

# AGROTRÓPICA

Volume 37, Número 1,2. Janeiro a Agosto de 2025



**Ministério da Agricultura e Pecuária**

---

© 2025 Ministério da Agricultura e Pecuária.

Permitida a reprodução sem fins lucrativos, parcial ou total, por qualquer meio, se citada a fonte e o sítio da Internet onde pode ser encontrado o original ([www.gov.br/agricultura](http://www.gov.br/agricultura)).

A responsabilidade pelos direitos autorais de textos e imagens desta obra é do(s) autor(es).

Ano 2025.

**Elaboração, distribuição, informações:**

Ministério da Agricultura e Pecuária

Secretaria de Desenvolvimento Rural

Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira

Centro de Pesquisas do Cacau

Endereço: Esplanada dos Ministérios, Bloco D – 7º andar, Sala 750

CEP: 70043-900 Brasília - DF

Tel.: (61) 3218-3720/3779

e-mail: [ceplac.diretoria@agro.gov.br](mailto:ceplac.diretoria@agro.gov.br)

Coordenação Editorial – Assessoria Especial de Comunicação Social

**Equipe técnica:**

Editor: Jacques Hubert Charles Delabie.

Coeditora: Karina Peres Gramacho

Editoração eletrônica: Jacqueline C. C. do Amaral e Selenê Cristina Badaró.

Capa: Franco Jesus de Andrade

---

Agrotrópica, v. 1, nº1 (1989)  
Ilhéus, BA, Brasil, CEPLAC/CEPEC, 1989

v.

Quadrimestral

Substitui “Revista Theobroma”

1. Agropecuária - Periódico.

CDD 630.5

**INFORMAÇÕES SOBRE A CAPA:** Foto da capa extraída dos artigo: "Formigas predadoras do gênero *Leptogenys* Roger, 1861 (Formicidae, Ponerinae) da Bahia, Brasil, preservadas na Coleção do Laboratório de Mirmecologia do Centro de Pesquisa do Cacau" da autoria de M. Pauletti Filho, E. A. dos Santos Neto, D. Cubillos, J. H. C. Delabie.

**INFORMATION ON THE COVER:** Cover picture taken from the paper: "Predatory ants of the genus *Leptogenys* Roger, 1861 (Formicidae, Ponerinae) from Bahia, Brazil, preserved in the "Coleção do Laboratório de Mirmecologia do Centro de Pesquisas do Cacau" by M. Pauletti Filho, E. A. dos Santos Neto, D. Cubillos, J. H. C. Delabie.

**AGROTRÓPICA é indexada em:**

AGRINDEX; THE BRITISH LIBRARY; CAB (i.e. Horticultural Abstracts, Review of Plant Pathology, Forestry Abstracts); AGROBASE; Agricultural and Environment for Developing regions (TROPAG); ULRICH'S INTERNATIONAL PERIODICALS DIRECTORY (Abstract on Tropical Agriculture, Agricultural Engineering Abstracts, Agroforestry Abstracts, Bibliography of Agriculture, Biological Abstracts, Chemical Abstracts, Exerp Medical, Food Science & Technology Abstracts, Indice Agricola de America Latina y el Caribe, Nutrition Abstracts, Protozool. Abstracts, Review of Applied Entomology, Seed Abstracts, Tropical Oil Seeds Abstracts).



**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E  
PECUÁRIA**

**CEPLAC - Comissão Executiva do  
Plano da Lavoura Cacaueira**

**AGROTRÓPICA.** Publicação quadrimestral do Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC)/CEPLAC.

**Comitê Editorial:**

CEPLAC: Paulo César Lima Marrocos; Uilson Vanderlei Lopes, Karina Peres Gramacho.

UESC: George Andrade Sodré; Quintino Reis de Araújo, Raúl René Valle Melendez

UEFS: Evandro do Nascimento Silva; Elmo Borges Azevedo Koch.

UFSB: Andrei Caique Pires Nunes; Luiz Fernando Silva Magnago.

EMBRAPA: Rodrigo Souza Santos

**Editor:** Jacques Hubert Charles Delabie.

**Coeditora:** Karina Peres Gramacho.

**Editoração eletrônica:** Jacqueline C. C. do Amaral e Selenê Cristina Badaró.

**Capa:** Franco Jesus de Andrade.

**Endereço para correspondência:**

**AGROTRÓPICA**, Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC), 45600-970, Itabuna, Bahia, Brasil.

**E-mail:** r-agrotropica.ceplac@agro.gov.br

# AGROTRÓPICA

V. 37

Janeiro - Agosto

2025

N.1,2

## CONTEÚDO

03 Instruções aos autores (Versão 2023/24).

### ARTIGOS

07 O sistema agroflorestal com foco em água (SAAF): uma nova abordagem para a conservação produtiva e a segurança hídrica. **D. O. Campos, D. E. Lobão, L. P. Santos Filho, J. H. C. Delabie.**

21 Morfometria cefálica da formiga predadora *Ectatomma muticum* (Hymenoptera: Formicidae) em diferentes condições ecológicas. **V. C. de Sirqueira, V. K. D. de A. Santos, A. O. Costa Neto, E. S. da Conceição.**

33 Formigas predadoras do gênero *Leptogenys* Roger, 1861 (Formicidae, Ponerinae) da Bahia, Brasil, preservadas na Coleção do Laboratório de Mirmecologia do Centro de Pesquisa do Cacau (em inglês). **M. Pauletti Filho, E. A. dos Santos Neto, D. Cubillos, J. H. C. Delabie.**

49 Análise espacial das áreas de cultivos de cacau no mundo: Uma revisão sistemática e síntese bibliográfica (em inglês). **C. A. do Amaral, A. M. dos Santos, C. F. A. da Silva.**

61 Hospedabilidade de cultivares de cana-de-açúcar e sorgo sacarino a *Pratylenchus zeae* Graham (Nematoda). **R. S. Santos, P. R. P. Martinelli, C. R. Lima.**

67 Homologias entre cloroplasto, membrana plasmática, plastídio, envelope cloroplasto putativo [*Theobroma cacao*] e a proteína PEG10 [*Homo sapiens*]: base para o desenvolvimento de fármacos? (em inglês). **L. J. de O. Andrade, G. C. M. de Oliveira, L. C. M. de Oliveira, L. M. de Oliveira, E. D. M. N. Luz.**

77 Avaliação de técnicas não destrutivas para qualificação da superfície de madeira usinada. **A. L. M. Rocha, K. de J. Reis, M. R. N. Lima, J. A. Santos, A. M. F. Reis, A. A. Cardoso Júnior, A. C. de A. Andrade.**

### NOTA CIENTÍFICA

85 Novos registros de formigas (Hymenoptera: Formicidae) para a região do semiárido do estado de Alagoas, Nordeste do Brasil (em inglês). **J. P. Cavalcanti, A. Suênia-Bastos, J. D. de Mélo, S. Cajé, D. Cubillos, A. D. de Medeiros, E. P. Gualberto.**

### 91 NOTA DO EDITOR

Volume 37, páginas 1 - 92, publicado em dezembro de 2025.



**MINISTRY OF AGRICULTURE AND  
LIVESTOCK**

**CEPLAC - Executive Commission of  
the Cacao Agriculture Plan**

**AGROTRÓPICA.** Published every four months by the Cocoa Research Center (CEPEC)/CEPLAC.

**Editorial Committee:**

CEPLAC: Paulo César Lima Marrocos; Uilson Vanderlei Lopes, Karina Peres Gramacho.

UESC: George Andrade Sodré; Quintino Reis de Araújo; Raúl René Valle Melendez

UEFS: Evandro do Nascimento Silva; Elmo Borges Azevedo Koch.

UFSB: Andrei Caique Pires Nunes; Luiz Fernando Silva Magnago.

EMBRAPA: Rodrigo Souza Santos.

**Editors:** Jacques Hubert Charles Delabie.

**Coeditor:** Karina Peres Gramacho.

**Desktop publish:** Jacqueline C.C. do Amaral and Selenê Cristina Badaró.

**Cover:** Franco Jesus de Andrade.

**Address for correspondence:**

**AGROTRÓPICA**, Cocoa Research Center (CEPEC), 45600-970, Itabuna, Bahia, Brazil.

**E-mail:** r-agrotropica.ceplac@agro.gov.br

# AGROTRÓPICA

V.37

January - August

2025

N.1,2

## CONTENTS

03 Guidelines to authors.

### ARTICLES

07 The Water-Focused Agroforestry System (WFAS): A new approach to productive conservation and water security (in Portuguese). **D. O. Campos, D. E. Lobão, L. P. Santos Filho, J. H. C. Delabie.**

21 Cephalic morphometry of the predatory ant *Ectatomma muticum* (Hymenoptera: Formicidae) in different ecological conditions (in Portuguese). **V. C. de Sirqueira, V. K. D. de A. Santos, A. O. Costa Neto, E. S. da Conceição.**

33 Predatory ants of the genus *Leptogenys* Roger, 1861 (Formicidae, Ponerinae) from Bahia, Brazil, preserved in the "Coleção do Laboratório de Mirmecologia do Centro de Pesquisas do Cacau". **M. Pauletti Filho, E. A. dos Santos Neto, D. Cubillos, J. H. C. Delabie.**

49 Spatial Analysis of cocoa cultivation areas worldwide: A systematic review and bibliometric synthesis. **C. A. do Amaral, A. M. dos Santos, C. F. A. da Silva.**

61 Hospitability of sugarcane and sweet sorghum cultivars to *Pratylenchus zaei* Graham (Nematoda) (in Portuguese). **R. S. Santos, P. R. P. Martinelli, C. R. Lima.**

67 Homologies between Chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative [*Theobroma cacao*] and PEG10 protein [*Homo sapiens*]: a starting point for delivering drugs? **L. J. de O. Andrade, G. C. M. de Oliveira, L. C. M. de Oliveira, L. M. de Oliveira, E. D. M. N. Luz.**

77 Evaluation of non-destructive techniques for qualifying the surface of machined wood (in Portuguese). **A. L. M. Rocha, K. de J. Reis, M. R. N. Lima, J. A. Santos, A. M. F. Reis, A. A. Cardoso Júnior, A. C. de A. Andrade.**

### SCIENTIFIC NOTE

85 New ant records (Hymenoptera: Formicidae) for the Semi-arid region of the State of Alagoas, Northeastern Brazil. **J. P. Cavalcanti, A. Suênia-Bastos, J. D. de Mélo, S. Cajé, D. Cubillos, A. D. de Medeiros, E. P. Gualberto.**

91 EDITOR'S NOTE

# INSTRUÇÕES AOS AUTORES (Versão 2023/24)

## 1. CONDIÇÕES PARA SUBMISSÃO

Como parte do processo de submissão, os autores devem verificar a conformidade de sua submissão com todos os itens a seguir. Submissões que não seguem essas diretrizes serão devolvidas aos autores.

- A submissão é original e não foi submetida a outro periódico (em caso contrário, uma justificativa deve ser enviada ao Editor).
- Toda a pesquisa atende às diretrizes éticas, incluindo a adesão aos requisitos legais do país onde a pesquisa foi realizada.
- O arquivo está em formato editável de arquivo de documento Microsoft Word, LibreOffice ou RTF (.doc ou .docx).
- Figuras e tabelas devem ser inseridas no final do manuscrito, ou podem ser enviadas em arquivos em separado. Para a edição definitiva, as imagens deverão ser enviadas com uma resolução mínima de 300 dpi. Eventualmente, os autores podem ser solicitados a enviar o arquivo com uma figura de melhor qualidade.
- O texto segue os padrões de estilo e requisitos bibliográficos descritos em Diretrizes para Autores.
- A submissão deve ser acompanhada por uma lista de quatro pareceristas potenciais cujos nomes serão informados em “Comentários ao Editor”, como segue: nomes completos, afiliação institucional, país, endereço de e-mail e três palavras-chave que melhor descrevem suas áreas de atuação. Pelo menos dois destes devem estar atuando em instituições e/ou estados diferentes do país de origem do autor da submissão.

## 2. DIRETRIZES PARA AUTORES

Agrotropica é uma publicação gratuita para os autores e de acesso aberto para leitores. A revista aceita colaborações em português, espanhol e inglês para as seguintes seções: Artigos Científicos, Notas Científicas, Revisões Bibliográficas, Artigos de opinião, Fichas de Atualização em Fitopatologia e Entomologia.

### 2.1. Categorias dos Trabalhos

#### Artigos Científicos

Artigos originais e relevantes, escrito em português, inglês ou espanhol. A ordenação do artigo deve ser feita da seguinte forma:

- Artigos em português - Título, Autoria, Endereços institucionais e eletrônicos, Resumo, Palavras-chave, Título em inglês, Resumo em inglês, Palavras-chave em inglês, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão, Agradecimentos, Referências, Tabelas, Figuras.
  - Papers in English - Title, authorship, institutional and electronic addresses, Abstract, Keywords, Title in Portuguese, Abstract in Portuguese, Keywords in Portuguese, Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, Acknowledgements, References, Tables, Figures.
  - Artículos en español - Título, Autoría, Direcciones institucionales y electrónicas, Resumen, Palabras clave; Título en inglés, Resumen en inglés, Palabras clave en inglés, Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión, Agradecimientos, Referencias, Cuadros, Figuras.
- **O título, o resumo e os termos para indexação** devem ser vertidos fielmente para o inglês, no caso de artigos redigidos em português e espanhol, e para o português, no caso de artigos redigidos em inglês;
- **Resultados e Discussão** podem ser fundidos numa única seção, caso necessário (Resultados e Discussão). No entanto, a forma separada é recomendada.



### **Notas Científicas**

As notas têm o mesmo rigor dos trabalhos científicos e o mesmo valor como publicação:

- Notas científicas são comunicações breves, cuja publicação imediata é justificada por se tratar de fato inédito de importância, mas com volume insuficiente para constituir um artigo científico completo;
- As normas de submissão da Nota Científica são as mesmas do Artigo Científico, exceto nos seguintes casos:
  - Resumo com 200 palavras, no máximo.
  - Deve ter oito páginas, no máximo, incluindo-se tabelas e figuras.

