por isso o número total de indivíduos atingiu noventa.

Figura 2. Temperatura e precipitação da estação da Reserva Quatis, próxima às áreas do estudo, Entre Rios, ano de 2021.

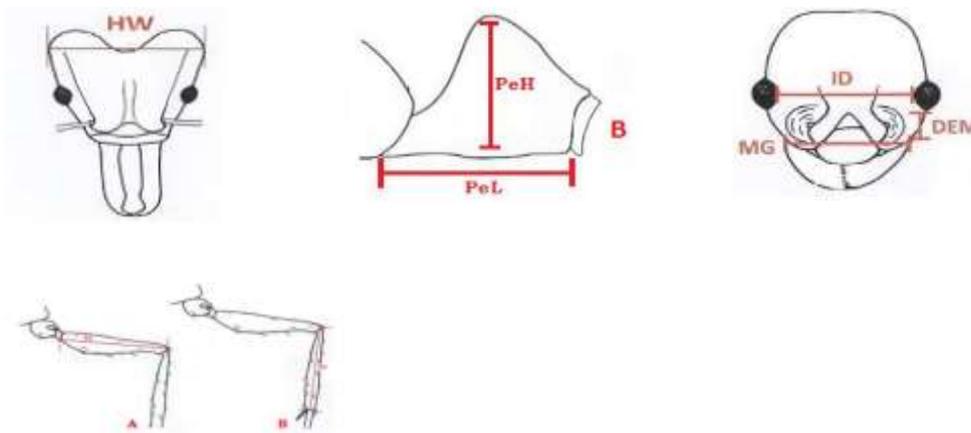


Fonte: (Santos-junior, 2022)

Quantificou-se cinco traços funcionais comumente utilizados em formigas, segundo a metodologia descrita por Silva e Brandão (2010), que muitas vezes têm relação com a especialização em espécies forrageiras e complexidade do habitat (GUILHERME *et al.*, 2019). Os traços funcionais utilizados foram: (Figura 3). 1)

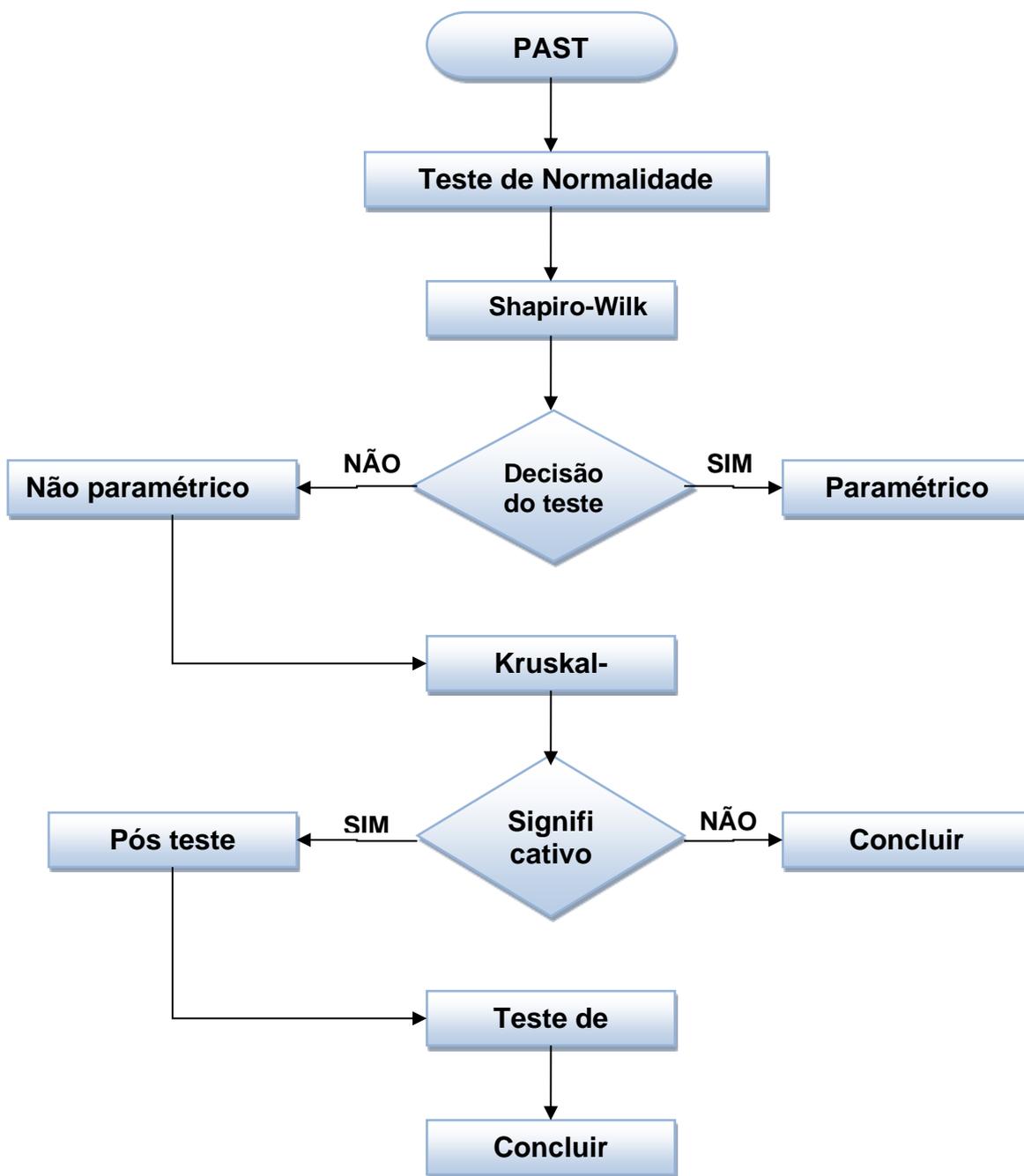
Distância interocular (DI) e; 2) distância entre o olho e a inserção da mandíbula (IM), ambos medidos em vista frontal; 3) largura máxima da cabeça ou cápsula cefálica (LC), incluindo os olhos quando os mesmos estão mais realçados na cabeça; 4) comprimento do pecíolo (PE) (não incluindo o pós-pecíolo, se presente, em vista lateral; a distância máxima entre os extremos anterior e posterior do pecíolo, excluindo os côndilos) e 5) comprimento das pernas (fêmur + tíbia) (CP).

Figura 3. Traços funcionais das formigas medidos no estudo



Para identificar a existência de plasticidade fenotípica, através das diferenças entre os traços funcionais medidos, em função das idades de eucalipto, foi adotada inicialmente a prova de Kruskal Wallis e posteriormente o teste de Dunn's (KRUSKAL & WALLIS, 1952). Foi realizada também a Análise multivariada de Componentes Principais. A prova não paramétrica de Kruskal- Wallis e o pós-teste de Dunn's, foram escolhidos em virtude da não distribuição aproximada dos dados de algumas variáveis. Já a Análise multivariada de Componentes Principais foi usada com o objetivo de resumir as diversas medidas (componentes) das variáveis em um conjunto menor de informações, sendo estas representadas em quase sua totalidade por apenas dois eixos. Testes estatísticos não paramétricos, como estes, avaliam diferenças entre três ou mais grupos amostrados independentes (MCKIGHT; NAJAB, 2010) sendo assim, dados que não seguem distribuição normal, conforme observado no estudo, são adequados para a utilização dos mesmos. As análises foram feitas PAST, versão 4.0 e no programa computacional R, versão 4.22.A (figura 4) mostra um modelo esquematizado das análises estatísticas realizadas.

Fig.4. Modelo de fluxograma das análises estatísticas realizadas no estudo.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendo em vista as características morfométricas dos espécimes avaliados, as médias das dimensões dos traços funcionais do tipo DI e IM não foram diferentes, ou seja, não apresentaram diferenças significativas para o estudo. Em eucaliptal de 4 anos, observou-se maior média quanto aos traços LC e PE. No entanto, a média do traço LC dessa idade não diferiu significativamente em relação ao de 5 anos de idade. Por último, quanto ao traço CP, a média foi maior em eucaliptais de 5 anos, não diferindo significativamente do de 4 anos (Tabela 1).

Tabela 1. Médias de traços funcionais (DI=..., IM=...) de *A. sexdens sexdens* de acordo com a idade de eucaliptais, nos municípios de Entre Rios-BA e Alagoinhas-BA, Brasil, setembro de 2021.

Idade (ano)	Traço funcional (Média ± Desvio Padrão)				
	DI	IM	LC	PE	CP
1	2,00±0,48a*	0,50±0,10a	2,26±0,57b	0,41±0,10b	6,41±1,73 b
4	2,11±0,40a	0,48±0,11a	2,64±0,60a	0,49±0,12 a	7,27±1,21ab
5	2,09±0,60a	0,49±0,30a	2,59±0,88ab	0,40±0,10b	7,30±1,85a

*Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas pelo teste de Dunn's a 95% de confiança ($p < 0,05$).

Nas figuras 3, 4 e 5 abaixo, está representada a variabilidade dos dados dos traços funcionais nas idades de 1, 4 e 5 anos, respectivamente. É possível verificar a partir do Eixo 1 (horizontal), que explica 97,45% dessa variabilidade, que o traço CP foi o que apresentou maior variabilidade.

Figura 5. Análise de Componentes Principais referente à variabilidade dos traços funcionais de *A. sexdens sexdens* em eucaliptais de 1 ano de idade, Litoral Norte e Agreste da Bahia, setembro de 2021.