### **Revisões Bibliográficas**

Artigos relevantes e de interesse da revista ou a convite do Editor. Os artigos de revisão compilam, analisam e discutem informações já publicadas. As normas de submissão de uma revisão bibliográfica são as mesmas do Artigo Científico, sem a necessidade que seja estruturada em Material e Métodos, Resultados ou Discussão. A organização e eventuais subtítulos do texto principal com eventuais subtítulos ficam a cargo do(s) autor(es).

### **Artigos de opinião**

O texto deve apresentar pesquisas e ou controvérsias em Agricultura tropical e/ou discorrer sobre reflexões, polêmicas e temas relevantes e atuais apresentando pesquisas sobre o tema tratado. O conteúdo deve apresentar uma perspectiva pessoal e original sobre tópicos em Agricultura Tropical. A iniciativa pode ser dos autores ou a convite do Editor da Revista Agrotrópica.

### **Fichas de Atualização em Fitopatologia e Entomologia**

Fichas a serem inseridas na parte final de cada volume, no formato de duas páginas da revista. Devem incluir título, autor(es) e texto, apresentando, de forma concisa o estado da arte e os avanços (ou publicações) recentes sobre o organismo em pauta, com um curto resumo em inglês e, na segunda página, ilustrações, tais como fotografias da doença ou do inseto, mapa de distribuição e outras informações convenientes, referências bibliográficas.

## **3. INSTRUÇÕES GERAIS AOS AUTORES**

**3.1.** O original da submissão deve ser apresentado em português, inglês ou espanhol, em formato A4 (21,0 x 29,7 cm), fonte Times New Roman, corpo 12, espaço 1,5 (exceto Resumo e Abstract, em espaço simples), digitado em Word/Windows. O artigo editável deverá ser encaminhado à Comissão Editorial da revista por meio eletrônico ([agrotrop.agrotrop@gmail.com](mailto:agrotrop.agrotrop@gmail.com)). Na primeira página deverão constar o endereço postal completo e o endereço eletrônico do(s) autores(s). As figuras e tabelas podem ser inseridas no final do manuscrito, ou podem ser enviadas em arquivos em separado.

**3.2.** Os artigos científicos e notas científicas devem conter introdução que destaque os antecedentes, a importância do tópico e revisão de literatura. Nos materiais e métodos devem-se descrever os materiais e métodos usados, incluindo informações sobre localização, época, clima, solo etc., bem como nomes científicos se possível completo de plantas, animais, patógenos etc., o desenho experimental e recursos de análise estatística empregada. Os resultados e discussão poderão ser escritos juntos ou separados e devem incluir tabelas com suas respectivas análises estatísticas e figuras com suas respectivas análises estatísticas (se pertinente). Na parte final da Discussão deve apresentar as conclusões do trabalho através de frases curtas, com o verbo no presente do indicativo, sem comentários adicionais e derivados dos objetivos do artigo.

- 3.3. Título** - Deve ser conciso e expressar com exatidão o conteúdo do trabalho, com no máximo 15 palavras.
- 3.4. Resumo e Abstract** - Devem conter no máximo 300 palavras;  
O Abstract deve ser a tradução fiel do resumo em inglês.
- 3.5. Palavras chave** - Devem ser no máximo de seis, sem estar contidas no título.
- 3.6.** Os nomes científicos devem ser apresentados em itálico e ter o autor citado na primeira vez que forem citados. O nome de gênero será abreviado a partir da segunda chamada.
- 3.9.** Recomenda-se que a licença de coleta (ou outra licença exigida durante o estudo) seja citada na metodologia, assim como deve-se declarar onde o material de estudo encontra-se tombado, quando for o caso.
- 3.10. Introdução** - Deverá ser concisa e conter revisão estritamente necessária à introdução do tema e suporte para a metodologia e discussão. A introdução deve ser finalizada informando com clareza os objetivos do trabalho.
- 3.11. Material e Métodos** - Poderá ser apresentado de forma descritiva contínua ou com subitens, de forma a permitir ao leitor a compreensão e reprodução da metodologia citada com auxílio ou não de citações bibliográficas.
- 3.12. Resultados, Discussão** - De acordo com o formato escolhido, estas partes devem ser apresentadas de forma clara, com auxílio de tabelas, gráficos e figuras, de modo a não deixar dúvidas ao leitor, quanto à autenticidade dos resultados, pontos de vistas discutidos e conclusões sugeridas.
- 3.13. Agradecimentos** - As pessoas, instituições e empresas que contribuíram na realização do trabalho deverão ser mencionadas no final do texto, antes do item Referências Bibliográficas.
- 3.14. Unidades de medida** - Usar exclusivamente o Sistema Internacional (S.I.).
- 3.15. Figuras (gráficos, desenhos, mapas)** - devem ser apresentadas com qualidade que permita boa reprodução gráfica; devem ter 8,2 cm ou 17 cm de largura; as fotografias devem ser escaneadas com 300 dpi e gravadas em arquivo TIF ou similares. As figuras podem ser apresentadas ao final do manuscrito ou separadas do texto.
- 3.16. As tabelas** - devem ser apresentadas em Word ou Excel e os dados digitados em Times New Roman.
- 3.17.** Ao longo do texto, as figuras e tabelas devem ser citadas das seguintes formas: “Fig. 1” e “Tabela 1”
- 3.18. Citações:** No texto as referências devem ser citadas da seguinte forma: Silva (1990) ou (Silva, 1990).
- 3.19.** Quando for o caso, abreviaturas não usuais serão apresentadas como nota de rodapé. As citações bibliográficas do texto devem ser pelo sobrenome do(s) autor(es) seguido do ano. Quando houver mais de três autores, somente o sobrenome do primeiro será citado, seguido da expressão “et al.”
- 3.20.** Todas as ilustrações devem ser preferencialmente originais. Em caso da reutilização de um figura já publicada, o(s) autor(es) deve(m) se assegurar da autorização de uso pelo proprietário dos direitos autorais da publicação original ou de uma licença “Creative Commons”.

## **A NORMALIZAÇÃO DAS REFERÊNCIAS DEVE SEGUIR OS EXEMPLOS ABAIXO:**

### **Artigo científico:**

REIS, E. L. 1996. Métodos de aplicação e fracionamento de fertilizantes no desenvolvimento de seringueira (*Hevea brasiliensis*) no Sul da Bahia. *Agrotrópica*, 8(2): 39-44.

MEBS, D., POGODA, W., TOENNES, S.W. 2018. Loss of skin alkaloids in poison toads, *Melanophryniscus klappenbachi* (Anura: Bufonidae) when fed alkaloid-free diet. *Toxicon* 150: 267–269.

**Artigo científico com DOI:**

RAHARDJO, Y. P. et al., 2022. Impact of controlled fermentation on the volatile aroma of roasted cocoa. Brazilian Journal of Food Technology. 25: e2020270. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.27020>

**Livro completo:**

BALL, D. M.; HOVELAND, C. S.; LACEFIELD, G. D. 1991. Southern forages. Atlanta, PPI/FAR. 256p.

**Capítulo de livro:**

ENTWISTLE, P. F. 1987. Insects and cocoa. In Wood, G. A. R.; Lass, R. A. Cocoa. 4ed. London, Longman. pp. 366-443.

**Dissertação de mestrado, Tese de doutorado e Monografia Seriada** (a revista não encoraja o uso desse tipo de referência. No entanto, será aceita quando o documento for a única fonte de informação disponível sobre determinado assunto):

ROCHA, C. M. F. 1994. Efeito do nitrogênio na longevidade da folha de cacau (*Theobroma cacao* L.). Dissertação de Mestrado. Salvador, UFBA. 31p.

ROHDE, G. M. 2003. Economia ecológica da emissão antropogênica de CO<sub>2</sub> - uma abordagem filosófica-científica sobre a efetuação humana alopoiética da terra em escala planetária. Tese de Doutorado. Porto Alegre, UFRGS/IB. 235p.

TREVIZAN, S. D. P.; ELOY, A. L. S. 1995. Nível alimentar da população rural da Região Cacaueira da Bahia. Ilhéus, CEPLAC/CEPEC. Boletim Técnico nº 180. 19p.

**4. OUTRAS INFORMAÇÕES IMPORTANTES**

**4.1** A publicação dos trabalhos depende de pareceres favoráveis da assessoria científica “Ad hoc” e da aprovação do Comitê Editorial da Agrotrópica.

**4.2.** Os autores receberão cópias do seu trabalho publicado, por e-mail.

**4.3.** Os trabalhos não aprovados para publicação serão devolvidos ao autor.

**4.4.** Transferência de direitos autorais: Os autores concordam com a transferência dos direitos de publicação do referido artigo para a revista. A reprodução de artigos somente é permitida com a citação da fonte e é proibido o uso comercial das informações.

**4.5.** As questões e problemas não previstos na presente norma serão dirimidos pelo Comitê Editorial.

**4.6.** Solicitações de informações complementares devem ser dirigidas a:

Email: [agrotrop.agrotrop@gmail.com](mailto:agrotrop.agrotrop@gmail.com)



## O SISTEMA AGROFLORESTAL COM FOCO EM ÁGUA (SAAF): UMA NOVA ABORDAGEM PARA A CONSERVAÇÃO PRODUTIVA E A SEGURANÇA HÍDRICA

*Danusa Oliveira Campos<sup>1</sup>, Dan Érico Lobão<sup>2,3</sup>, Lindolfo Pereira Santos Filho<sup>2</sup>  
Jacques Hubert Charles Delabie<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup>Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), CFCAF - Ilhéus, BA, Brasil. danusa.campos@ufsb.edu.br. <sup>2</sup>Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), CEPEC - Km 22, rodovia Ilhéus-Itabuna (BR-415), Ilhéus, BA, Brasil. lobao.dan@gmail.com; lindolfoceplac@gmail.com; jacques.delabie@gmail.com. <sup>3</sup>Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), DCAA. Ilhéus, BA, Brasil.

*“A água doce é essencial para a maioria das atividades humanas, além de ser vital para a saúde dos ecossistemas e da biodiversidade. Contudo, o acesso facilitado a esse recurso, em quantidade e qualidade adequadas, é restrito e vem diminuindo rapidamente, em decorrência da superdemanda, da má gestão e dos efeitos da tripla crise: mudanças climáticas, perda de biodiversidade e poluição. Nesse contexto, a humanidade se depara com riscos crescentes de escassez hídrica, o que torna imperativa a adoção de uma abordagem inovadora para a gestão e o reuso desse recurso tão valioso” (United Nations Environment Programme, 2024).*

A crise hídrica representa um dos maiores desafios contemporâneos para a segurança alimentar e a resiliência climática. Apesar de seu papel crucial, a gestão da água é frequentemente negligenciada em sistemas agroflorestais (SAFs), que se focam principalmente na fixação de carbono e na biodiversidade. Essa lacuna se torna evidente na Região Cacaueira do Sul da Bahia, onde a degradação das paisagens resultou em uma redução da capacidade ambiental de produção de água (CAPA), afetando drasticamente a produtividade agrícola. Este estudo propõe uma mudança de paradigma: o Sistema Agroflorestal com Foco em Água (SAAF), uma evolução dos SAF tradicionais. O SAAF reposiciona a produção de água como um objetivo superior, integrando-a ao planejamento e à gestão do sistema. Utilizando a metodologia de zoneamento geohidroecológico e dados de campo da Região Cacaueira, o trabalho demonstra que o sistema SAAF permite mapear zonas críticas, quantificar a capacidade hídrica e otimizar práticas de manejo para restaurar as funções hidrológicas da paisagem. Os resultados indicam que uma política pública voltada à conservação produtiva é capaz de garantir a segurança hídrica, promover a resiliência do bioma e assegurar a sustentabilidade da produção agrícola. A proposta do SAAF alinha-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU e posiciona a Região Cacaueira como um laboratório de soluções para desafios globais de escassez hídrica.

**Palavras-chave:** Produção de água, sistema agroflorestal, crise hídrica.

**The Water-Focused Agroforestry System (WFAS): A new approach to productive conservation and water security.** The water crisis represents one of the greatest contemporary challenges for food security and climate resilience. Despite its crucial role, water management is often neglected in agroforestry systems (AFSSs), which focus primarily on carbon sequestration and biodiversity. This gap is evident in the Southern Bahia Cocoa Region, where landscape degradation has resulted in a reduction in environmental water production capacity (EWPC), drastically affecting agricultural productivity. This study proposes a paradigm shift: the Water-Focused Agroforestry System (WFAS), an evolution of traditional AFSSs. The WFS repositions water production as a paramount objective, integrating it into system planning and management. Using geohydroecological zoning methodology and field data from the Cocoa Region, the study demonstrates that the WFAS system allows for mapping critical zones, quantifying water capacity, and optimizing management practices to restore the landscape's hydrological functions. The results indicate that a public policy focused on productive conservation can guarantee water security, promote the biome's resilience, and ensure the sustainability of agricultural production. The WFAS proposal aligns with the UN Sustainable Development Goals (SDGs) and positions the Cocoa Region as a laboratory for solutions to global water scarcity challenges.

**Key words:** Water production, agroforestry system, water crisis.

## Introdução

Entre os diversos serviços ecossistêmicos, as florestas tropicais desempenham um papel crucial no equilíbrio do clima global, especialmente na regulação dos recursos hídricos (Sun et al., 2023). No sentido amplo, incluem-se os sistemas agroflorestais (SAF) com destaque para o SAF cabruca (RIO+20 – 9ª Premissa do Governo Brasileiro). A conversão de áreas florestais para diferentes usos do solo é um dos principais fatores que alteram a dinâmica das paisagens, resultando em modificações significativas nas condições climáticas, hidrológicas, biogeoquímicas e ecológicas, com um especial impacto na conservação da biodiversidade (Schielein; Börner, 2018; Zhao et al., 2024). Estudos desenvolvidos em diversos países das regiões tropicais do planeta (Wagner et al., 2019; Souza et al., 2022; Dutra; Elmiro; Ribeiro, 2022) destacaram a interferência direta dessa conversão nos serviços ecossistêmicos, evidenciando suas relevantes implicações nos aspectos socioeconômicos.

A reconfiguração do uso e cobertura do solo, intensificada nos dias atuais, tem levado à conversão de vastas áreas de florestas em todo o mundo para fins agrícolas, de urbanização e outros usos (Ellison, 2012; Li et al., 2017; López-ramírez, 2020; Hou et al., 2023). Essa alteração na cobertura de vegetação nativa impacta negativamente de maneira direta os serviços ecossistêmicos hidrológicos, uma vez que modifica processos fundamentais do ciclo da água, como a evapotranspiração, a infiltração de água no solo, os regimes de escoamento e a recarga dos aquíferos e canais fluviais, por meio das complexas relações entre os diferentes elementos que compõem a paisagem (Santos, 2007; Souza, 2020; Dutra; Elmiro; Ribeiro, 2022; Santos; Campos, 2024).

O termo paisagem, entendida como um sistema dinâmico moldado pela interação entre elementos naturais e ações humanas (Mateo, 2000), é a unidade-chave para analisar a produção de água. Sua estrutura - definida pelo uso do solo, cobertura vegetal, relevo, geologia, solo, clima e processos hidrológicos - determina diretamente a capacidade de um território de garantir segurança hídrica e sustentabilidade agroflorestral. No entanto, ao examinar propostas de SAFs e projetos de recomposição florestal, percebe-se uma lacuna crítica: a gestão da água é apenas

referenciada, mas não recebe a devida importância como elemento central. Essa abordagem, que prioriza a fixação de carbono e a biodiversidade de forma isolada, não garantirá, em longo prazo, a resiliência necessária, já que a saúde de um ecossistema depende intrinsecamente de um lençol freático saudável, algo que tem sido comprometido por um manejo inadequado do solo.

A água doce, vital para a vida e as atividades humanas, é um recurso cada vez mais escasso devido à “superdemanda, má gestão e aos efeitos da tripla crise: mudanças climáticas, perda de biodiversidade e poluição” (United Nations Environment Programme, 2024). Essa realidade é grave no Brasil: 37,8% da água tratada na zona urbana é perdida (Tunes, 2025), problema igualmente crítico, ou até maior, na zona rural. Diante dessa falha de planejamento, este estudo tem por objetivo apresentar uma base técnico-científica robusta para uma mudança de paradigma: colocar o elemento água como o componente primordial no planejamento de recuperação de áreas e, de forma pioneira, em sistemas agroflorestais.

Em resposta a essa urgência mundial e nacional, este estudo instrumentaliza o SAF com a água, evoluindo-o para o SAAF. Ao integrar a gestão hídrica como elemento central, o SAAF oferece, sem desmerecer a produtividade, uma nova abordagem para a sustentabilidade e a resiliência hídrica em paisagens produtivas, refletindo o conceito de que a conservação produtiva também é medida pela sua capacidade de gerar serviços hidrológicos essenciais.

## A Produção de Água como Base para Sistemas Integrados

A água deve ser compreendida não apenas como um insumo, mas como o resultado de um planejamento sistêmico, onde a “produção” hídrica é o objetivo superior. A “Produção de Água” (Campos, 2014) refere-se à capacidade de uma paisagem em regular o ciclo hidrológico, integrando processos de captação, armazenamento e liberação de água. Essa métrica, fundamental para bacias hidrográficas, depende diretamente da estrutura da paisagem, incluindo a cobertura vegetal, o tipo de solo, geologia, clima, relevo e o uso antrópico. Ela, por sua vez, determina a

disponibilidade hídrica tanto para ecossistemas quanto para as atividades humanas.

Dessa forma, a análise da capacidade ambiental de produção de água sob a perspectiva da paisagem - levando em conta as complexas inter-relações entre seus elementos - possibilita uma compreensão mais abrangente do que as abordagens tradicionais concentradas apenas em componentes isolados do ciclo hidrológico. Essa abordagem convida a investigar como a interação entre os diferentes fatores biofísicos e as atividades humanas molda a capacidade hídrica de uma região. Além disso, enfatiza a importância de se entender e gerenciar a água por meio de uma metodologia sistêmica e holística, reconhecendo que a capacidade ambiental de produção de água (CAPA) e sua disponibilidade estão intrinsecamente ligadas às características e à dinâmica do ambiente (tanto em termos de estrutura quanto de funcionamento) em que se inserem, moldadas pelas ações humanas (Campos, 2014).

Nesse âmbito de estudo, Campos (2014) propõe uma abordagem integrada baseada em análise multicritério, apoiada por técnicas de sensoriamento remoto, com o objetivo de diagnosticar e planejar o uso do território. Adicionalmente, a perspectiva dos Serviços Ecossistêmicos Hidrológicos (SEH) enriquece essa análise ao contextualizar a capacidade ambiental de produção de água como um dos diversos benefícios que os ecossistemas saudáveis proporcionam à sociedade. Essa abordagem reforça a necessidade de posicionar a água como a base sobre a qual os demais serviços ecossistêmicos são construídos, a fim de garantir a segurança hídrica, proporcionar a resiliência dos remanescentes florestais do bioma e promover a segurança alimentar e o bem-estar humano.

Especificamente, em relação ao SAF cacaueiro, um dos grandes desafios é desmitificar a função do componente arbóreo apenas como árvore de sombra, pois muito além da sombra, ele proporciona conforto térmico e ambiental ao cacaueiro e, concomitantemente, gera SEH (Lobão et al., 2018). A estrutura e a funcionalidade da paisagem, influenciadas tanto por fatores naturais quanto pela ocupação do solo, determinam de maneira direta a capacidade de um ecossistema ou bacia hidrográfica em fornecer esses serviços e ativos de forma sustentável e de alta qualidade (Santos, 2007; Curvelo

et al., 2009; Campos et al., 2018; Campos; Delabie, 2023; Santos; Campos, 2024).

Uma paisagem com alta CAPA, caracterizada por uma cobertura vegetal bem preservada, solos saudáveis e práticas de manejo adequadas, tende a proporcionar serviços ecossistêmicos de excelência: maior provisão de água limpa, melhor regulação contra cheias e secas, e menor erosão (Campos, 2014). Ao contrário, paisagens degradadas, com baixa CAPA, comprometem significativamente a oferta dos serviços ecossistêmicos, gerando elevados custos sociais e econômicos, como a necessidade de tratamentos de água mais onerosos, prejuízos por inundações e perda de solo fértil (Campos et al., 2018; Campos; Delabie, 2023).

O conhecimento proveniente da avaliação da CAPA, em conjunto com a perspectiva dos serviços ecossistêmicos hidrológicos, oferece subsídios valiosos para um planejamento territorial e uma gestão mais eficaz e sustentável das bacias hidrográficas. Em sua essência, o sistema SAAF aqui proposto representa uma nova abordagem que valoriza a conservação produtiva que o sistema cabruca evidenciou, reconhecendo a interdependência entre a produtividade agrícola, a saúde dos ecossistemas e a disponibilidade de recursos hídricos de modo a garantir a sustentabilidade dos agroecossistemas, bem como dos remanescentes florestais atlânticos.

### **Crise Hídrica e degradação na Região Cacaueira**

Ter por princípio o conceito de produção de água é fundamentado em pesquisas acadêmicas desenvolvidas no Sul da Bahia, região de grande importância hídrica e socioambiental. Campos (2014) propôs a metodologia do Zoneamento Geohidroelocógico com base na CAPA. Outros estudos foram realizados no Estado da Bahia: Campos e Delabie (2023) investigaram a produção de água na Região Cacaueira da Bahia e seu impacto da crise da lavoura no município de Itororó; e Santos & Campos (2024) aplicaram a metodologia na Bacia Hidrográfica do Rio Salgado. Esses estudos oferecem uma visão abrangente sobre como a capacidade de produção de água pode ser avaliada e utilizada como



ferramenta para a gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos.

A Bacia Hidrográfica do Rio Almada (BHRA), localizada no Sul da Bahia, foi utilizada como área piloto para a aplicação e validação da metodologia do Zoneamento Geohidroecológico (ZGE). Esta metodologia, ao empregar análise multicritério e simulação hidrológica, oferece uma abordagem robusta para a compartimentação ambiental de bacias hidrográficas, com foco específico na capacidade de produção de água. Um aspecto central do ZGE é a proposição de dois conceitos-chave: a Capacidade Natural de Produção de Água (CNPA) e a Capacidade Ambiental de Produção de Água (CAPA) (Figuras 1 e 2).

Neste caso particular da BHRA, a ação antrópica intensa alterou significativamente a produção de água das paisagens dessa bacia ao longo do tempo. Ao confrontar os dados de CNPA e de CAPA, Campos

(2014) observou que houve uma perda de 90 % da classe de CNPA Muito Alta. A classe Alta, que originalmente possuía a maior área, apresentou redução drástica de 67 %. A classe média de CAPA tornou-se a mais representativa (73%) revelando uma mudança significativa. Este dado indica degradação do ambiente, que pode repercutir negativamente na qualidade e na quantidade da água, dos ecossistemas e na produtividade.

Os estudos da CAPA na Região Cacaueira demonstram que o sistema Cabruca - quando adequadamente manejado - mantém a capacidade de produção de água observada em florestas primárias, destacando seu potencial como solução baseada no meio natural. Campos e Delabie (2023) mapearam a capacidade ambiental de produção de água das paisagens de Itororó, analisaram a dinâmica do uso e cobertura da terra (entre 1985 e 2020) e identificaram

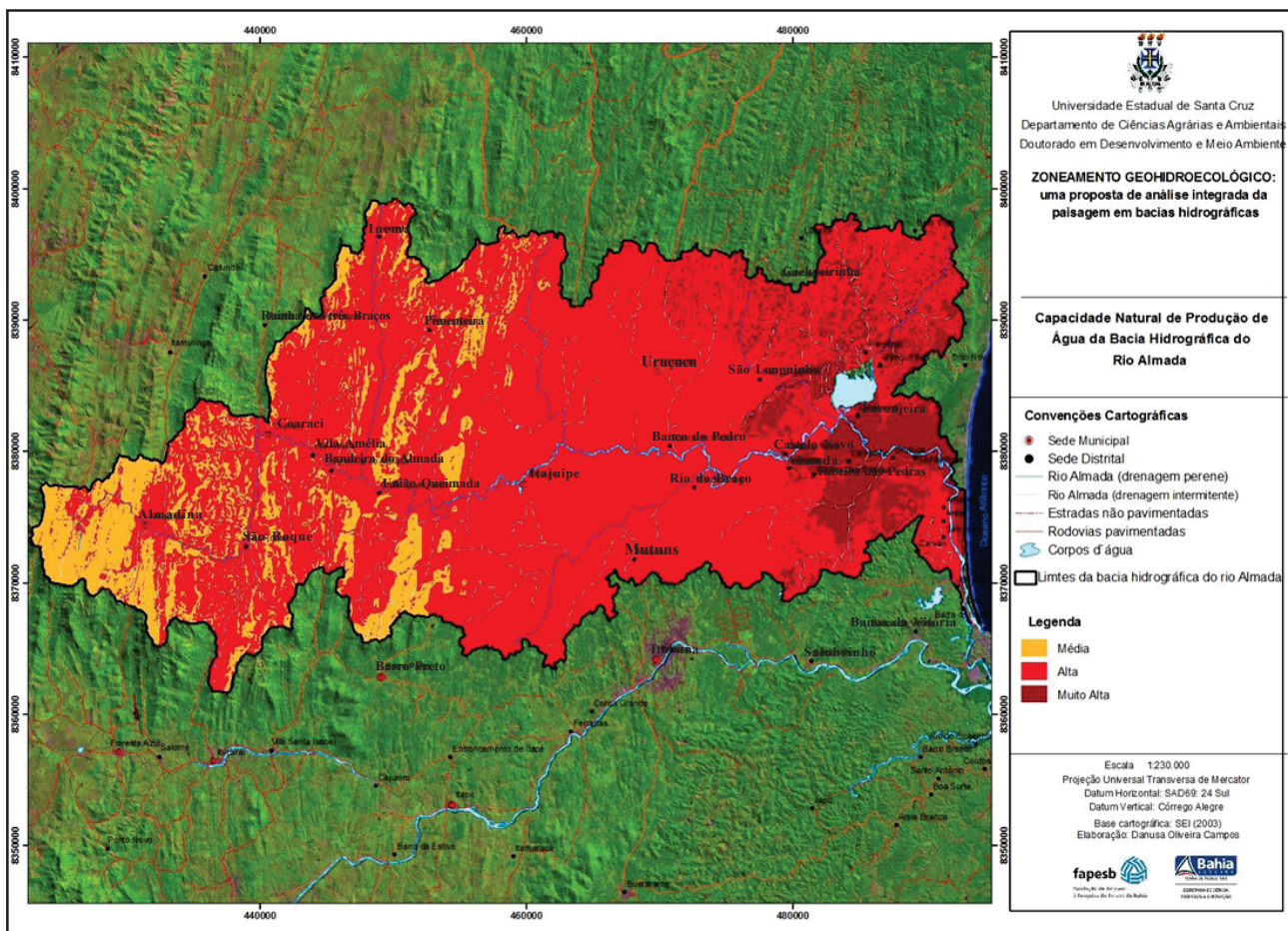


Figura 1- Capacidade Natural de Produção de Água da bacia hidrográfica do rio Almada. Fonte: Campos, 2014.