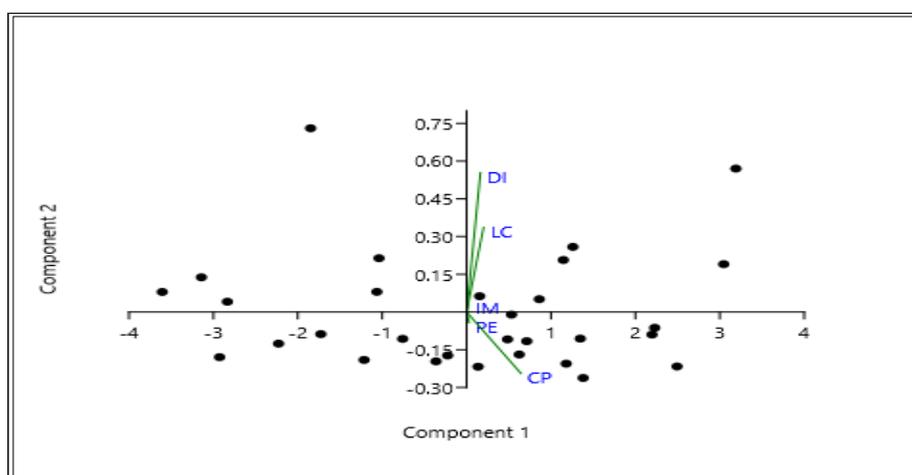


Figura 6. Análise de Componentes Principais referente à variabilidade dos traços funcionais de *A. sexdens sexdens* em eucaliptais de 4 anos de idade, Litoral Norte e Agreste da Bahia, setembro de 2021.

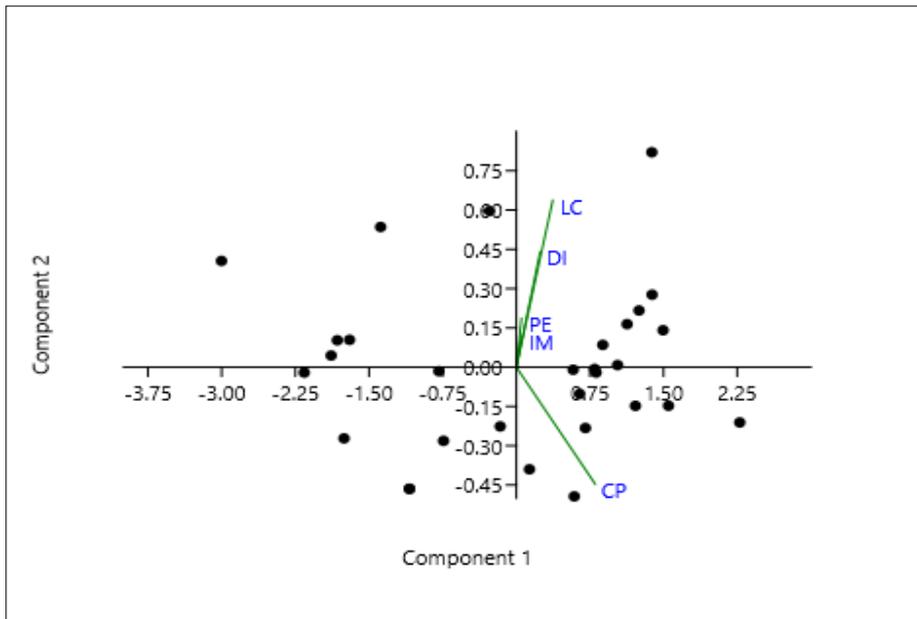
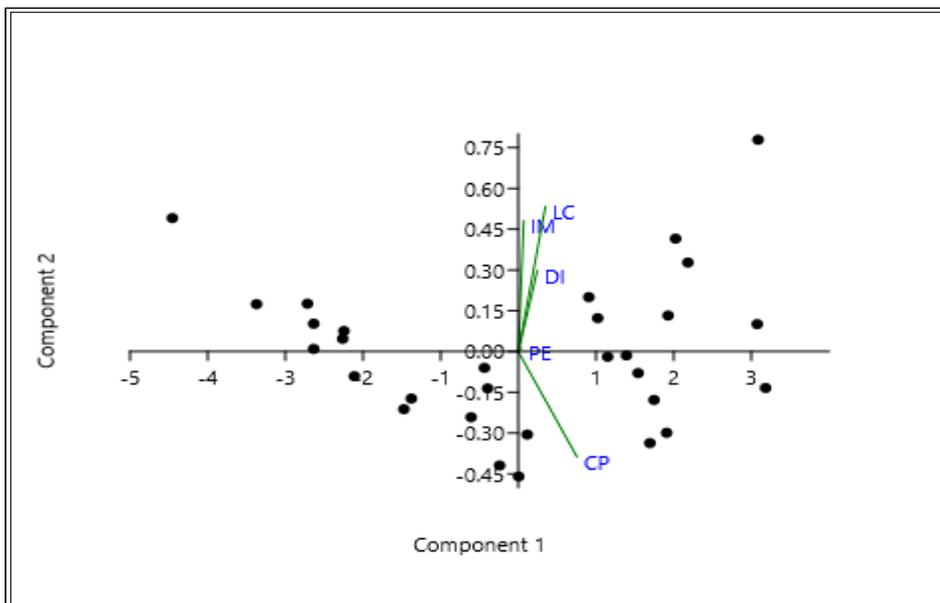


Figura 7. Análise de Componentes Principais referente à variabilidade dos traços funcionais de *A. sexdens sexdens* em eucaliptais de 5 anos de idade, Litoral Norte e Agreste da Bahia, setembro de 2021.



Na Tabela 2, é possível verificar, que de modo geral, o eixo de componente principal 1, que explica mais de 90% da variabilidade dos dados em todas as idades pesquisadas. O traço funcional (CP), foi o que apresentou maior variabilidade de dados nas três classes de idade de eucaliptais pesquisadas como visto a partir das figuras acima.

Tabela 2 . Percentual de explicação da variabilidade dos dados no eixo da primeira componente principal de acordo a idade dos eucaliptos do Litoral Norte e Agreste da Bahia, setembro de 2021.

Idade dos eucaliptos (anos)	Eixo – Componente principal	% de explicação da variação dos dados
1	1	97,45
4	1	94,20
5	1	97,03

As diferenças nos traços funcionais referentes à largura da cabeça, comprimento de pernas e comprimento do pecíolo evidenciam a existência de plasticidade fenotípica nessas populações. Essas modificações morfológicas, decorrem, sobretudo, das modificações da paisagem, principalmente em resposta às práticas de manejo silviculturais (ASSIS *et al.*, 2018; ZHANG *et al.* 2022). Reforçando que traços funcionais podem ser utilizados para prever como determinadas espécies se comportarão frente às alterações ambientais e mudanças climáticas, como utilização de estratégias diferenciadas de forrageio e busca por locais de nidificação, por exemplo (MOUILLOT *et al.*, 2013).

Os traços funcionais que mais apresentaram diferenças significativas e variações significativas a partir das análises foram os traços (LC) e (CP). Eles influenciam no desempenho dos indivíduos e são selecionadas pelas condições ambientais da área (VIOLLE *et al.* 2007), sendo importante para a distribuição das espécies de formigas.

Os resultados da análise de PCA, sugerem que, embora os traços funcionais apresentem mudanças morfológicas nas populações de *A. sexdens sexdens*, o traço que mais apresentou variabilidade entre os demais, em função das classes de idade de eucaliptais foi o comprimento de pernas das formigas. O tamanho do corpo em formigas, nesse sentido tem bastante relevância, considerando que é um dos atributos funcionais mais importantes, porque está relacionado fortemente com a fisiologia, ecologia e história de vida de um indivíduo (BIHN *et al.* 2010; SILVA; BRANDÃO 2010).

Comprimento de pernas maiores refletem em operárias também maiores, estando relacionados, portanto à capacidade da espécie de explorar diferentes recursos, pois quanto maior o indivíduo, maior o nível de eficiência energética (YATES *et al.* 2014). Uma abordagem funcional com foco em características individuais, esclarece quais estratégias de forrageamento estão melhor adaptadas a um determinado tipo de hábitat (GUILHERME *et al.*, 2019).

Para animais forrageadores e pequenos como formigas, a estrutura do substrato tem bastante influência sobre características anatômicas. A serrapilheira de florestas oferece mais recursos para formigas. Esse estrato é o mais diversos em florestas tropicais (SIOLI, 1991). Em seus trabalhos, Kaspari e Weiser (1989) sugeriram na hipótese do tamanho-grão que existe uma alometria positiva entre o comprimento do corpo e o comprimento de pernas de formigas. Essa hipótese explica que, formigas com pernas maiores tem mais facilidade de percorrer ambientes complexos durante o forrageamento, porém tal característica dificulta o acesso a pequenas passagens e interstícios de serrapilheira, favorecendo formigas com pernas relativamente mais curtas (GIBB *et al.* 2015).

Essa hipótese corrobora com os resultados do estudo, visto que o estrato composto por eucaliptais, pobre em serrapilheira, funciona como um filtro ambiental para espécies que nidificam e forrageiam estritamente na serrapilheira, ao mesmo tempo que favorece por exemplo formigas *Atta* e *Acrmoymex*, as cortadeiras, especialmente as de pernas maiores, por possuírem alta mobilidade (KASPARI; WEISER, 2000). A padronização e simplificação do meio, gerados a partir das técnicas silviculturais, criam um entrave à ocorrência de sucessão ecológica (RODRIGUES *et al.*, 2021). Tal simplificação pode ter implicado na redução ou destruição de habitats e fontes de recursos para outras espécies de formigas, em relação com a fitofisionomia, interferindo dessa forma nas estratégias de sobrevivência utilizadas por elas (MITCHELL *et al.*, 2015).

No entanto, estudos mostram que mecanismos de termorregulação são mais relevantes que a hipótese do tamanho-grão, sobretudo para resistência de operárias de *A. sexdens* contra dissecação em ambientes de altas temperaturas como eucaliptais (KASPARI; WEISER, 2002). Foi observado que as variações de temperatura tem sido um importante fator para essa seleção ambiental, pois o aumento da temperatura nas áreas de florestas nativas, em função da perda de cobertura vegetal

original, possibilitou diferenciações em estruturas morfológicas específicas, como aumento do tamanho das pernas nas operárias forrageadoras de *A. sexdens sexdens*. (BARLOW, 1994; CERDÁ; RETANA, 2000).