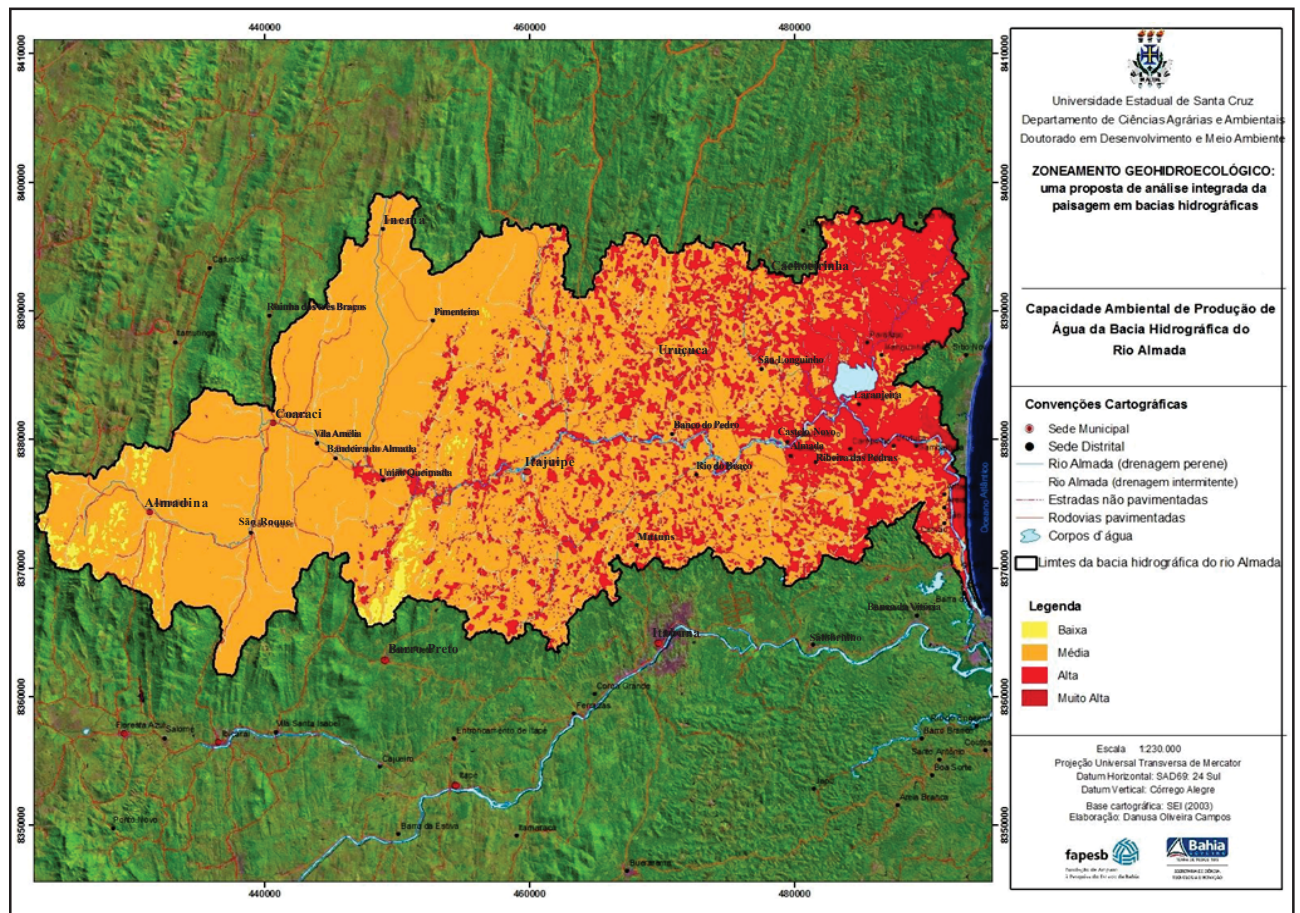


Figura 2- Capacidade Ambiental de Produção de Água da bacia hidrográfica do rio Almada. Fonte: Campos, 2014.

áreas degradadas. Correlacionando esses dados, concluíram que a redução dos corpos hídricos foi um dos principais fatores que desencadearam a crise da lavoura cacauieira neste município (Campos; Delabie, 2023) (Figuras 3 e 4).

A disponibilidade de água doce é um dos pilares para o desenvolvimento socioeconômico. Dados do Projeto MapBiomias (2023) revelam perdas drásticas: 55% dos corpos hídricos artificiais e 20% dos naturais desapareceram, agravando a crise hídrica local e impactando diretamente a agricultura. Estes dados representam uma crise hídrica local, com implicações para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável da região.

No mesmo estudo, os dados de uso e cobertura da terra mostraram que, apesar do aumento da área de cobertura florestal no período considerado, as florestas apresentaram estágios de regeneração diferentes das matas preservadas, interferindo em seus serviços

ecossistêmicos hidrológicos. Esta degradação das paisagens, causada pela intervenção antrópica, foi confirmada pela CAPA. Em Iteororó, a degradação das paisagens - inclusive em áreas de Cabruca - reduziu a CAPA em 32%, reclassificando-a como de média capacidade. O aumento da classe Média CAPA pode indicar uma transição para um estado de equilíbrio intermediário, onde a capacidade de produção de água é moderada e representa áreas com diferentes níveis de degradação.

Entre 2016 e 2022, todas as lavouras do município de Iteororó apresentaram redução em sua produção: o cacau atingindo apenas 65% do seu nível anterior, a laranja reduziu drasticamente sua produtividade com queda de 95%, e a banana foi afetada, com perda considerável de 37%. O café e o coco-da-baía tiveram sua produção interrompida. Estes dados comprovam que, em Iteororó, a água foi um fator limitante para a produtividade agrícola. A queda na produtividade



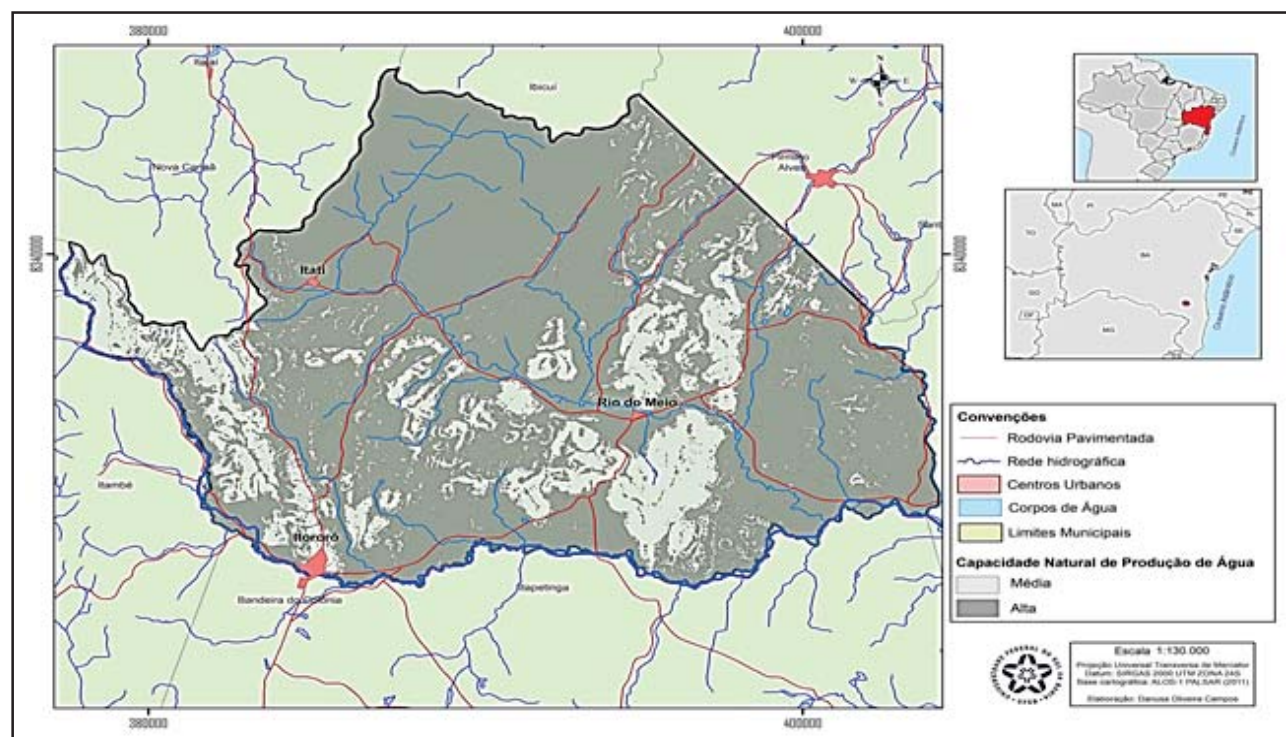


Figura 3 - Capacidade natural de produção de água de 1985 das paisagens de Itororó-Ba. Fonte: Campos e Delabie (2023).

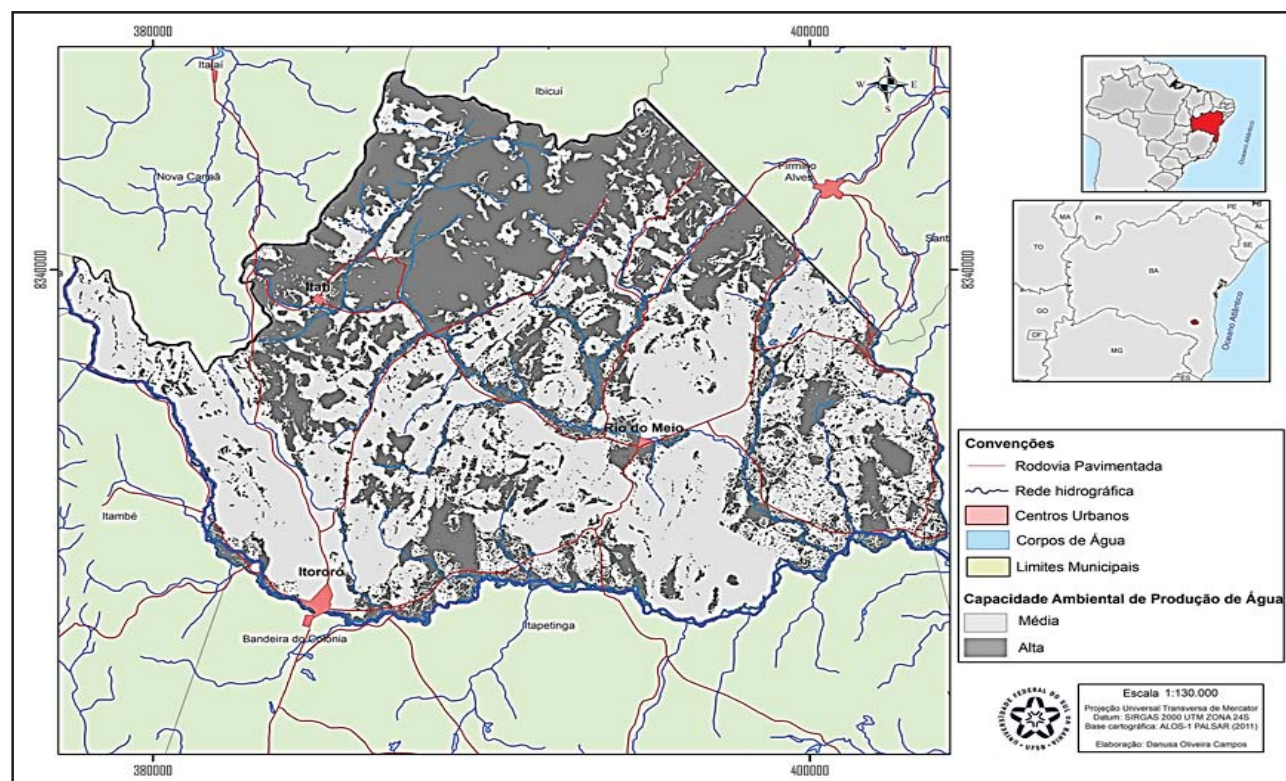


Figura 4 - Capacidade ambiental de produção de água de 2020, das paisagens de Itororó-Ba. Fonte: Campos e Delabie (2023).

agrícola pode ter diversas implicações, como a perda de renda dos produtores agrícolas, desemprego em áreas rurais e escassez de alimentos para a população mais vulnerável. A compreensão e análise da capacidade de produção de água de Itororó sugeriram estratégias inovadoras para conservação e recuperação ambiental, incluindo a conservação das áreas de floresta nativa, o reflorestamento dos 9,8 km<sup>2</sup> de Áreas de Preservação Permanente de matas ciliares que se encontram desmatadas, e a restauração produtiva de parte dos 175 km<sup>2</sup> de pastagem com viabilidade para cacau em SAF com cacau (Campos; Delabie, 2023).

A análise da CAPA da Bacia do Rio Salgado (CAMPOS; SANTOS, 2024), localizada na mesma região, fornece mais um exemplo prático. Seguindo os mesmos procedimentos metodológicos, Santos & Campos (2024) mapearam a Capacidade Natural de Produção de Água e a Capacidade Ambiental de Produção de Água desta bacia para 2023, as quais revelaram alterações significativas em relação à CNPA

(Figuras 5 e 6). Observou-se uma redução considerável das áreas originalmente classificadas com alta capacidade natural, que passaram a ter capacidade média ou baixa devido à predominância de usos do solo particularmente impactantes, principalmente pastagens extensivas e mal manejadas. Concomitantemente, notou-se um aumento expressivo nas áreas classificadas com média capacidade ambiental e o surgimento de áreas com baixa capacidade (Santos; Campos, 2024).

A comparação entre os dados de CNPA e CAPA possibilitou a identificação de zonas prioritárias para conservação (áreas com alta e muito alta CAPA), recuperação (áreas com baixa CAPA, mas com potencial de melhoria) e manejo adequado (áreas de uso consolidado). Esses estudos demonstram que uma gestão hídrica eficiente é inseparável de uma abordagem de conservação produtiva, onde a saúde dos ecossistemas se traduz diretamente em resiliência e produtividade para a agricultura e para o bioma.

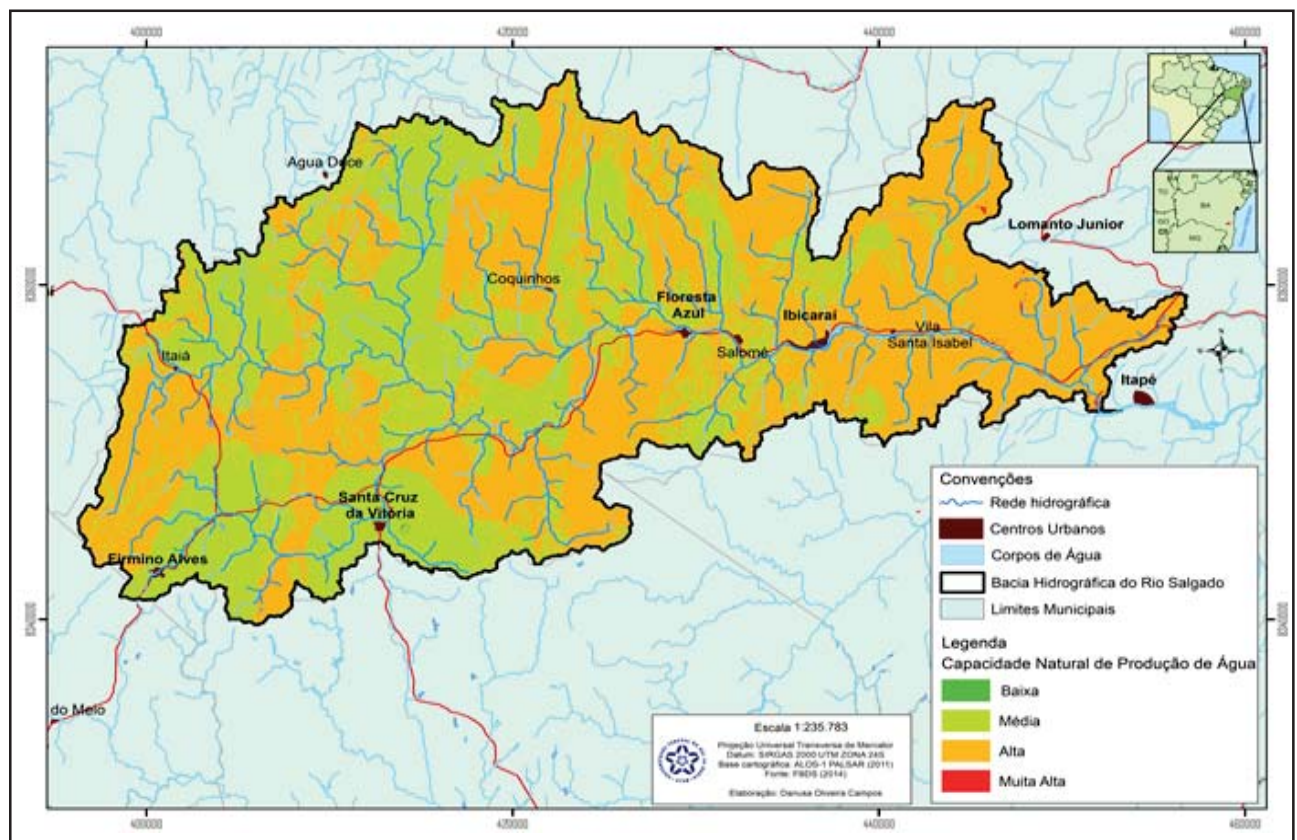


Figura 5- Capacidade natural de produção de água da BHRS. Fonte: Santos e Campos (2025).



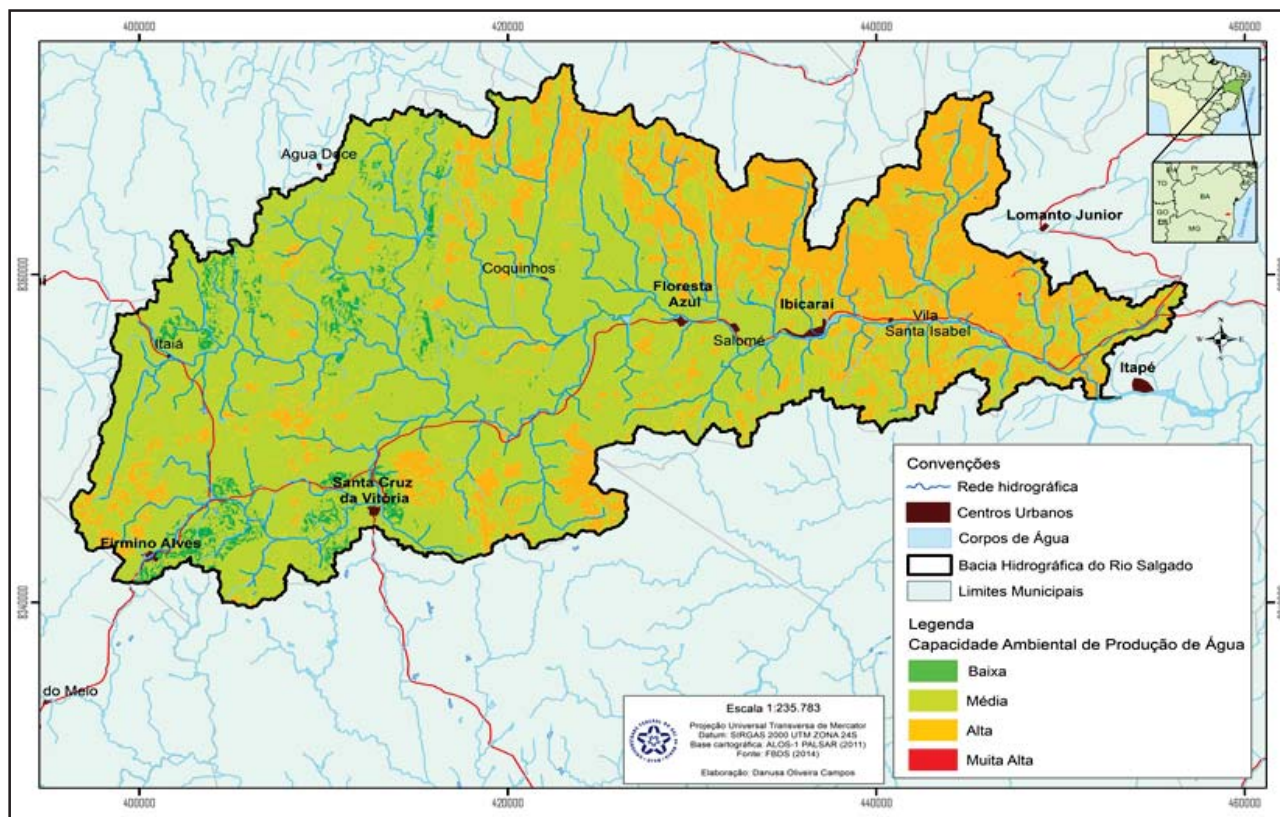


Figura 6- Capacidade ambiental de produção de água da BHRS. Fonte: Santos e Campos (2025).

### Para uma política de conservação dos recursos hídricos na Região Cacaueira

Os estudos citados, realizados em diferentes localidades da Região Cacaueira da Bahia, permitem comparações e contribuem para um entendimento mais amplo da dinâmica hídrica regional e das pressões exercidas sobre os recursos hídricos. A Região Cacaueira baiana vem passando por profundas transformações, com mudanças contínuas no uso do solo que se intensificaram com a crise da lavoura cacaueira, desde os anos 1990. Esta região compreende 1/5 dos municípios do Estado da Bahia e, destes, cerca de 250.000 hectares são cultivados segundo o SAF cabruca tradicional (Setenta, 2003; Lobão, 2007; Oliveira et al., 2011).

O SAF Cabruca possui alta diversidade florística e faunística, semelhante às matas em estágio médio de regeneração (Delabie et al., 2007; Curvelo et al., 2009; Virgens, 2021), e é um importante corredor ecológico (Faria; Santos; Sampaio, 2006). Além disso, promove a conservação da natureza, a estabilidade climática, o

equilíbrio hídrico ao nível regional, abriga espécies ameaçadas, possui potencial de produção sustentável de produtos madeireiros e não madeireiros e reduz o desmatamento de remanescentes florestais (Lobão; Valeri, 2009; Lobão et al., 2012; Zugaib, 2016; Reppin, 2020; Projeto MAPBIOMAS, 2023). Adicionalmente, 59% do carbono acima do solo da Região do Sul da Bahia encontra-se na cabruca (Schroth et al., 2015).

Os estudos de caso apresentados ilustraram a aplicabilidade prática e a relevância da análise da produção de água. Os resultados dessas pesquisas forneceram subsídios concretos para a elaboração de planos de gestão, propondo zoneamentos funcionais que orientam ações de preservação, conservação, recuperação e uso específico, visando otimizar a produção de água e garantir a conservação produtiva dos recursos naturais envolvidos e a sustentabilidade ambiental na Região Cacaueira da Bahia (Setenta et al., 2012).

É imprescindível incorporar a dimensão da produção de água no planejamento e na gestão territorial. Para tanto, diversas ferramentas e abordagens podem ser

aplicadas, entre elas: zoneamentos fundamentados na produção de água (como o zoneamento geohidroecológico); ferramentas e técnicas sustentáveis empregadas em áreas identificadas para conservação e restauração ecológica; a implementação de pagamentos por serviços hidrológicos em áreas que aumentem a produção de água; a CAPA pode ainda servir como base para o monitoramento dos resultados e a definição dos pagamentos; e a adoção de práticas agrícolas sustentáveis e sistemas agroflorestais (SAF) mais sustentáveis e biodiversos, sob a égide da conservação produtiva (Setenta et al., 2005; Setenta; LObão et al., 2012).

Essas medidas convergem para uma política de conservação de recursos hídricos que não apenas protege, mas também valoriza a água como o alicerce da produtividade e resiliência. O SAAF, ao evidenciar a produção de água como um objetivo superior, eleva o conceito de conservação produtiva do sistema cabruca a uma ferramenta estratégica para enfrentar a crise hídrica e climática regional.

### **Limitações dos SAFs Tradicionais: A Lacuna da Gestão Hídrica**

Observa-se que diversas iniciativas e projetos estão em andamento na Bahia para promover a adoção de SAFs na produção de cacau com foco na mitigação e adaptação às mudanças climáticas, mas sem a devida preocupação com a produção de água. Ressaltam-se alguns exemplos:

• **Projeto “Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas em Sistemas Agroflorestais na Produção de Cacau nos Biomas Amazônia e Mata Atlântica”:** Uma parceria entre o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), a Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (Ceplac) e o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA), que conta com financiamento do Fundo Verde para o Clima (GCF). O projeto visa implementar SAF com cacau para recuperar áreas degradadas e fortalecer a capacidade adaptativa das comunidades cacaueiras;

• **Plano ABC+ Bahia 2020-2030:** O plano estadual para adaptações às mudanças climáticas e à baixa emissão de carbono na agropecuária incentiva práticas sustentáveis, incluindo os SAFs;

• **Projeto GCF Cacau Brasil Agrofloresta:** Uma iniciativa que busca promover a viabilidade econômica e a qualidade do cacau produzido em SAFs na Bahia;

• **Projeto CompensAÇÃO:** Financiado pelo FIDA, este projeto visa promover a transição agroflorestal em áreas de cultivo de cacau na Bahia, beneficiando diversas famílias, incluindo agricultores familiares, comunidades quilombolas e assentados da reforma agrária.

Apesar dos avanços na promoção de SAFs para mitigação climática, os projetos atuais ignoram a gestão hídrica - uma lacuna crítica, dado o papel central da água na resiliência agroflorestal. No Brasil, a proteção das águas continentais é garantida por leis constitucionais e normas específicas sobre quantidade e qualidade hídrica (como as Áreas de Preservação Permanente e políticas de saneamento). As principais delas são:

✓ **Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981):** Criou instrumentos como o licenciamento ambiental e o Cadastro Ambiental Rural (CAR), que promovem a proteção de recursos hídricos;

✓ **Constituição Federal (1988):** Em seu Art. 20, III define os rios como bens da União ou dos estados; o Art. 21, XIX atribui à União a competência para instituir o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH); e o Art. 225 estabelece o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, incluindo a proteção dos recursos hídricos;

✓ **Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997):** Instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) baseados nos princípios: a água é um bem público e limitado, há prioridade para abastecimento humano e animal em situações de escassez, e a gestão das águas é descentralizada e participativa (comitês de bacias hidrográficas);

✓ **Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998):** Discorrendo sobre as punições para poluição hídrica e destruição de nascentes;

✓ **Agência Nacional de Águas (ANA) (Lei nº 9.984/2000):** É responsável pela regulação do uso da água;

✓**Resoluções do CONAMA** (Conselho Nacional do Meio Ambiente): A Resolução nº 357/2005 CONAMA estabelece padrões de qualidade da água para diferentes usos (consumo humano, irrigação, etc.) e a Resolução CONAMA nº 396/2008 que detalha as normas para proteção de águas subterrâneas (aquíferos);

✓**Política Nacional de Saneamento Básico** (Lei nº 11.445/2007): Regula o abastecimento de água potável e o tratamento de esgoto, impactando na conservação dos recursos hídricos;

✓**Código Florestal** (Lei nº 12.651/2012): Define as Áreas de Preservação Permanente (APPs), incluindo margens de rios, nascentes e veredas, com regras para sua proteção, estabelece faixas mínimas de vegetação nativa ao longo de cursos d'água.

As leis mencionadas, assim como outras normas correlatas, demonstraram ser insuficientes, uma vez que os estudos confirmam uma redução progressiva na disponibilidade hídrica nas paisagens da Região Cacaueira, bem como em todo o país. A FAO e a ONU-Água (2025) ressaltam que a retirada de mais de 25% dos recursos renováveis de água doce de um território indica diversos graus de “estresse hídrico”, comprometendo a sustentabilidade hídrica. Assim, torna-se urgente a implementação de medidas complementares para reverter esse cenário, incorporando análises, como a CAPA, às políticas públicas. A incorporação de Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos Hidrológicos (SEH), baseando-se em métricas como o CAPA, poderia direcionar investimentos para zonas críticas, como as APPs desmatadas de Itororó, aumentando a resiliência hídrica.

O conceito de SAAF surge como a evolução necessária para superar as limitações dos SAF tradicionais. Ao elevar a gestão hídrica a um pilar central, o SAAF instrumentaliza os sistemas agroflorestais para a segurança hídrica e a resiliência climática e por conseguinte a sustentabilidade no Bioma Mata Atlântica.