Nessa perspectiva, as cortadeiras vêm utilizando adaptações corporais para controle de temperatura do nível individual ao coletivo, uma vez que operárias que apresentaram pernas maiores se movimentam mais rápido e sua área de forrageio é mais ampla em relação a outras. Além disso, resfriam o corpo para resistir à altas temperaturas, sobretudo em eucaliptais, onde as temperaturas são influenciadas pelas barreiras de eucalipto (HURLBERT *et al.*, 2022).

Funcionalmente, essa característica morfológica é adaptativa por variadas razões, sobretudo para resfriamento, aumento da velocidade e diminuição do tempo de forrageio das formigas (SOMMER; WEHNERB, 2012; MARTELLO *et al.*, 2018). Este controle pode resultar em independência fisiológica das variações do ambiente e garantir temperaturas ótimas para o desempenho de suas atividades, permitindo o sucesso adaptativo das colônias. Isso é um fator relevante, pois investigar os efeitos da temperatura nos organismos e como estes reagem em níveis fisiológicos e comportamentais (DEUTSCH *et al.*, 2008) é necessário para criar novas alternativas de relação com os sistemas naturais e artificiais.

Quando uma espécie é amplamente distribuída, como no caso das formigas cortadeiras, apresenta populações adaptadas a diferentes locais (STERN; ROCHE 1974). Formigas do gênero *Atta* se reproduzem e se dispersam com muita facilidade, sobretudo pelas mudanças ecológicas geradas pela derrubada da mata nativa e a introdução de monoplantios de eucaliptos, que desfavorecem a presença de inimigos naturais e, conseqüentemente, reforçam o estabelecimento desse gênero como praga (VILELA, 1986).

Portanto, tendo as cortadeiras a capacidade de adaptação, tanto pela plasticidade fenotípica, como comportamental, como fica patente a partir desta afirmação, ela acaba dominando o meio modificado pela implementação de práticas silviculturais, em detrimento da supressão das formigas nativas. Os prejuízos provocados pelo ataque às árvores dependem da espécie da praga, do tipo de dano que causa e do valor comercial da madeira (BARBOSA *et al.*, 2022).

A hipótese da heterogeneidade de habitats mostra que os mais diversificados e complexos estruturalmente, fornecem mais nichos e recursos, suportando mais

espécies. Sendo que, respostas de formigas à fatores ambientais, revelam a necessidade cada vez maior de busca para investigar determinados efeitos sobre um táxon cosmopolita e fundamental como formigas (GIBB *et al.*, 2022).

Dessa forma, as espécies devem persistir nas comunidades locais onde determinadas características funcionais estejam de acordo às condições ambientais do hábitat onde estão inseridas (WEISCHER; PEARCE-DUVET; FEENER, 2012).Visto que, a ocorrência do gênero *Atta* é maior em local de perturbações antrópicas (CORRÊA *et al.*,2005) e os traços funcionais mostrados reforçam seu estabelecimento e persistência, e além disso, o custo para controle dessas formigas pode chegar a ser maior que o custo do manejo florestal, é necessário um reforço da importância do monitoramento e controle adequado dessas formigas enquanto praga.

.

CAPÍTULO 2 - Uso de Modelagem para simulação de traços funcionais em populações de *Atta sexdens sexdens* (Linnaeus,1758) (Formicidae: Hymenoptera) por idade de eucaliptais, no Litoral norte e Agreste da Bahia.

RESUMO

A modelagem vem se apresentando cada vez mais à ecologia, como uma alternativa viável e de confiabilidade para solucionar diversas problemáticas de diferentes ordens ecológicas e sobretudo para prever e explicar algumas respostas das espécies à mudanças ambientais adversas, assim como sua distribuição e abundância com base na análise de um conjunto de condições ambientais. O objetivo do estudo apresentado neste capítulo foi fazer simulação e modelagem de valores de traços funcionais em operárias de populações de *A. sexdens sexdens* (Linnaeus,1758) e correlacionar essas respostas às condições ecológicas e de manejo de eucaliptais do Litoral Norte e Agreste da Bahia. Foram realizadas simulações através do modelo de correlação e regressão linear, considerando traços funcionais de populações de *A. sexdens sexdens* para eucaliptais de idade não avaliadas. Os resultados mostram que os traços funcionais, tais como largura da cabeça (LC) e comprimento de pernas (CP) crescem em função da idade dos eucaliptais, o que oferece vantagens competitivas à espécie e reforça seu estabelecimento enquanto praga agrícola.

Palavras- chave: Abordagem funcional; Modelagem; Manejo.

I. INTRODUÇÃO

A utilização de modelos de variados tipos tem se mostrado fundamental para o campo científico, uma vez que, fornece informações relevantes para solucionar problemas de diversas ordens, inclusive biológicos (ANDERIES *et al.*, 2020). Há necessidade de pesquisas que intensifiquem a busca pelas respostas sobre quais fatores são determinantes para previsibilidades biológicas e se apoiem em características das espécies e qualidade dos dados que serão analisados; sendo não apenas um instrumento de previsão, como também um meio de orientação das pesquisas e formulação de hipóteses (GAIA *et al.*,2020). Os modelos preditivos de biodiversidade preveem, além de respostas das espécies à fatores ambientais adversos, a distribuição e abundância das mesmas com base na análise de um conjunto de condições ambientais (THUILER *et al.* .2013).

Embora uma abordagem funcional dos organismos em pesquisas ecológicas exista há muito tempo, pesquisadas nesse viés, com foco na modelagem, são mais recentes, possibilitando, dessa forma, o planejamento e avaliação do manejo utilizado para conservação das áreas naturais.

Segundo Marie et al. (2015), a quantidade de traços funcionais das espécies depende do táxon e do foco do estudo, para que possa representar o seu espaço funcional. No futuro, novos modelos poderão se beneficiar da incorporação da variabilidade de características intraespecíficas e das interações existentes entre as espécies, pois isso possibilitará a expansão do entedimento sobre a dinâmica das comunidades frente às mudanças globais (ZAKHAROVA;MEYER;SEIFAN,2019).

O objetivo de muitos estudos, dentro da Biologia, é identificar e analisar a existência de associação entre duas características quantitativas. Quando se constata essa variação entre ambas, diz-se que estão correlacionadas. A utilização do modelo de correlação e regressão advém da necessidade de estudos de determinados fenômenos nas ciências da natureza e também de compreender como esse modelo, proporciona previsões dentro e fora dos limites observados, quando possível (GAUDIO; ZANDONADE, 2001).Em se tratando de formigas, a maior parte dos modelos sobre comportamento presentes na literatura, utiliza equações diferenciais para analisar diferentes padrões de forrageamento, a partir da comunicação complexa entre elas (SUMPTER; PRATT, 2003).

Nessa perspectiva, por isso, é de suma importância também, a identificação de métricas aplicáveis através de ferramentas apropriadas que permitam avaliar, tanto os impactos, quanto a importância dessas previsões para os sistemas (YATES et al., 2018). A partir da combinação dessas respostas, esclarece-se mais sobre o potencial das espécies, assim como sua distribuição no espaço-tempo, além de favorecer a tomada de decisões sobre a conservação das mesmas (ISAAC et al., 2020).

Apesar de conhecermos a natureza dos mecanismos complexos que moldam as comunidades de formigas, prever como essas comunidades responderão às mudanças ambientais ainda é um desafio (TYLIANAKIS et al., 2008).Neste capítulo, apresentamos o modelo de correlação e regressão linear utilizado com o objetivo de modelar e simular valores de traços funcionais de formigas *A. sexdens sexdens* por classe de idade de eucaliptais.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

a. MODELO DE CORRELAÇÃO E REGRESSÃO LINEAR

O modelo de reta de regressão utilizado foi adotado como uma estratégia viável para análise de traços funcionais e correlação com o manejo das áreas, uma vez que foi usado para realizar previsões de valores em classes de idade de eucaliptais da mesma região, em condições similares, como os que foram avaliados. Além disso, em virtude da robustez dos dados, principalmente em função do número elevado de amostras. Ele é utilizado para avaliar o grau de relação entre duas variáveis e as funções de regressão, como equações, para demonstrar a relação existente entre dois conjuntos de valores, para estimar valores de uma variável Y, correspondente ao valor conhecido de uma variável X (VILAR; CARVALHO, 2003).

Outros modelos poderiam ser usados, como os não-paramétricos, mas provavelmente teriam o poder menor de detectar diferenças significativas. Uma vez que a equação de regressão linear é aplicada nas situações em que há razões para supor uma relação de causa-efeito. De acordo com Triola (1999), para quantificar a relação entre duas variáveis, utiliza-se o Coeficiente de Correlação Linear de Pearson (r). Este deve estar sempre compreendido entre -1 e +1, visto que valores próximos de -1 e +1 demonstram maior correlação e valores próximos de zero indicam ausência de correlação entre as duas variáveis x e y analisadas. O coeficiente de correlação linear de Pearson entre duas variáveis quantitativas, é dado por:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (1)$$

A equação gerada pelo modelo é dada por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (2)$$

em que β_0 representa a interseção, β_1 a inclinação da reta e ε o erro aleatório.

Para eucaliptais de 2 anos, os valores dos traços funcionais simulados obedecendo à reta de regressão proposta são: CP = 0,25 x Idade + 1,55 → LC = 0,25 x 2,0 + 1,55 → LC = 0,50 + 1,55 → CP = 2,05.

Assim como, para o de 6 anos, temos que: $CP = 0,25 \times Idade + 1,55 \rightarrow LC = 0,25 \times 6,0 + 1,55 \rightarrow LC = 0,50 + 1,55 \rightarrow CP = 3,05$. A tabela 1. mostra o teste de distribuição das variáveis resposta e análise dos resíduos.

Tabela 1. Dados referentes aos resíduos das regressões lineares cuja correlações foram significativas.

Variáveis	Soma dos resíduos	Teste W de Shapiro Wilk para distribuição normal dos resíduos	Erro padrão residual
LC X Idade	0,000571	0,00000002 ($P < 0,05$) Não distribuição aproximadamente normal	1,6743
CP X Idade	0,000118	0,00000005 ($P > 0,05$) Não distribuição normal	1,6658

A soma dos resíduos foram próximas a zero. Os modelos de regressão não apresentaram distribuição aproximadamente normal para os resíduos e os erros padrões residuais são aproximadamente iguais. Levando em consideração a análise dos resíduos, podemos concluir que os modelos não nulos de regressão linear obtidos não apresentam uma superioridade nítida, quanto ao modelo adequado, de um sobre o outro para as variáveis respostas (LC) e (CP) analisadas. A tabela 2. mostra o teste de modelo nulo das variáveis do estudo.

Tabela 2. Parâmetros relacionados a correlações lineares não significativas.

Variáveis	Coefficiente	Probabilidade de erro	Equação	Erro padrão residual estimado
DI X Área	r= 0,09	p=0,41	y=3,02+ 0,74x	1,72
IM X Área	r= -0,02	p=0,87	y=3,41-0,16x	1,72
PE X Área	r= 0,05	p=0,64	y=2,71+0,30x	1,72

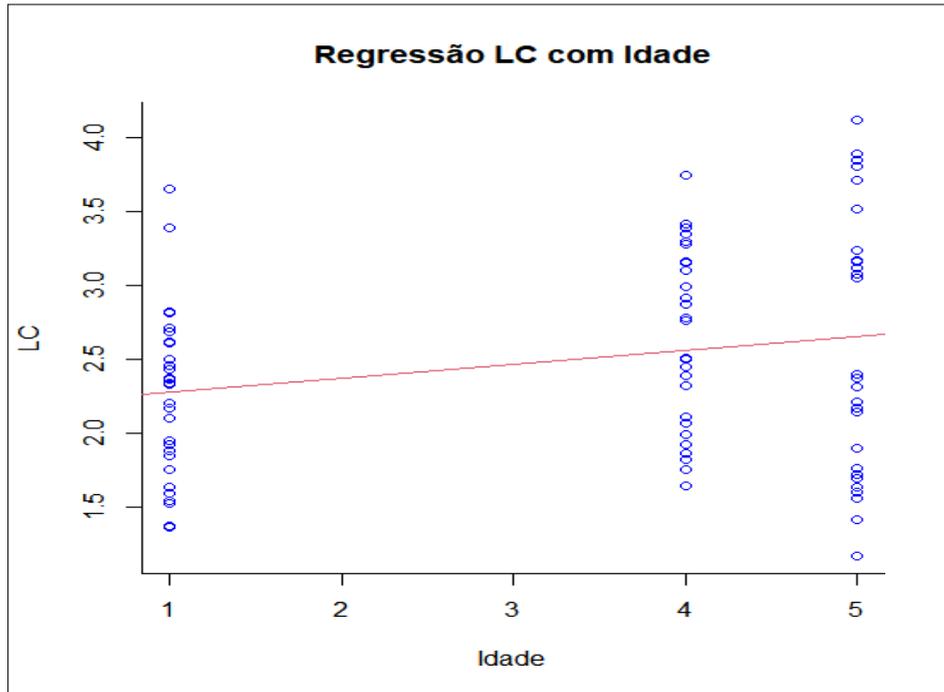
As correlações foram muito baixas, bem próximas a zero e todas muito distante de apresentar significância. Os erros padrões residuais foram semelhantes. De um modo geral, não podemos evidenciar a superioridade de um modelo, envolvendo as variáveis respostas, sobre outro. Essas correlações não significativas, nesse caso, não puderam evoluir para a reta de regressão. Essas análises serviram de referência para estabelecer a simulação dos traços funcionais (LC) e (CP), cuja as correlações foram significativas, para as classes de idade de eucaliptais de 2 e 6 anos, não avaliadas no estudo.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No estudo em questão, para outras classes de idade do eucaliptal, não foi possível prever os valores de traços funcionais das formigas, como se fez a simulação para as idades de 2 e 6 anos. Isso indica a atenção que deve ser dada à escolha do modelo matemático, estatístico ou computacional, quando se quer fazer previsões utilizando dados biológicos.

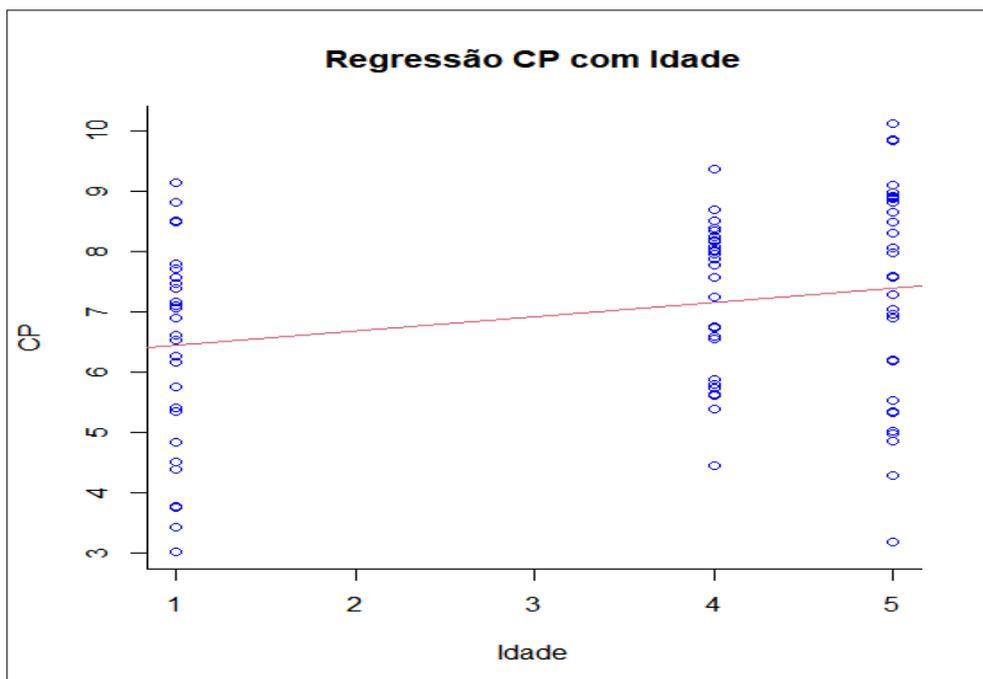
No que diz respeito ao traço funcional (LC), a equação de regressão $LC = 0,55 \times Idade + 1,97$; onde (LC) corresponde à variável dependente e, a classe de idade corresponde à variável independente. A correlação linear obtida a partir dessa equação foi considerada positiva, visto que o traço funcional (LC) varia conforme o aumento da classe de idade de eucaliptal (Figura 6).

Figura 6. Correlação e regressão linear para o traço funcional “LC” de *A. sexdens sexdens* de eucaliptais de diferentes idades do Litoral Norte e Agreste da Bahia, setembro de 2021.



Já para o traço funcional CP foi obtida a equação de regressão $CP = 0,25 \times Idade + 1,55$; Onde (CP) corresponde a variável dependente e, a classe de idade corresponde à variável independente (Figura 7). A correlação linear obtida a partir dessa equação também foi considerada positiva, visto que o traço funcional (CP) varia conforme o aumento da classe de idade de eucaliptal.

Figura 7. Correlação e regressão linear para o traço funcional “CP” de *A. sexdens sexdens* de eucaliptais de diferentes idades do Litoral Norte e Agreste da Bahia, setembro de 2021.



Através do modelo de reta de regressão, é possível prever resultados para as variáveis dependentes fora do intervalo de dados estudados, desde que não haja uma distância muito grande entre o valor selecionado e os valores extremos estudados (JACQUES-CALLEGARI,2003).

Foi verificado que os traços funcionais CP e LC crescem em função do aumento da idade dos eucaliptais, segundo o modelo. Isso pode ser explicado em resposta à modificação e estruturação da paisagem, onde as populações de *A. sexdens sexdens* permanecem como pragas agrícolas (MUELLER *et al.*, 2018). O aumento do traço funcional CP em função da idade de eucaliptal, nessa perspectiva, mostra também que além de vantagens de controle termorregulatórios, as estratégias de forrageamento dessas formigas podem adaptar-se à novas configurações em função do habitat.

Os ninhos de formigas normalmente são fixos e a coleta de recursos se dá através da técnica de forrageamento central, onde o material coletado pode ser transportado e armazenado. A partir de observações na área de estudo, foi possível verificar que as formigas forrageadoras se deslocaram a longas distâncias do ninho em busca de recursos alimentares, levando a supor que estavam sendo mais seletivas em relação à qualidade e quantidade do recurso (FORTI *et al.*,2000; DELLA-LUCIA *et al.*, 2011).

A largura da cápsula cefálica, medida neste trabalho, tem relação direta com esse desempenho. Constatou-se que as operárias forrageadoras máximas medidas no estudo possuíam, como consequência da presença de cápsulas maiores, mandíbulas maiores, o que provavelmente pode facilitar a atividade de corte das folha. Em espécies polimórficas como *Atta*, as castas determinam funções específicas dentro das colônias (DETRAIN, 2000).

Existe uma correlação positiva entre a massa da formiga e a massa da carga em *Atta cephalotes*, *Atta colombica* e *A. sexdens*. Quanto maior a largura da cápsula cefálica, maior será o peso da carga carregada em cada ninho (ENDRINGER *et al.*, 2012). Associado a outros fatores, isso implica na alocação eficiente de recursos, ou seja, quando as formigas acessam os recursos e a forma como utilizam.

Durante o forrageamento, as formigas cortadeiras tendem a escolher cargas menores e mais leves quando a trilha está muito congestionada, demonstrando um ajuste em relação a eficiência de biomassa incorporada pelo ninho e o gasto

energético individual de cada formiga (PEREYRA; FARJI-BRENER, 2020).

Sendo a *A. sexdens sexdens* capaz de grande adaptação ao ambiente estudado, como a silvicultura, é notória sua capacidade de promover danos aos talhões de eucaliptais, bem como nas demais culturas, caso ali presentes, sobretudo devido ao seu hábito alimentar de herbivoria generalista, tornando-se um problema de grande relevância (HOLLDOBER, 1990).