### **Proposta SAAF: Princípios e Mecanismos de Implementação**

Os Sistemas Agroflorestais (SAF), conforme definidos pela EMBRAPA (2025) e pelo SENAR (2017), são reconhecidos como modelos que integram

árvores, culturas agrícolas e pastagens em um planejamento espacial e temporal, visando à sustentabilidade e à produtividade. No entanto, a água - elemento crítico para a resiliência desses sistemas - permanece ausente tanto na sigla quanto nas diretrizes práticas. Enquanto a pesquisa enfatiza a diversidade de espécies e a recuperação de áreas degradadas, e a extensão rural prioriza o manejo intencional e a geração de renda, a gestão hídrica é tratada como uma externalidade, não como um pilar central.

Essa lacuna é evidente nos projetos atuais (como o ABC+ Bahia e o GCF Cacau Brasil), que, apesar de promoverem SAF para mitigação climática, ignoram métricas de produção e segurança hídrica. O resultado é um descompasso entre o potencial agroflorestal e a crise de escassez que afeta regiões como a Cacaueira da Bahia, onde a degradação reduziu a CAPA em 32% e eliminou 55% dos corpos hídricos (barragens), de Itororó (BA) (Campos; Delabie, 2023).

### **O SAAF como evolução necessária**

O Sistema Agroflorestal com foco em água (SAAF) propõe uma reestruturação conceitual e prática, articulando três eixos:

•**Planejamento territorial baseado na CAPA:** Identificação de bacias prioritárias para restauração, com zoneamento que vincule a capacidade de produção de água aos arranjos agroflorestais;

•**Práticas otimizadas para ciclos hidrológicos:** Adoção de técnicas como cordões de contorno, barraginhas e espécies vegetais com alta taxa de infiltração, aliadas aos SAFs tradicionais;

•**Pagamento por Serviços Hidrológicos (PSH):** Mecanismos financeiros que remunerem produtores por métricas comprovadas de aumento na CAPA, utilizando dados como os do Zoneamento Geohidroecológico.

A Região Cacaueira, com seu histórico de cabrucas e pressões hídricas crescentes, é o território ideal para pilotar o SAAF. Seu sucesso exigirá:

•**Inserção da CAPA nas políticas de crédito rural** (ex.: linha verde do BNDES para SAFs com comprovada melhoria hídrica);

•**Protocolos de monitoramento** que vinculem a produtividade agrícola a indicadores de recarga de aquíferos;



●**Campanhas de sensibilização** que reposicionem a água como um ativo econômico, não apenas ecológico.

A proposta do SIAAF alinha-se diretamente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, em especial (Tabela 1):

●**ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável)**, ao promover a segurança alimentar e agricultura resiliente e sustentável, mantendo a produtividade do cacau sem degradar o solo;

●**ODS 6 (Água Limpa e Saneamento)**, ao garantir a gestão hídrica sustentável em paisagens produtivas por meio da proteção de nascentes e rios pela cobertura florestal;

●**ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico)**, ao gerar renda para agricultores familiares e comunidades rurais de forma sustentável;

●**ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis)**, ao incentivar práticas agrícolas sustentáveis e o comércio justo do cacau, reduzindo impactos ambientais;

●**ODS 13 (Ação Climática)**, ao integrar agroflorestas à adaptação às secas, sequestrar e estocar carbono por meio da preservação de árvores nativas, ajudando no combate às mudanças climáticas;

●**ODS 15 (Vida Terrestre)**, ao conservar a biodiversidade da Mata Atlântica.

Além disso, o mecanismo de PSH do SAAF dialoga com acordos como a Década da Restauração de Ecossistemas (2021-2030) e a Convenção de Combate à Desertificação, oferecendo um modelo mensurável para financiamentos verdes. O SAAF, ao propor a produção de água como um objetivo superior, eleva a conservação produtiva do sistema

Tabela 1. SAF Tradicional vs. SAAF - uma comparação estrutural.

Componente	SAF Tradicional	SAAF (Sistema Agroflorestal com Foco em Água)	Impacto Potencial
Foco Principal	Integração árvores + cultivos + animais	Água + árvores + cultivos + animais	Reorienta o paradigma de manejo, posicionando a água como o pilar central para a resiliência e a produtividade das paisagens.
Métrica de Sucesso	Produtividade agrícola, estoque de carbono	CAPA (Capacidade Ambiental de Produção de Água), produtividade integrada	Vincula de forma mensurável o sucesso econômico à saúde hidrológica, comprovando a viabilidade do modelo.
Práticas-Chave	Adensamento de espécies, manejo orgânico	Barraginhas, cordões de contorno, espécies de alta infiltração + SAF tradicional	Reduz a erosão, maximiza a infiltração de água no solo e recarrega os aquíferos, mitigando os efeitos das secas.
Mecanismos de Incentivo	Pagamento por carbono (ex.: REDD+)	Pagamento por Serviços Hidrológicos (PSH) baseado em CAPA	Atrai investimentos para bacias críticas, valorizando a água como um ativo econômico e não apenas ecológico.
Aplicabilidade	Biomass tropicais (ex.: Mata Atlântica)	Biomass com crise hídrica (ex.: cerrado, Chaco, savanas africanas)	Permite a adaptação do modelo a contextos de escassez hídrica, tornando-o uma solução replicável globalmente.
Alinhamento Global	ODS 15 (Vida terrestre)	ODS 2 (Fome zero e agricultura sustentável) + ODS 6 (Água potável + ODS 12 (Consumo e produção responsáveis) + ODS 13 (Ação climática) + ODS 15 (Vida terrestre)	Demonstra a contribuição multifacetada do SAAF para a Agenda 2030, atendendo a desafios interconectados de forma sistêmica.

cabruca a uma metodologia estratégica para solucionar a crise hídrica e climática. Ao adotar esse sistema, a Região Cacaueira posiciona-se não apenas como solução local, mas também como laboratório para desafios globais.

### Considerações Finais

O modelo Sistemas Agroflorestais tradicional (SAF) foca na sustentabilidade ecossistêmica e produtividade, entretanto, não considera elemento crítico para a sua resiliência, a água. Enquanto a pesquisa enfatiza a diversidade de espécies e a recuperação de áreas degradadas, e a extensão rural prioriza o manejo intencional e a geração de renda, a gestão hídrica é tratada como uma externalidade, não como um pilar central.

A água não pode ser negligenciada ao analisar a sustentabilidade de um território, e o SAAF não surge como uma ruptura, mas sim, como um amadurecimento dos SAFs.

Representa a evolução necessária para que a agricultura tropical, e em especial, o cultivo do cacaueiro, possa garantir sua resiliência frente aos desafios impostos pela crise hídrica e climática. Ao tornar a água mais visível - na sigla, no planejamento e nos incentivos, ela oferece um caminho replicável para conciliar a produção agrícola e a segurança hídrica.

A compreensão da produção de água de uma paisagem transcende a mera contabilidade de volumes hídricos. Trata-se de uma análise sistêmica que integra paisagem, ecologia e sociedade, fornecendo uma base robusta para a tomada de decisão na gestão territorial voltada para a sustentabilidade hídrica, conservação dos ecossistemas e produtividade.

A Região Cacaueira da Bahia, com sua tradição em cabucas e crise hídrica iminente, pode ser pioneira nesse modelo, servindo como referência para outras paisagens tropicais onde, agroflorestas e escassez de água possam coexistir. Ao adotar a produção de água como seu objetivo superior, o SAAF eleva o sistema da conservação produtiva do cacau-cabruca a uma metodologia estratégica para solucionar desafios locais e se posiciona como um laboratório para desafios globais.

A adoção de tais abordagens é crucial para enfrentar os desafios crescentes relacionados à água, promovendo o uso racional dos recursos, a

conservação dos ecossistemas aquáticos e a construção de um futuro com maior segurança hídrica para todos. A continuidade das pesquisas em andamento e a implementação das metodologias já testadas a outros contextos são fundamentais para aprofundar nosso conhecimento e nossa capacidade de gerenciar de maneira sustentável esse recurso vital.

### Literatura Citada

- CAMPOS, D. O.; DELABIE, J. H. C. 2023. Produção de água em paisagens da Região Cacaueira da Bahia no contexto da crise da lavoura: um estudo de caso. *Agrotrópica* 35(2,3): 117-134.
- CAMPOS, D. O.; SANTOS, J. W. B.; ASSIS, P. R. 2018. Aplicação do modelo hidrológico SMAP na determinação da produção de água em uma bacia hidrográfica costeira. *Revista Brasileira de Geografia Física* 11(1):124-138.
- CAMPOS, D. O. 2014. Zoneamento Geohidroecológico: uma Proposta de Análise Integrada da Paisagem em Bacias Hidrográficas, Ilhéus, BA. Tese Doutorado. Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, BA. 181p.
- CURVELO, K. et al. 2009. Aporte de nutrientes na serapilheira e na água do solo em cacau cabruca, floresta secundária e pastagem. *Agrotrópica* 21: 57-66.
- DUTRA, J. D.; ELMIRO, M. A. T.; RIBEIRO, S. M.C. 2022. Association between forest resources and water availability: temporal analysis of the Serra Azul stream sub-basin. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 94(3): 1-15.
- ELLISON, D.; N. FUTTER, M.; BISHOP, K. 2012. On the forest cover-water yield debate: from demand- to supply-side thinking. *Global Change Biology* 18: 806-820. Doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02589
- EMBRAPA. 2025. <https://www.embrapa.br/codigo-florestal/sistemas-agroflorestais-SAF>. Acessado em: 18 jun 2025.
- FARIA, D.; SOARES-SANTOS, B.; SAMPAIO, E. 2006. Morcegos da Mata Atlântica do sul da Bahia, Brasil. *Biota Neotropical* 6(2):1-13. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032006000200022>

- HOU, Y. et al. 2023. A global synthesis of hydrological sensitivities to deforestation and forestation. *Forest Ecology and Management*, 529. 120718
- INSTITUTO ARAPYÁÚ. 2022. Pastagens com viabilidade para sistemas agroflorestais com cacau no Sul da Bahia: desenvolvimento territorial do Sul da Bahia. Uruçuca, Bahia, 42p.
- LOBÃO, D. E. 2007. Agroecossistema cacaueiro da Bahia: cacau-cabruca e fragmentos florestais na conservação de espécies arbóreas. Tese Doutorado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de Jaboticabal. Jaboticabal, SP. 108 p.
- LOBÃO, D. E.; VALERI, S. V. 2009. Sistema Cacau cabruca: conservação de espécies arbóreas da Floresta Atlântica. *Agrotrópica* 21(1):43-54.
- LOBÃO, D. E.; PINHO, L. M.; CARVALHO, D. L.; SETENTA, W. C. 1997. Cacau cabruca: um modelo sustentável de agricultura tropical. *Índícios Veementes*, São Paulo, v. 3, pp.10-24.
- LOBÃO, D. E. et al. 2012. Cacau Cabruca – sistema agrossilvicultural cacaueiro. In: Valle, R. R. (2ª Ed.). *Ciência, Tecnologia e Manejo do Cacaueiro*. Itabuna: Gráfica e Editora Vital, p.467-506.
- LOBÃO, D. E. et al. 2018. Sustentabilidade no Sistema Agrossilvicultural Cacaueiro. In: José Olímpio de Souza Júnior (Org.). *Cacau: Cultivo, Pesquisa e Inovação*. Ilhéus, BA, Editus. pp. 432-453.
- LÓPEZ-RAMÍREZ, S. M. et al. 2020. Land use change effects on catchment streamflow response in a humid tropical montane cloud forest region, central Veracruz, Mexico. *Hydrological Processes* 34(16): 3555-3570
- LI, Q. et al. 2017. Forest cover change and water yield in large forested watersheds: A global synthetic assessment. *Ecohydrology* 10(4): e1838
- MATEO, J. M. R. 1997. Planejamento ambiental: bases conceituais níveis e métodos In: Cavalcanti, A. P. B. (Org.). *Desenvolvimento Sustentável e Planejamento. Bases Teóricas e Conceituais*. Fortaleza: Imprensa Universitária Fortaleza.
- OLIVEIRA, M. A. et al. 2011. Importância do sistema agroflorestal Cabruca para a conservação florestal da Região Cacaueira, Sul da Bahia, Brasil. *Revista Geográfica de América Central* 2: 1-12.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO & ONU-Água. 2025. Progresos en el nivel de estrés hídrico: Situación a mitad de período del Indicador 6.4.2 de los ODS y necesidades de aceleración, con especial atención a la seguridad alimentaria, 2024. FAO, Roma. <https://doi.org/10.4060/cd2179es>
- PROJETO MAPBIOMAS. 2023. Mapeamento da Superfície de Água do Brasil Coleção 2. <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/agua>.
- REPPIN, S. et al. 2020. Contribution of agroforestry to climate change mitigation and livelihoods in Western Kenya. *Agroforest Syst*, 94:203–220
- SANTOS, K. C. B. 2007. Influência da serapilheira na água do solo na bacia hidrográfica do rio Salomé-Sul da Bahia. Dissertação Mestrado. UESC, Ilhéus - Bahia. 76 p.
- SANTOS, K. C.; CAMPOS, D. O. 2024. Capacidade de produção de água da Bacia Hidrográfica do Rio Salgado, sul da Bahia. *Ciência Geográfica* 28(2): 361-381.
- SANTOS, L. R.; FARIA, D.; FIGUEIREDO, M.; ASSAD, E.; ESTEVAM, C. 2021. Levantamento dos dados da flora das cabucas e estimativa de estoque de carbono utilizando a ferramenta GHG Protocol. Instituto Arapyáú, Uruçuca, 38p.
- SCHIELEIN, J.; BÖRNER, J. 2018. Recent transformations of land-use and land-cover dynamics across different deforestation frontiers in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy* 76: 81-94.
- SCHROTH, G. et al. 2015. Contribution of agroforestry to landscape carbon storage. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 20:1175-1190.
- SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL - SENAR. 2017. Sistemas Agroflorestais (SAFs): conceitos e práticas para implantação no bioma amazônico/ Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR). Coleção SENAR 199. 1.ed. Brasília, DF. SENAR. 140 p.
- SETENTA, W. C. 2003. Sistema cacau-cabruca: conservação produtiva na Mata Atlântica do Sul