As saúvas causam danos às plantas de eucalipto durante todo o ciclo florestal. Estima-se que uma colônia adulta de *Atta* com mais de três anos de idade, necessita de 1 tonelada de folhas de eucalipto por ano, o que equivale a 86 árvores de eucalipto. Algumas espécies de *Atta* preferem cortar partes macias da planta, principalmente folhas jovens, devido à ausência de toxinas que agem como repelente químico às espécies (MENDES FILHO, 1981). Por isso é feito o constante monitoramento e controle dessa praga na cultura.

O Quadro 1 mostra a compilação de dados do manejo utilizado nos talhões onde o estudo foi desenvolvido, para controle de cortadeiras, que costuma ser adotado normalmente no manejo da cultura (MENDES FILHO et al., 2021).

Quadro 1. Resumo das recomendações para o manejo integrado de formigas cortadeiras em plantios de *Pinus* e *Eucalyptus* (FILHO et al., 2021).

Situação da área a ser plantada com <i>Pinus/Eucalyptus</i>	Atividades de combate às formigas cortadeiras em cada etapa do plantio							
	Pré-corte raso (15 dias antes)	Pré-plantio (30-15 dias antes)	Pós-plantio (3-30 dias)	Pós-plantio (60-90 dias)	Manutenção			
				Ano 1	Ano 2	Ano 3	Anual até o final do ciclo	
Área de implantação + ocorrência de saúvas	Não se aplica	Sistemático + localizado	Localizado	Localizado	Localizado	Localizado	Localizado	Localizado ao menos nas bordaduras
Área de reforma + plantio anterior de eucalipto/ ou de pinus com desbaste/ ou de pinus sem desbaste + ocorrência de saúvas	Localizado	Sistemático + localizado	Localizado	Localizado	Localizado	Localizado	Localizado	Localizado ao menos nas bordaduras

Fonte: Adaptado de Filho et al (2021)

Como pode se ver, a fase de implantação e reforma florestal abrange as atividades de limpeza e preparo do solo para o plantio da silvicultura. A reforma do plantio consiste no plantio de nova floresta após o encerramento do ciclo produtivo, no caso do eucalipto em torno de 14 a 21 anos. A manutenção do plantio corresponde

a todas as atividades de manejo da monocultura para que a floresta se desenvolva e alcance o ponto de colheita.

Essa fase, no caso do eucalipto gira em torno de seis a sete anos, quando encerra-se um ciclo. Todas essas fases têm impacto sobre às condições naturais da área, modificando-as, contribuindo para o estabelecimento de determinadas espécie como as do gênero *Atta*. Em comunidade de formigas, conforme ontogenia dos sistemas, as espécies vão sendo substituídas e a comunidade vai sendo modulada conforme sua evolução (CONCEIÇÃO *et al.*, 2015).

A manutenção dos sub-bosques seria uma estratégia interessante como uma tentativa para mitigação gradual desses danos, visto que, devido a perda de matéria orgânica e conseqüentemente acidez do solo, muitas espécies de plantas nativas passam a não ter condições de se desenvolver (RAMOS *et al.*, 2004). Os sub-bosques das áreas de estudo, segundo o plano de manejo utilizado pela empresa, são submetidos a sucessivas capinas ou roçadeiras mecânicas para sua retirada não chegando a 2 metros de altura.

Dessa forma, estudos mostram que, a diversidade taxonômica de espécies de formigas em ciclos de plantio onde são mantidos o sub-bosque e a vegetação, se aproxima de uma estrutura de mata nativa, permitindo a disponibilidade de recursos que subsidia um padrão de coexistência entre essas espécies, ofertando uma resposta negativa à plasticidade de *A. sexdens* (VINHA *et al.*, 2020)

No entanto, do ponto de vista econômico, aumentaria os custos da colheita florestal, já que podem dificultar ou impedir o trânsito de máquinas florestais nas entrelinhas (LEMESSA *et al.*, 2022). Outra alternativa viável e promissora é a implantação de sistemas agroflorestais aliado às práticas silviculturais. Esses sistemas tentam simular florestas e buscam diminuir os impactos sobre as áreas naturais, já que tem potencial de recuperação de solos degradados, regulação de microclimas e atração de polinizadores, entre muitos outros (GALINDO; ALMEIDA, 2021).

No entanto, o fenômeno da alelopatia ocasionado pelas práticas silviculturais deve ser considerado. Para um melhor aproveitamento do potencial que os plantios de mata nativa podem oferecer, é necessário o conhecimento sobre os plantios experimentais, seus potenciais para o desenvolvimento de programas de seleção genética, desenvolvimento de modelos de plantio e tecnologias de aproveitamento de dos multiprodutos da floresta (MENDONÇA *et al.*; 2017). Além disso, para o avanço

dessas técnicas são necessários, o apoio e colaboração de instituições públicas e privadas, sendo fundamental a construção e consolidação de bases de dados e informações sobre o desempenho das espécies florestais (PIOTTO et al.; 2018).

Outro fator associado ao manejo de eucaliptais é o uso de iscas do composto químico sulfuramida e deltametrina como método de controle sistemático dos formigueiros em todas as classes de idade, pois este tem impacto sob a diversidade taxonômica de outras espécies de formicídeos da serapilheira do eucaliptal (RAMOS et al., 2003). Segundo esses mesmos autores, isso implica na redução da competição interespecífica local, favorecendo de certa forma, o estabelecimento dessas formigas cortadeiras na disputa por nichos ecológicos (RAMOS et al., 2003). Esses agroquímicos impactam o ambiente justamente por alcançarem lugares não-alvo de sua aplicação. Segundo Mattos (2011), estima-se que apenas 1% do volume de compostos químicos aplicados atinja o alvo e o restante se disperse pelo meio.

A ausência de cobertura vegetal verificada nas áreas desse estudo, ocasionada pelas capinas repetitivas, também favorece as *Attini* por redução de espécies competidoras (DAGATTI; VARGAS, 2021). Fatores como chuva, pausa temporária no controle de manejo e/ou manejo inadequado, podem influenciar a atividade do ninho, tornando-os mais resistentes aos métodos de monitoramento e controle habituais (FILHO et al., 2021). Nessa perspectiva, avaliando os dados gerados nesse estudo, alguns dos traços funcionais que se alteram durante o ciclo de plantio tendem ao aumento e possuem uma forte relação com a permanência e sucesso adaptativo de colônias de *Atta* nos ambientes antropizados. Além dessas adaptações muitas vezes necessárias, fatores intrínsecos ao gênero *Atta* contribuem para tal sucesso. Considerando que as cortadeiras são excepcionais com relação à enorme eficiência no corte e transporte de folhas, e possuem características morfológicas e comportamentais que sustentam essa posição, o desenvolvimento de técnicas inovadoras para seu controle enquanto pragas, torna-se cada vez mais dificultado (GRANDEZA; MORETTI; ZANETTI, 1999).

Seus ninhos subterrâneos possuem extensas câmaras e galerias, o que torna difícil a disseminação de compostos químicos nas colônias, assim como sua dosagem ideal, utilizados no manejo (ZANETTI et al., 2003). Além disso, a comunicação química, sensibilidade olfativa, capacidade de aprendizagem, seletividade e produção de substâncias antibióticas, são fatores comportamentais que influenciam a defesa e agressividade das populações de *A. sexdens* (DELLA-LUCIA; MARINHO; PICANÇO,

2006).

A exploração dos métodos estatísticos usados até aqui, representa o potencial que essas análises podem alcançar. Esse tipo de abordagem pode prever a distribuição das estratégias adaptativas, a dinâmica e a estrutura da comunidade de formigas, possibilitando um melhor entendimento sobre os efeitos das perturbações ecológicas, sendo fundamental a escolha do modelo matemático. Os diversos impactos de origem antrópica mostrados no estudo, afetaram diretamente os serviços ecossistêmicos disponíveis na natureza, interferindo na dinâmica das espécies através do fortalecimento da praga agrícola, obtido pelas respostas morfológicas benéficas observadas em *A. sexdens sexdens*.

Essa abordagem funcional estudada através da modelagem matemática foi relevante para possibilitar o retrato das condições de manejo dos eucaliptais, tendo em vista que esses traços estão interligados à estratégias de forrageio das formigas, bem como seu desempenho por recursos. O modelo utilizado se mostrou eficaz, uma vez que, através dele pôde-se prever a evolução das condições do sistema, agregando à diversas áreas do conhecimento, tais como Matemática e Estatística, Zoologia e Ecologia Aplicada. A prevalência dos métodos de manejo, sem reavaliações temporárias, pode estar contribuindo para a recorrência da espécie como potencial praga dos plantios. Sugerindo reflexão com relação aos sistemas de plantio em que predominam apenas uma cultura. Como sugerem os princípios agroecológicos, a diversificação pode ser uma alternativa até mais exequível do que a manutenção de monoculturas vulneráveis a pragas de difícil controle.

3.CONCLUSÃO

A resposta morfológica expressa na plasticidade fenotípica nas operárias de populações de *A. sexdens sexdens* de eucaliptais do Litoral Norte e Agreste da Bahia foi perceptível e confirmada através das análises e simulações realizadas. Os traços funcionais selecionados, mostraram que, determinadas características podem ser benéficas e oferecem vantagens competitivas à espécie do estudo, em relação à outras espécies, principalmente na disputa e alocação de recursos. Ficando patente também, a relevância da escolha da ferramenta matemática correta para responder predições de ordem biológica como essa.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.L. BOESING et al. Effects of landscape structure on avian-mediated pest control services **Landscape Ecol**, 2017. Academic Press, 2019, Pages 211-246, ISBN 9780128117378, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809633-8.20789-9>.

ALVAREZ, C.A.; SENTELHAS, P.C.; MATTOS, E.M.; MIRANDA, A.C.; MORAES, W.B.; SILVA, P.H.M.; FURTADO, E.I.; STAPE, J.L. Climatic favourability zones for *Eucalyptus* rust in Brazil, **Forest Pathol**, vol. 47, n^o1, p.1-17, 2017.

ARAÚJO, M. S.; DELLA LÚCIA, T. M. C.; SOUZA, D. J. Estratégias alternativas de controle de formigas cortadeiras. **Bahia Agrícola**, Salvador, v. 6, n. 1, p. 71-74, nov. 2003.

ASSIS, D.S.; RAMOS, F.N.; B, ROJAS, K.E.B.; MAJER, J.D.; VILELA, M E.F. Agricultural matrices affect ground ant assemblage composition inside forest fragments **PLoS ONE**, vol.13, n^o. 5, , Article e0197697, 2018.

BARBOSA, L.; DOMINGUES, M.M.; WILCKEN, C .F.; ZANUNCIO, J. ; Chapter 11 - *Eucalyptus* pests, *Forest Microbiology*, Academic Press, vol. 3, p. 227-249, 2023. SBN 9780443186943. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18694-3.00020-1>. Acesso em: 28/11/2022.

BARLOW, N.D. Size. distributions of butterfly species and the effect of latitude on species sizes. **Oikos** 71, 326–332. <https://doi.org/10.2307/3546281>, 1994.

BENCKISER G, Ants and sustainable agriculture, in **Sustainable Agriculture**, vol. 2, ed. by E. Lichtfouse et al. Springer, Berlin, 2011.

BESTELMEYER, B. T. et al. Field techniques for the study, of ground-dwelling ants: an overview, description, and evaluation. p. 122-144. In: ALGOSTI, D.; et. al. *Ants: standard methods for measuring and monitoring biodiversity*. **Smithsonian Institution Press**, 2000.

BRANDÃO, C.R.F.; MAYHÉ-NUNES, A.J.; SANHUDO, C.E.D. Taxonomia e filogenia das formigas cortadeiras In: Della Lucia, T.M.C. **Formigas cortadeiras da Bioecologia ao Manejo**, Editora UFV, 2011.

BROUSSEAU, Pierre-Marc; GRAVEL, D; HANDA, I. On the development of a predictive functional trait approach for studying terrestrial arthropods. **Journal of Animal Ecology**, v. 87, n. 5, p. 1209-1220, 2018.

CALLEGARI-JACQUES, Sidia M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: ARTMED, 2003.

CERDÁ, X., RETANA, J. Alternative strategies by thermophilic ants to cope with extreme heat: individual versus colony level traits. **Oikos** 89, 155–163. <https://doi.org/>

10.1034/j.1600-0706.2000.890117.x,2000.

CHAPMAN, P. M.; TOBIAS, J. A.; EDWARDS, D. P. DAVIES, R. G. Contrasting Impacts of Land- Use Change on Phylogenetic and Functional Diversity of Tropical Forest Birds. **Journal of Applied Ecology** vol. 55: 1604–14, 2018.

CHILES, C. R.;MELO, R. S.;OTTO, M. S.;ZANINI, A. M. Z.; GODOY, W. A. C.; FERRAZ, S. F. De B. How can structure and composition of Eucalyptus plantation landscape reduce leaf-cutting ants?, **Forest Ecology and Management**,Volume 518,120250,ISSN 0378-1127,https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120250,2022.

CORRÊA, M. M. et al. Occurrence of *Atta cephalotes* (L.) (Hymenoptera: Formicidae) in Alagoas, Northeastern Brazil. **Neotropical Entomology**, v. 34, p. 695-698, 2005.

CURRIE, C. R.; SCOTT, J. A.; SUMMERBELL, R. C.; MALLOCH, D. Fungus-growing ants use antibiotic-producing bacteria to control garden parasites. **Nature**, London, vol. 398, p.701-704, 1999.

DA CONCEIÇÃO, E. S., DELABIE, J. H. C., DELLA LUCIA, T. M. C., COSTA-NETO, A. D. O.,;MAJER, J. D.. Structural changes in arboreal ant assemblages (Hymenoptera: Formicidae) in an age sequence of cocoa plantations in the south-east of Bahia, Brazil. **Austral Entomology**, vol. 54, n^o. 3, p. 315-324, 2015.

DAGATTI, C. V.; VARGAS, G. A. Foraging and nest maintenance activity of the leafcutter ant *Acromyrmex lobicornis* (hymenoptera: Formicidae) in an organic vineyard in the monte desert of mendoza, argentina. **Revista de la Sociedad Entomológica Argentina**, vol.80, n^o.4, p.120-128, 2021.

DAVIS, G.K.; WUND, M.A.; Developmental Plasticity and Phenotypic Evolution. **Encyclopedia of Evolutionary Biology**, vol.1, p.430-4379, 2016.

DE BRITTO, J.S et al. Use of alternatives to PFOS, its salts and PFOSF for the control of leaf-cutting ants *Atta* and *Acromyrmex*. **International Journal of Research in Environmental Studies**, 2016.

DELABIE, J.H.C.; ALVES, H.S.R.; STRENZEL, A.F.R.; CARMO, I.C.; NASCIMENTO, in: DELLA-LUCIA, T.M.C.(Ed). Distribuição das formigas cortadeiras dos gêneros *Acromyrmex* e *Atta* no Novo Mundo. **Formigas cortadeiras: da bioecologia ao manejo**, 1ªedição, Editora da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, p.80-81, 2011.

DELLA-LUCIA, T.M.C., FOLWER, H.G., ARAÚJO, M.S. Castas de formigas cortadeiras. In: Della-Lucia, T.M.C. (Ed.), *As Formigas Cortadeiras*. **Folha de Vicos**, p. 43–53, 1993.

DELLA LUCIA, T.M.C.;SOUZA, D.J. Importancia e história de vida das formigas-cortadeiras, in *Formigas-cortadeiras – da biologia ao manejo.*, ed. by Della Lucia T.M.C. **Editora UFV**, Brazil, vol. 1, p. 13–26, 2011.

- DELLA-LUCIA, T.M.C.; GANDRA,L.C.;GUEDES,R.N.C.Managing leaf-cutting ants: peculiarities,trends and challenges. **Pest Manag Sci** 2014; 70, p. 14–23, 2013.
- DETRAIN, C., TASSE, O., VERSAEN, M., PASTEELS, J.M.A field assessment of optimal foraging in ants: trail patterns and seed retrieval by the European harvester ant *Messor barbarus*. **Insectes Sociaux**, vol. 47, p.56–62, 2000.
- DEUTSCH, C. A. et al. Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, vol. 105, n^o. 18, p. 6668, 2008.
- DINIZ, E.A., BUENO, O.C. Evolution of Substrate Preparation Behaviors for Cultivation of Symbiotic Fungus in Attine Ants (Hymenoptera: Formicidae). **J Insect Behav**, vol. 23, p. 205–214, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10905-010-9207-y>,2022.
- ENDRINGER, F.B., VIANA-BAILEZ, A.M., BAILEZ, O.E., TEIXEIRA, M.C., LIMA, V.L.S. e SOUZA, J.H. Load capacity of workers of *Atta robusta* during foraging (Hymenoptera: Formicidae). **Sociobiology**, vol. 59. DOI: 10.13102/sociobiology.v59i3.551,2012.
- FARJI-BRENER, A.G., DALTON, M.C., BALZA, U. et al. Working in the rain? Why leaf-cutting ants stop foraging when it's raining. **Insect. Soc**, vol. 65, 233–239, 2018.
- FILAZZOLA, A.;MATTER, S F.; MACLVOR J. S.The direct and indirect effects of extreme climate events on insects, **Science of The Total Environment**, Volume 769,2021,145161,ISSN 0048-9697,.145161,2021.
- FEDOSEEVA, E. B., 2011. Morphometric characteristics of *Formica aquilonia* ants in monitoring of their settlements. **Entomological Review**, vol. 91, n^o. 2, 152-168,. 2022.
- FERNANDES.W.; GARCÍA, L A.; BARBOSA, N.M, EUGÊNIA K.L. B.et al. Biodiversity and ecosystem services in the Campo Rupestre: A road map for the sustainability of the hottest Brazilian biodiversity hotspot, **Perspectives in Ecology and Conservation**, vol. 18, n^o. 4, p. 213-222, ISSN 2530-0644, 2020.
- GALINDO, V.; T. B. DE ALMEIDA, V. SILVICULTURA E SEUS IMPACTOS. **Guia Universitário de Informações Ambientais**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 39–40, 2021.
- GAUDIO, A. C.;ZANDONADE, E. Proposição, validação e análise dos modelos que correlacionam estrutura química e atividade biológica. **Química Nova** [online]. vol. 24, n. 5, p. 658-671. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422001000500013>. >, p. 658-671,2001.
- GIBB, H.; PARR, C. L. “Does Structural Complexity Determine the Morphology of Assemblages? An Experimental Test on Three Continents.” **Plos One**, vol. 8, no. 5,

p. 1–7, 2013.

GONÇALVES, C. R. O genero *Acromyrmex* no Brasil (Hym. Formicidae). **Studia Entomologica**, vol. 4, p. 113-180, 1961.

GOSS, S., ARON, S., DENEUBOURG, J.L., PASTEELS, J.M.: Self-organized shortcuts in the Argentine ant. **Naturwissenschaften** 76, 579–581 1989.

GRANDEZA, L. A. O.;MORAES, J. C. ; ZANETTI, R. Estimativa do crescimento externo de ninhos de *Atta sexdens rubropilosa* Forel e *Atta laevigata* (F. Smith) (Hymenoptera: Formicidae) em áreas de reflorestamento com eucalipto. **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil** [online] vol. 28, 1999.

GUILHERME, D. R., SOUZA, J. L., FRANKLIN, E., PEQUENO, P. A., CHAGAS, A. C., BACCARO, F. B. Can environmental complexity predict functional trait composition of ground-dwelling ant assemblages? a test across the amazon basin. **41 Acta Oecologica**, vol. 99, 2019.

HOLLDOBER, B.; WILSON, E.O.**The ants**. Harvard University Press,Cambridge, 1990.
HONGYU, K; SANDANIELO, V. L. M; DE OLIVEIRA JUNIOR, Gr. J. Análise de componentes principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S Engineering and science**, v. 5, n. 1, p. 83-90, 2016.