- da Bahia. 2003. Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente. Dissertação Mestrado. Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA.
- SETENTA, W.; LOBÃO, D. E. 2012. Conservação Produtiva - Cacau por mais 250 anos. Itabuna (BA). 190 p. CDD 633.74
- SETENTA, W. C.; LOBÃO, D. E.; SANTOS, E. S.; VALLE, R. R. 2005. Avaliação do sistema cacau-cabruca e de um fragmento de Mata Atlântica. 40 Anos do Curso de Economia: Memória. Editus. Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, BA. p. 605-628.
- SOUZA, V. A. S. et al. 2022. Dinâmica da conversão de floresta e tendências climáticas na bacia do rio Madeira. *Ciência Florestal* 32: 2007-2034.
- SOUZA, N. C. 2020. Dinâmica do uso e ocupação da terra associada ao crescimento de processos erosivos lineares e aos aspectos sociodemográficos e físico-estruturais. Tese Doutorado. UFSC, São Carlos, SP.
- SUN, G. et al. 2023. Forest hydrology modeling tools for watershed management: A review. *Forest Ecology and Management* 530(15): 120755.
- TUNES, S. 2025. Caça ao Desperdício. *Revista Pesquisa FAPESP: Inovação & Empresas*, n. 353, p.70-73. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/caca-ao-desperdicio>
- UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME 2024. Water as a Circular Economy Resource - Foresight Brief No. 033. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/44782>.
- VIRGENS, W. 2021. Florística, fitogeografia e conservação na Mata Atlântica: uma experiência nas cabruças do assentamento Pau-brasil, extremo sul da Bahia. Dissertação Mestrado. UFBA, Salvador - BA.
- WAGNER, P. D. et al. 2019. Comparing the effects of dynamic versus static representations of land use change in hydrologic impact assessments. *Environmental Modelling & Software* 122: 103987.
- ZHAO, K. et al. 2024. Analysis of temporal variation characteristics in water resources in typical ecosystems of the Genhe River Basin. *Global Change Biology* 7:1345207. Doi: 10.3389/ffgc.2024.1345207
- ZUGAIB, A. C. C.; LOBÃO, D. D.; PAULA, F. C. F.; CUNHA, M. C. 2016. Valoração ambiental do Sistema Cacau Cabruca para efeito de crédito rural em Barro Preto, Bahia. Ilhéus, BA, CEPLAC/CEPEC. Boletim Técnico nº 208. 48p.

## MORFOMETRIA CEFÁLICA DA FORMIGA PREDADORA *Ectatomma muticum* (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) EM DIFERENTES CONDIÇÕES ECOLÓGICAS

*Vinicius Calisto de Sirqueira*<sup>1\*</sup>, *Valesca Kailane Dias de Almeida Santos*<sup>1</sup>,  
*Antônio Oliveira Costa Neto*<sup>2</sup>, *Eltamara Souza da Conceição*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciências Exatas e da Terra/Museu de Zoologia/Zoologia, Universidade do Estado da Bahia, 48000-000, Alagoinhas, Brasil; \*viniciuscalisto09@gmail.com; valescadias@gmail.com; econceição@uneb.br

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Feira de Santana, 44.036-900, Feira de Santana, Brasil; aocneto@uefs.br

A morfologia de formigas pode refletir as condições do habitat, tornando-se uma ferramenta promissora para o monitoramento ambiental. Este estudo investigou como a complexidade estrutural do habitat influencia a morfologia de operárias da espécie predadora *Ectatomma muticum* em três parcelas com distintas fitofisionomias em um fragmento de Mata Atlântica em Alagoinhas, Bahia. A complexidade do habitat foi quantificada por meio dos índices de vegetação NDVI e SAVI, e sete traços morfométricos funcionais (cefálicos e mandibulares) foram medidos em 30 indivíduos (10 por parcela). As análises estatísticas, incluindo PCA e testes de Mann-Whitney, revelaram variações morfológicas significativas. Indivíduos da parcela mais aberta apresentaram olhos e mandíbulas maiores, enquanto indivíduos da parcela com maior complexidade estrutural ao nível do solo exibiram olhos em posição mais lateral, o que resultou numa maior distância interocular. A parcela com vegetação mais densa apresentou um fenótipo intermediário, sem diferenças significativas em relação às demais. Nossos resultados corroboram a hipótese do tamanho do grão e demonstram que a morfologia de *E. muticum* é um indicador sensível da heterogeneidade do habitat. Concluimos que traços morfofuncionais de formigas predadoras são bioindicadores confiáveis para avaliar a estrutura e a qualidade ecológica de fragmentos florestais.

**Palavras-chave:** Morfologia, *Ectatomminae*, bioindicação.

**Cephalic morphometry of the predatory ant *Ectatomma muticum* (Hymenoptera: Formicidae) in different ecological conditions.** The morphology of ants can reflect habitat conditions, making it a promising tool for environmental monitoring. This study investigated how the structural complexity of the habitat influences the morphology of worker ants of the predatory species *Ectatomma muticum* across three plots with distinct phytophysiognomies in a fragment of the Atlantic Forest at Alagoinhas, Bahia. The complexity of the habitat was quantified using the NDVI and SAVI vegetation indices, and seven functional morphometric traits (cephalic and mandibular) were measured in 30 individuals (10 per plot). Statistical analyses, including PCA and Mann-Whitney tests, revealed significant morphological variations. Individuals from the more open plot exhibited larger eyes and mandibles, while those from the plot with greater structural complexity at ground level displayed eyes positioned more laterally, resulting in a greater interocular distance. The plot with denser vegetation showed an intermediate phenotype, with no significant differences compared to the others. Our results support the grain size hypothesis and demonstrate that the morphology of *E. muticum* serves as a sensitive indicator of habitat heterogeneity. We conclude that the morphofunctional traits of predatory ants are reliable bioindicators for assessing the structure and ecological quality of forest fragments.

**Key words:** Morphology, *Ectatomminae*, bioindication.



## Introdução

Diversos estudos sobre a influência da complexidade do habitat em relação à morfometria das formigas, suas interações e papéis ecológicos têm sido realizados. Na literatura, encontram-se vários estudos sobre o tema, no entanto, muitas vezes os resultados são inconsistentes e necessitam de melhor esclarecimento (Amaral et al., 2019; Lopes et al., 2010; Martins et al., 2010; Miranda et al., 2013). Existem características e elementos em múltiplas escalas, tanto globais quanto regionais, que influenciam diretamente a distribuição, riqueza, diversidade e morfologia das formigas. Entre os fatores, podemos citar a complexidade e heterogeneidade do ambiente, densidade da vegetação e da serrapilheira, variações latitudinais e altitudinais e o nível de antropização de uma determinada área (Boomsma, Baer e Heinze, 2014).

Embora a complexidade do habitat não influencie diretamente determinadas características das formigas, como o tamanho do pronoto, que está associado a caracteres filogenéticos e a fatores ecológicos específicos que exercem pressão seletiva, ela pode afetar outros atributos morfológicos. Entre eles, destacam-se o tamanho corporal, a dimensão da cápsula cefálica, o comprimento do fêmur e a posição dos olhos, que tendem a se apresentar mais laterais em ambientes complexos e mais dorsais em ambientes menos complexos (Boomsma, Baer e Heinze, 2014; Gibb e Parr, 2013).

Nooten et al. (2019) afirmam que a fauna de formigas responde à heterogeneidade do habitat em duas escalas diferentes: na escala da paisagem e na escala local, onde a riqueza, morfologia e diversidade de formigas estão positivamente relacionadas. Em especial, isso se aplica às formigas epigeicas, cuja morfologia é influenciada pela complexidade do substrato e da serrapilheira.

Pereira e Almeida (2023, p.21) e Morais et al. (2022) evidenciaram que o tipo do solo e seu uso influenciam a composição e caracteres morfológicos das espécies afetando as comunidades de formigas, suas interações e sua morfologia, por meio da adaptação. O solo, ao exercer pressão seletiva sobre as espécies de formigas, permite que somente aquelas com as características específicas possam utilizá-lo como habitat, servindo assim como um fator de seleção

natural. Além disso, caracteres morfológicos como o tamanho do olho de formigas hipogéicas e epigéicas podem diferir do das formigas arborícolas, sendo essa uma resposta ao habitat em que a formiga se encontra.

Kaspari & Weiser (1999) propuseram a “hipótese do tamanho do grão”, que relaciona a escala da heterogeneidade ambiental à morfologia dos organismos terrestres. Segundo essa hipótese, à medida que o tamanho dos organismos diminui, o ambiente se torna relativamente mais rugoso e menos plano. Para as formigas, isso significa que o tamanho corporal influencia diretamente sua percepção do espaço e sua capacidade de acessar recursos em diferentes microhabitats, afetando o comportamento, a distribuição e as estratégias de forrageamento.

Gibb & Parr (2013), Boomsma, Baer e Heinze (2014) e Gibb et al. (2020), ao testarem essa teoria, descreveram três comportamentos das formigas, definindo-os como descobridoras, ocupantes e monopolizadoras. Tais comportamentos foram influenciados pela disposição do olho e tamanho do fêmur, que, por sua vez, são afetados pela complexidade do ambiente. Também foram encontradas relações positivas entre a influência do ambiente e determinadas características morfológicas das formigas, como a posição dos olhos, o tamanho corporal e o comprimento das pernas.

A morfometria de formigas epigéicas, especialmente de predadoras como *Ectatomma muticum*, tem um potencial promissor como ferramenta para o monitoramento ambiental e avaliação da qualidade ecológica de fragmentos florestais. Estudos recentes demonstraram que traços morfológicos, incluindo medidas cefálicas, posicionamento dos olhos e tamanho corporal, estão associados à posição trófica das formigas e às características microambientais que elas habitam (Klunk; Silva; Bressan-Nascimento, 2011; Almeida et al., 2011). Além disso, em ambientes de restinga verificou-se que a complexidade estrutural do habitat influencia padrões morfométricos como alometria das pernas e comprimento da cabeça (Klunk; Silva; Bressan-Nascimento, 2011). As formigas têm sido reconhecidas como eficientes bioindicadoras de mudanças ambientais tanto em estudos teóricos quanto em aplicações práticas, especialmente em contextos de restauração e manejo de habitats impactados (Majer, 1997; Anderser; Majer, 2002; Freitas, 2004).

Com base nos argumentos aqui apresentados, nossa hipótese é que a complexidade estrutural do habitat, medida pela densidade da vegetação, atua como uma pressão seletiva sobre a morfologia de *E. muticum* e que a plasticidade fenotípica e o potencial para interações de predação de formigas variam em função das condições ecológicas de áreas naturais de Mata Atlântica. Por isso, este estudo teve como objetivo comparar a morfometria cefálica de *E. muticum* em diferentes condições ecológicas em um fragmento de Mata Atlântica em Alagoinhas-BA, com vistas a demonstrar seu uso como ferramenta de bioindicação ambiental.

## Material e Métodos

### Local de estudo

O estudo ocorreu no complexo vegetacional da Universidade do Estado da Bahia (UNEB), *Campus II*, município de Alagoinhas, Bahia, Brasil, com as

coordenadas médias: 12°10'42"S; 38°24'43"W, a altitude de 150 m acima do nível do mar e uma área total de 50 hectares.

Segundo Nunes e Matos (2017), a vegetação é do tipo Ombrófila Densa submontana, com distinções fitofisionômicas bem marcadas, devido à influência edafoclimática, sendo considerada um gradiente vegetacional com características de Mata Paludosa, Vegetação Ciliar, Brejos, Lagoas, encraves e uma Floresta Ombrófila Densa em estágio médio de regeneração (Figura 1).

### Cálculo da densidade vegetal

A fim de realizar os cálculos de densidade vegetal, utilizou-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustada ao Solo (SAVI).

Os índices espectrais *Landsat* foram gerados em resolução espacial de 30 metros em uma grade de mapeamento *Universal Transverse Mercator* (UTM)

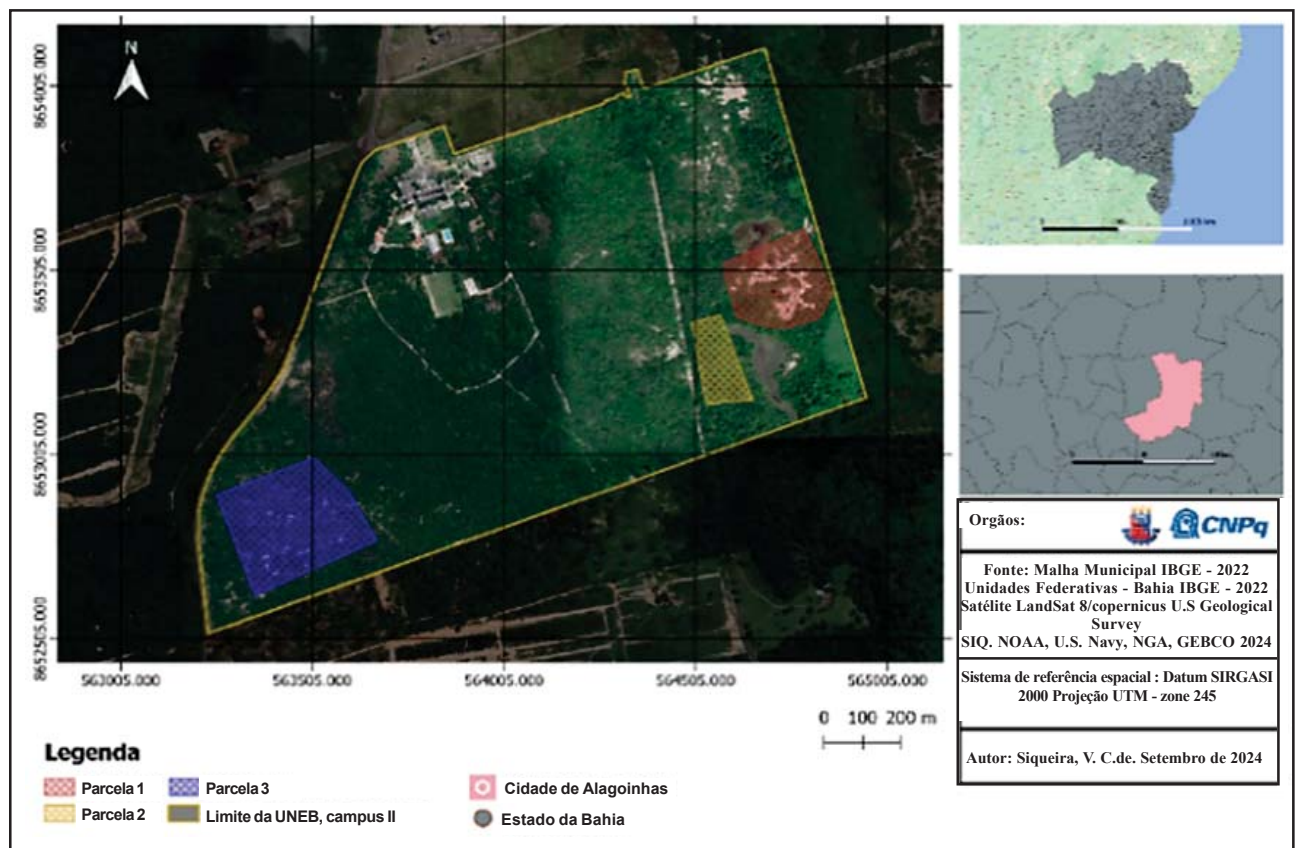


Figura 1 - Complexo vegetacional da Universidade do Estado da Bahia, Alagoinhas-BA.

ou *Polar Stereographic* (PS) (Vermote et al., 2016). Todo processo foi realizado no (SIG QGIS), versão 3.28.