HURLBERT, A. H., BALLANTYNE, F.; POWELL,. **Ecological Entomology**. vol. 33, nº. 1, p. 144–154. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2007.00962.x>,2008,/2022.

IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, Brasil, vol. 8 p. 2019.

JÚNIOR, E. J. B., ROCHA, E. C., JESUS, F. G., OLIVEIRA, M. A., ARAÚJO, 47 M. S. Dry forest fragmentation in brazilian cerrado 48 and its effects on communities of ground foraging ants. **49 Florida Entomologist**, vol. 103, nº. 3, p. 384-391, 2020.

JUVENAL,T.L.;MATTOS,R.LG.O setor florestal no Brasil e a importância do Reflorestamento. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, vol. 16, p. 3-30, 2002.

KASPARI, M.; WEISER, M.D. Ant activity along moisture gradients in a neotropical forest 1. **Biotropica**, v. 32, n. 4a, p. 703-711, 2000.

KATHERINE L. et al,Outstanding Challenges in the Transferability of Ecological Models,**Trends in Ecology & Evolution**,Volume 33, Issue 10,2018,Pages 790-802,ISSN 0169-5347,<https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.08.001>,2018.

KRUSKAL, William H.; WALLIS, W. Allen. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American statistical Association**, v. 47, n. 260, p. 583-621, 1952.

KEDDY, P. A. Assembly and response rules: two goals for predictive community ecology.**Journal of Vegetation Science**, vol. 3, nº. 2, p. 157–164, 1992.

LAZZARI, E., FERNANDES, J. V. M., CARVALHO, R. I. N.; JUNIOR, A. R. P. Natural Biocide for Combating Lest Cutting Ants/Biocida Natural para Combate de Formigas Cortadeiras. **Brazilian Journal of Technology**, 2(1), 513-522,2019.

LEIMAR, O. Environmental and genetic cues in the evolution of phenotypic polymorphism. **Evol Ecol** 23, 125–135, 2009.

LEMESSA, P. G., DE MATOS, M. F., JR., C. A. A., SERRÃO, J. E., & ZANUNCIO, J. C. An organic bait based on *Palicourea marcgravii* (rubiaceae) and *Tephrosia candida* (fabaceae) 53 does not control nests of *Atta laevigata* (hymenoptera: Formicidae) in *Eucalyptus* plantations. **Agr Forest Entomol**, vol. 55, n^o. 23(4), p. 512-517, 2021.

MAAVARA, V. Variability and differentiation in some closely related *Formica* species (Hymenoptera, Formicidae). (Russian with English summary) in K. Paaver, and T. Sutt, editors. *Kaasaegse darvinismi küsimusi* (Problems of contemporary Darwinism),. Academy of Sciences of the Estonian S.S.R., **Institute of Zoology and Botany**, Tartu State University, p. 54-78, 1983.

MAIRE, E., GRENOUILLET, G., BROSSE, S. ; VILLÉGER, S. How many dimensions are needed to accurately assess functional diversity? A pragmatic approach for assessing the quality of functional spaces. **Global Ecology and Biogeography**, 24(1):728-740,2015.

MARINHO, C. G. S.; DELLA LUCIA, T.M C; PICANÇO, M.C. Fatores que dificultam o controle das formigas cortadeiras. **Bahia Agrícola**, vol. 7, n^o. 2, p. 18-21, 2006.

MARTELLO, F., DE BELLO, F., MORINI, M., SILVA, R. R., DE SOUZA.; CAMPANA, D. R., RIBEIRO, M. C., CARMONA, C. P. 63 Homogenization and impoverishment of taxonomic and 64 functional diversity of ants in eucalyptus plantations. **Sci- 65 entific Reports**, 2018.

MATOS, A. T. D. **Poluição Ambiental - Impactos no Meio Físico**. Viçosa: UFV, p. 260, 2011.

MAYDIANNE C.B. ANDRADE, Chapter Five - Sexual selection and social context: Web-building spiders as emerging models for adaptive plasticity, **.Advances in the Study of Behavior, Academic Press,Volume 51,2015**.

MENDES FILHO, J. M. A. **Técnicas de combate à formiga**. Série Técnica IPEF, vol. 2, n^o. 7, p. 13-19, 1981.

MENDONÇA, G. C. DE ., CHICHORRO, J. F., MENDONÇA, A. R. DE., & GUIMARÃES, L. A. DE O. P. (2017). AVALIAÇÃO SILVICULTURAL DE DEZ ESPÉCIES NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA. **Ciência Florestal**, 27(1), 277–290.2017.

CEPIC, M.; BECHTOLD,U.;WILFING,H., ,Modelling human influences on biodiversity at a global scale–A human ecology perspective,**Ecological Modelling,Volume 465**,

,109854,ISSN 0303800,2022.

MITCHELL, M.G.E et al. Reframing landscape fragmentation's effects on ecosystem services. **Trends in ecology & evolution**, v. 30, n. 4, p. 190-198, 2015.

MCKIGHT, P.E.; NAJAB, J. Kruskal-wallis test. **The corsini encyclopedia of psychology**, p. 1-1, 2010.

MONTOYA-LERMA.J .; GIRALDO-ECHEVERRI,C., ARMBRECHT ,I.;FARJIBRENER, A.; ; CALLE,Z.: Leaf-cutting ants revisited: Towards rational management and control, **International Journal of Pest Management**, 58:3, 225-247,2012.

MOREAU, C. S., BELL, C. D., VILA, R., ARCHIBALD, S. B.; PIERCE, N. E. 67 Phylogeny of the ants: Diversification in the age of 68 angiosperms. **Science**, 312(5770), p. 101-104, 2006.

MOUILLOT, D.; GRAHAM, N. A. J.; VILLÉGER, S.; MASON, N. W. H. ; BELLWOOD, D. R. A Functional Approach Reveals Community Responses to Disturbances. **Trends in Ecology and Evolution**, vol. 30(10): p. 1–11, 2013.

MUELLER, U. G. *et al.* Phylogenetic patterns of ant–fungus associations indicate that farming strategies, not only a superior fungal cultivar, explain the ecological success of leafcutter ants. **Molecular ecology**, vol. 27, n^o. 10, p. 2414-2434, 2018.

NAGAMOTO, N.S.; GARCIA, M. G.; FORTI, L.C.; VERZA, S.S.; NORONHA, N.C.; RODELLA, R.A. Microscopic evidence supports the hypothesis of high cellulose degradation capacity the symbiotic fungus of leaf-cutting ants. **Journal of Biological Research**, Thessaloniki, vol.16, p.308-312, 2011.

NASCIMENTO, A. C., I. O. FERNANDES; J. L. P. SOUZA. Morfometria das operárias de Ponerinae (Hymenoptera: Formicidae) em áreas de floresta ombrófila amazônica. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, vol. 15, n^o.1, p.165-198, 2020..v15i1.248. Acesso em: 29/10/2022.

NICK J.B. ISAAC, MARTA A. JARZYNA, PETR KEIL, LEA I. DAMBLY, PHILIPP H. BOERSCH-SUPAN, ELLA BROWNING, STEPHEN N. FREEMAN, NICK GOLDING, GURUTZETA GUILLERA-ARROITA, PETER A. HENRYS, SUSAN JARVIS, JOSÉ LAHOZ-MONFORT, JÖRN PAGEL, OLIVER L. PESCOTT, RETO SCHMUCKI, EMILY G. SIMMONDS, ROBERT B. O'HARA, Data Integration for Large-Scale Models of Species Distributions, **Trends in Ecology & Evolution**, Volume 35, Issue 1,2020, Pages 56-67, ISSN 0169-5347, ,2019.

NOOTEN, S. et al. Habitat complexity affects functional traits and diversity of ant assemblages in urban green spaces (Hymenoptera: Formicidae). **Myrmecological News**, v. 29, 2019.

OSTER, G.F.; WILSON,E.O. *Castle and Ecology in the Social Insects.*(MPB-12).[S.I.]: **Princeton University Press**,1979.

PARR, C. L. et al.. Constraint and competition in assemblages: a cross-continental and modeling approach for ants. – Am. **Nat.** 165: 481–494,2005.

- PEREYRA, M.; FARJI-BRENER, A.G. Traffic restrictions for heavy vehicles: leafcutting ants avoid extra-large loads when the foraging flow is high. **Behavioural processes**, vol. 170, 2020.
- PEREZ-ALVAREZ, R., B. NAULT, AND K. POVEDA. Effectiveness of augmentative biological control depends on landscape context. **Scientific Reports** 9:8664, 2019.
- PETERS, M. K.; JASMIN, P.; INGOLF, S.D.; BERNHARD, H. "Morphological traits are linked to the cold performance and distribution of bees along elevational gradients. **Journal of biogeography**, vol. 43, n^o. 10, p. 2040-2049, 2016.
- PIOTTO, D. et al. Sistemas silviculturais com espécies nativas na Mata Atlântica : panorama, oportunidades e desafios. **Silvicultura e Tecnologia de espécies da Mata Atlântica**. Editora Rona, Belo Horizonte, p.9-19, 2018.
- POFF, N. LeRoy et al. Functional trait niches of North American lotic insects: trait-based ecological applications in light of phylogenetic relationships. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 25, n. 4, p. 730-755, 2006.
- RAMOS, L. D. S. et al . Impacto das capinas mecânica e química do sub-bosque de *Eucalyptus grandis* sobre a comunidade de formigas (Hymenoptera: Formicidae). **Revista Árvore** [online], vol. 28, n. 1, 2004. Disponível em: Acesso em: 15/10/2022.
- RAMOS, L., MARINHO, C., ZANETTI, R., DELABIE, J.; SCHLINDWEIN, M. Impacto de iscas formicidas granuladas sobre a mirmecofauna não-alvo em eucaliptais segundo duas formas de aplicação. **Neotropical Entomology**, vol. 32, n^o.2, p. 2003.
- REIS FILHO, W., NICKELE, M., PENTEADO, S., de QUEIROZ, E. C., ; de OLIVEIRA, E. B. Manejo-Formigas": ferramenta computacional para a tomada de decisão no manejo de formigas cortadeiras em plantios de Pinus e Eucalyptus. **Embrapa Florestas-Documents** (INFOTECA-E), 2021.
- RODRIGUES, G. S. D. S. C., ROSS, J. L. S., TEIXEIRA, G., SANTIAGO, O. R. P. L., ; Franco, C. **Eucalipto no Brasil**, 2021.
- GONZÁLEZ, R. ; R.; BUTKOVIĆ, a., Santiago F. El., Chapter Three - From foes to friends: Viral infections expand the limits of host phenotypic plasticity, *Advances in Virus Research*, **Academic Press**, Volume 106, ,Pages 85-121, ISSN 0065-3527, ISBN 9780128207543, 2020.
- SALLIOU, N.; BARNAUD, C. Landscape and biodiversity as new resources for agroecology? Insights from farmers' perspectives. **Ecology and society**. vol.22. n^o.16. 10.5751/ES-09249-220216, 2017.
- SCHUTZ, T.R.; BRADY, S.G. Major evolutionary transitions in ant agriculture. *National Academy of Sciences of the Usa* 105: 5435- 5440, 2008. **Sci. Rep.**, vol. 9, p. 8664, 2019.

SEI. Estatísticas dos municípios baianos. **Superintendência 76 de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia**, 2010.

SERGIO M. VALLINA, RICARDO MARTINEZ-GARCIA, SHERWOOD L. SMITH, JUAN A. BONACHELA, Models in Microbial Ecology, Editor(s): Thomas M. Schmidt, **Encyclopedia of Microbiology** (Fourth Edition), 2011.

SHIMAKURA, S. E. Interpretação do coeficiente de correlação. **LEG**, UFPR, 2006.

SILVA, R. R.; Brandão, C. R. FEcosystem-wide morphological structure of leaf-litterant communities along a tropical latitudinal gradient. **Plos One**, 9(3): 1-11, 2014.

SILVA, V. E.; NOGUEIRA, T. A. R.; ABREU-JUNIOR, C. H.; HE, Z.; BUZETTI, S.; LACLAU, J. P.; FILHO, M.C.M.T.; GRILI, E.; MURGIA, I. CAPRA, G.F. Influences of edaphoclimatic conditions on deep rooting and soil water availability in Brazilian *Eucalyptus* plantations. **Forest Ecology and Management**, vol.455, 2020.

SILVA, J.P.; VALADARES, L.; VIEIRA, M.E.L.; TESEO, S.; CHALINE, N. Tandem running by foraging *Pachycondyla striata* workers in field conditions vary in response to food type, food distance, and environmental conditions. **Current Zoology**, vol. 67, n^o. 5, p. 541–549, 2021.

SIQUEIRA, F.; RIBEINETO, TABARELLI, J.; ANDERSEN, M.; WIRTH, A.; LEAL, I. Leaf-cutting ant populations profit from human disturbances in tropical dry forest in Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, vol. 33, p. 337-344, 2017.

SOMMER, B.; PETER, L. H.; BEGER, M.; PANDOLFI, J. M. Trait-mediated environmental filtering drives assembly at biogeographic transition zones. **Ecology**, vol. 95, n^o. 4, p.1000-1009, 2014.

STEPHAN, J. G.; WIRTH, R.; LEAL, I. R. MEYER, S. T. Spatially heterogeneous nest-clearing behavior coincides with rain event in the leaf-cutting ant *Atta cephalotes* (L.) (Hymenoptera: Formicidae). **Neotropical Entomology**, vol. 44, p. 123-128, 2015.

STERN, R.; ROOME, E. **Genetics of forest ecosystems**. New York. 330p, 1974.

STOTZ, G. C. et al. Global trends in phenotypic plasticity of plants. **Ecology Letters**, v. 24, n. 10, p. 2267-2281, 2021.

SUMPTER, D. J. T.; PRATT, S. C. 2003. A modelling framework for understanding social insect foraging. **Behavioral Ecology and Sociobiology**, 53, 131–144.

SWANSON, A. C., SCHWENDENMANN, L., ALLEN, M. F., ARONSON, E. L., ARTAVIA-LEÓN, A., DIERICK, D.; PINTO-TOMÁS, A. A. Welcome to the *Atta* world: A framework for understanding the effects of leaf-cutter ants on ecosystem functions. **Functional Ecology**, vol. 33, n^o. 8, p.1386-1399, 2019.

THUILLER, W. et al. A road map for integrating eco-evolutionary processes into biodiversity models. **Ecology letters**, v. 16, p. 94-105, 2013.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos Científicos,

1999.

TURCOTTE, M.M.; LEVINE, J. M. Phenotypic Plasticity and Species Coexistence. **Trends in Ecology and Evolution**, vol. 31, n^o.10, 2016.

TYLIANAKIS, J.M., DIDHAM, R.K., BASCOMPTE, J. AND WARDLE, D.A., Global change and species interactions in terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 11: 1351-1363,2008.

VAHDATI, F B et al. Environmental factors—ecological species group relationships in the Surash lowland-mountain forests in northern Iran. **Nordic Journal of Botany**, v. 35, n. 2, p. 240-250, 2017.

VIANI, R.A.G.; MELLO, F.N.A.;CHI,I.E.BRANCALION,P.H.S. A new focus for ecological restoration: management of degraded forest remnants in fragmented landscapes. **GPL news**, vol.12, p.5-9, 2015.

VILAR, J. C.; CARVALHO, DE.C. M. *Biologia Geral e Experimental*. **Biologia geral e experimental**,2003.

VILELA, D.F. Status of leaf-cutting ant control in forest plantations in Brasil. In LOFGREN, C.S; VANDER MEER, R.C. Fire ants and leaf-cutting ants; Biology and management. Boulder, **Westview Press**, 1986. p.399-408.

VINHA, G. L.; CRUZ, R. A de La.; DELLA-LUCIA, T .M .C .; WILCKEN, C.; SILVA. F.; Sá, E.D.; LEMES, P.G.; ZANUNCIO, J.C. Leaf-cutting ants in commercial forest plantations of Brazil: biological aspects and control methods, *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, vol. 82, n^o. 2, p. 95-103, DOI: 10.2989/20702620 2019.1639596,2020.

VIOLLE, C.; NAVAS, M.L.; VILE, D.; KAZAKOU, E.; FORTUNEL, C. et al. Let the concept of trait be functional. **Oikos** vol.116, n^o. 5, p.882–892, 2007.

VITAL, Marcos Henrique Figueiredo. **Impacto ambiental de florestas de eucalipto**,2007.

WARD, Philip S. et al. The evolution of myrmicine ants: phylogeny y and biogeography of a hyperdiverse ant clade (hymenoptera: F ormicidae). **Systematic Entomology**, v. 40, n. 1, p. 61-81, 2015.

WEISER, M.D., KASPARI, M., 2006. Ecological morphospace of new world ants. **Ecol. Entomol.** 31, 131–142. <https://doi.org/10.1111/j.0307-6946.2006.00759.x>.

WENDLING, I. et al. **Produção de mudas de eucalipto**. In: OLIVEIRA, EB de; PINTO JUNIOR, JE (Ed.). *O eucalipto e a Embrapa: quatro décadas de pesquisa e desenvolvimento*. Brasília, DF: Embrapa, 2021.

WESTNEAT, D.F.; POTTS, L.J.; SASSER, K.L.; SHAFFER, J.D. Causes and Consequences of Phenotypic Plasticity in Complex Environments. **Trends in Ecology and Evolution**, Vol. 34, n^o. 6, 2019.

WIESCHER, P.T., PEARCE-DUVET, J.M.C.; Feener, D.H. Assembling an ant community: species functional traits reflect environmental filtering. **Oecologia** 169, 1063–1074. <https://doi.org/10.1007/s00442-012-2262-7>,2012.

WILSON, E.O. Caste and division of labor in leaf-cutter ants (Hymenoptera: Formicidae: *Atta*). I. The overall pattern in *A. sexdens*. **Behav Ecol Sociobiol**, vol.7, p. 143–156, 1980.

WINK, C., SOUZA, F. D., TONINI, H., ;MORALES, M. M. **Influência de fatores climáticos e espaciais na produção de serapilheira do eucalipto em sistemas integrados**, 2002.

YATES, M.L., ANDREW, N.R., BINNS, M., GIBB, H. Morphological traits: predictable responses to macrohabitats across a 300 km scale. **Peer J.** 2, e271. <https://doi.org/10.7717/peerj.271>,2014

YELA, N.I., CALCATERRA, L.A.; ARANDA-RICKERT, A: Coping with temperature extremes: thermal tolerance and behavioral plasticity in desert leaf-cutting ants (Hymenoptera: Formicidae) across an altitudinal gradient. **Myrmecological News** vol. 30, p.139-150, 2020.

YOSHIMURA, M.; FISHER, B.L. A revision of the Malagasy endemic genus *Adetomyrma* (Hymenoptera: Formicidae: Amblyoponinae). **Zootaxa** vol. 3341, p.1–31, 2012.

ZAKHAROVA, L.; MEYER, K. M.; SEIFAN, M. Trait-based modelling in ecology: a review of two decades of research. **Ecological Modelling**, v. 407, p. 108703, 2019.

ZANETTI, R. et al. Combate sistemático de formigas-cortadeiras com iscas granuladas, em eucaliptais com cultivo mínimo. **Revista Árvore**, vol. 27, p. 387-392, 2003.

ZANETTI, R.; ZANUNCIO, J.C.; VILELA, E.F.; LEITE, H.G.; DELLA LUCIA, T.M.C.; COUTO, L. Efeito da espécie de eucalipto e da vegetação nativa circundante sobre o custo de combate a saúveiros em eucaliptais. **Rev. Árvore**, vol. 23, 321–325, 1999.

ZHANG, X. et al. Data of ant community compositions and functional traits responding to land-use change at the local scale. **Biodiversity Data Journal**, v. 10, p. e85119, 2022.