Para calcular o NDVI, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Para imagens em *Landsat 8* nível 2, o R corresponde a banda 4 da imagem e; NIR, a banda 5 da imagem, onde o R representa o comprimento de onda na cor vermelha e o NIR, o comprimento de onda no infravermelho próximo.

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustada ao Solo (SAVI), que muitas vezes é utilizado para ajustar as distorções causadas pela luminosidade do solo que afetam os valores NDVI, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\text{SAVI} = ((\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R} + \text{L})) * (1 + \text{L})$$

Onde L é uma constante e seu valor pode variar de acordo com a cobertura do solo. Segundo Huete (1988, p 300), L pode variar de 0,25 a 1, indicando a densidade da vegetação obtida; onde 0,25 corresponde a vegetação com densidade alta, 0,5 a vegetação com densidade intermediária e 1, com baixa densidade.

As bandas R e NIR são as mesmas utilizadas no cálculo do NDVI. Os valores do NDVI e SAVI variam entre -1 e 1 e, quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal (Tabela 1). Quando há valores negativos, próximos de -1, isso indica a presença de corpos d'água ou nuvem, enquanto valores positivos, próximos a zero, mas não elevados, indicam que a vegetação é rala, esparsa ou há solo nu (Melo et al., 2011).

Tabela 1. Classificação da densidade dos intervalos para NDVI/SAVI.

Índice de vegetação por diferença normalizada	Densidade da vegetação
-1,0	Corpos d'água ou nuvem
0,0 - 0,2	Solo exposto
0,2 - 0,4	Vegetação escassa
0,4 - 0,6	Vegetação moderada
0,6 >	Densidade alta

Fonte: Earth Observing System Data Analytics, 2020.

### Coleta de dados

Demarcaram-se três parcelas no fragmento de mata acima citado, tendo-se como base as diferenças quanto ao percentual de cobertura vegetal, para comparações.

Em cada parcela, 25 unidades amostrais foram definidas a partir de plantas marcadas para a coleta das formigas, totalizando 75 unidades amostrais. As unidades amostrais foram delimitadas obedecendo-se à distância de 25 metros entre os pontos. Também se manteve uma distância de 50 metros da borda.

As coletas de Formicidae foram realizadas no solo, na base das plantas demarcadas, por meio de armadilhas do tipo *pitfall* e iscas de sardinha e mel. Cada armadilha permaneceu em campo por um tempo de espera padronizado de 1 hora em cada ponto de amostragem, procedimento repetido nas três parcelas estudadas. Das espécies coletadas, selecionou-se a mais frequente, com base no percentil de 95% entre as parcelas. Posteriormente, em cada parcela, foram triados 30 indivíduos de pelo menos uma espécie de formiga considerada predadora no solo, conforme as guildas propostas por Delabie, Agosti e Nascimento (2005) para a Floresta Atlântica, priorizando-se a mais frequente. Das espécies coletadas, a *Ectatomma muticum* foi escolhida por se destacar e ser a predadora mais abundante nas coletas preliminares. Foram ao todo 90 indivíduos coletados, sendo 30 em cada parcela. O documento de licença para coleta das formigas é de nº 35652-5b (SISBIO).

### Análises morfométricas

As análises morfométricas foram realizadas por meio de imagens obtidas com o auxílio do programa Capture 2.3, de uma câmera HD LITE 1080P, acoplada ao estereomicroscópio, binocular 45x bívolt, e conectada ao computador. A partir dessas imagens, procedeu-se a análise de cada indivíduo coletado.

Nas formigas, examinaram-se alguns traços morfométricos considerados funcionais e relevantes, segundo Silva e Brandão (2014), para formigas predadoras, a citar: largura e comprimento da mandíbula esquerda, que segundo os autores está relacionada com o tamanho do recurso; comprimento e largura do olho composto, que se consideram relevantes para busca do alimento; distância do olho composto à inserção da mandíbula, que impõe desempenho diferente para predadoras visuais; distância interocular, porque as predadoras, geralmente possuem olhos compostos inseridos mais distantes na cápsula cefálica do que outras espécies.

## Tratamento e análise dos dados

Foram feitas análises estatísticas para verificar diferenças entre os aspectos morfométricos e as condições ecológicas (de percentual de solo com cobertura vegetal) das parcelas amostrais. Tais análises ocorreram por meio de Análise de Variância e de Componentes Principais, feitas no PAST 3.14 e no programa computacional R, versão 4.22.

Para observação das diferenças entre as médias das variáveis entre as parcelas foi realizado o teste não-paramétrico de Mann-Whitney. Para o estudo de componentes principais (PCA), se usou o parâmetro das covariâncias, em virtude da semelhança das unidades de medidas. Todas as significâncias foram observadas a 95% de confiança.

## Resultados e Discussão

### Complexidade da vegetação

As três parcelas analisadas no Complexo Vegetacional UNEB, em Alagoinhas-BA apresentam diferenças marcantes em relação ao solo, à disponibilidade hídrica e à estrutura da vegetação, refletindo distintas condições ecológicas que influenciam a paisagem e os processos ecológicos locais.

A Parcela 1 apresenta solo arenoso, com baixa capacidade de retenção hídrica, lembrando ambientes xerófilos. No entanto, essa área é enriquecida pela presença de dois corpos d'água: um rio perene e uma área de alagamento sazonal, conhecida como "Charco". A vegetação é marcada por contrastes, com trechos totalmente abertos e expostos, áreas com vegetação esparsa e fragmentos de mata mais espaçados. Essa heterogeneidade estrutural é relevante para a dinâmica ecológica da área, especialmente por criar micro-habitats distintos em pequena escala. Os valores de NDVI variaram entre 0,30 e 0,45, com média de 0,39, enquanto os valores de SAVI oscilaram entre 0,45 e 0,68, com média de 0,60 - o que indica uma vegetação de esparsa a moderadamente densa (Tabela 2).

A Parcela 2 apresentou a vegetação mais densa entre as três, com cobertura composta por espécies arbóreas e herbáceas, proporcionando maior sombreamento e complexidade vertical. Esse ambiente possui menor exposição do solo, o que pode estar associado a uma condição edáfica mais estável e

à presença de maior quantidade de serrapilheira. Os valores de NDVI variaram entre 0,36 e 0,46, com média de 0,42 - significativamente maior em relação às outras parcelas. Já os valores de SAVI variaram de 0,55 a 0,69, com média de 0,61, mantendo a classificação de vegetação moderadamente densa (Tabela 3).

Por fim, a Parcela 3 é composta por solo rochoso e arenoso em alguns trechos, também com baixa retenção de água. A vegetação predominante é herbácea, com espécies de folhas reduzidas, adaptadas a ambientes mais secos e com maior exposição à radiação solar. Visualmente, é uma área com

Tabela 2 - Intervalos de densidade da vegetação em três parcelas, a partir do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e correlação de Dunn's entre as médias, no fragmento de Mata Atlântica do Complexo Vegetacional UNEB, Alagoinhas-BA.

Densidade da vegetação	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
Espaçada a média	0.30 > 0.35	0.36 > 0.40	0.31 > 0.35
	0.36 > 0.38	0.40 > 0.42	0.35 > 0.38
	0.39 > 0.40	0.42 > 0.43	0.38 > 0.40
Moderadamente densa	0.40 > 0.42	0.43 > 0.44	0.40 > 0.42
	0.42 > 0.44	0.44 > 0.45	0.42 >
	0.45 >	0.46 >	
Média da densidade vegetal	<b>0,3997b*</b> (espaçada a média)	<b>0,4269a</b> (espaçada a média)	<b>0,3848b</b> (espaçada a média)

\*Letras iguais na mesma linha, as médias não diferem significativamente pelo teste de Dunn's a 95% de confiança.

Tabela 3 - Intervalos de densidade da vegetação das parcelas, a partir do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e correlação de Dunn's entre as médias, no fragmento de Mata Atlântica do Complexo Vegetacional UNEB, Alagoinhas-BA.

Densidade da vegetação	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3
Moderadamente densa	0.45 > 0.53	0.55 > 0.60	0.46 > 0.52
	0.53 > 0.57	0.60 > 0.62	0.52 > 0.55
	0.57 > 0.60	0.62 > 0.64	0.55 > 0.57
Densidade alta	0.60 > 0.63	0.64 > 0.65	0.57 > 0.59
	0.63 > 0.65	0.65 > 0.68	0.59 > 0.60
	0.65 > 0.68	0.68 > 0.69	0.60 > 0.63
Média da densidade vegetal	<b>0,60325a</b> (Moderadamente densa)	<b>0,61a</b> (Moderadamente densa)	<b>0,5771a</b> (Moderadamente densa)

\*Letras iguais na mesma linha, as médias não diferem significativamente pelo teste de Dunn's a 95% de confiança.



vegetação mais espaçada e menos estratificada. O NDVI nessa parcela apresentou variação entre 0,31 e 0,42, com média de 0,38, e o SAVI variou de 0,43 a 0,63, com média de 0,57 - valores compatíveis com uma vegetação moderadamente densa, porém com tendência à menor cobertura em comparação com as demais (Tabelas 1 e 2).

De maneira geral, embora os índices apontem para uma vegetação moderadamente densa em todas as parcelas, os dados obtidos via NDVI revelam que a Parcela 2 apresenta uma densidade significativamente maior. A análise conjunta desses dados confirma a presença de diferentes graus de cobertura vegetal, refletindo um estágio médio de regeneração do fragmento como um todo, mas com mosaicos ambientais que ainda conservam elementos estruturais importantes para a biodiversidade. A presença de *E. muticum* em áreas com solo pobre e vegetação esparsa, como as Parcelas 1 e 3, reforça a importância desses ambientes para espécies adaptadas a condições mais extremas.

### Análises morfométricas

As análises morfométricas da *E. muticum* revelou variações significativas entre os indivíduos das três parcelas, refletindo as distintas condições ecológicas descritas anteriormente.

As formigas *E. muticum* da Parcela 1 tendem a ter mandíbulas mais largas e compridas, além de olhos compostos maiores em comprimento e largura, enquanto as da Parcela 3 apresentam maior distância interocular e também maior distância entre os olhos compostos e a inserção da mandíbula (Tabela 4). Indivíduos da Parcela 1 e da Parcela 3 formaram os grupos mais distintos, enquanto os da Parcela 2 se posicionaram de forma intermediária, sobrepondo-se parcialmente aos outros dois grupos. Isso foi confirmado pelos testes de Mann-Whitney, onde se detectou diferenças significativas.

Considerando a análise multivariada de componentes principais (PCA) (Figura 2), foi possível observar que o primeiro componente (PC1) contribuiu com 72,18 %, para explicar a variação dos dados de acordo as parcelas. Além disso, a largura e comprimento do olho composto e da mandíbula tiveram suas medidas muito influenciadas pela Parcela 1, ou seja, pelas suas características ecológicas (Figura 2).

Os resultados foram similares aos encontrados por Gibb e Parr (2010 e 2013), Boomsma, Baer e Heinze

Tabela 4- Largura da mandíbula, Comprimento da mandíbula, comprimento do olho composto, largura do olho composto, Distância do olho composto à inserção da mandíbula, Distância interocular.

Largura da mandíbula	
Parcelas	Média ± Desvio padrão*
1	0,88 ± 0,17 a
3	0,65 ± 0,26 b
Comprimento da mandíbula	
Parcelas	Média ± Desvio padrão*
1	2,12 ± 0,26 a
3	1,54 ± 0,63 b
Comprimento do olho composto	
Parcelas	Média ± Desvio padrão*
1	2,44 ± 0,49 a
3	0,89 ± 0,26 b
Largura do olho composto	
Parcelas	Média ± Desvio padrão*
1	1,39 ± 0,75 a
3	0,24 ± 0,22 b
Distância do olho composto à inserção da mandíbula	
Parcelas	Média ± Desvio padrão*
1	0,74 ± 0,09 a
3	1,12 ± 0,34 b
Distância interocular	
Parcelas	Média ± Desvio padrão*
1	0,63 ± 0,06 a
3	1,60 ± 0,48 b

\*Letras iguais na mesma coluna as médias não diferem significativamente pelo teste de Mann-Whitney ( $p > 0,05$ ).

(2014) e Nooten et al. (2019), pois notadamente os indivíduos da Parcela 1 possuem olhos mais dorsais, devido à menor distância interocular, e isso talvez seja uma resposta à menor complexidade do habitat. Wong & Guénard (2022) reforçam que a posição dos olhos e a largura das mandíbulas em formigas variam com o nível de exposição e complexidade do habitat, o que afeta diretamente seu comportamento de forrageamento.

A densidade da vegetação na Parcela 1 é maior que na Parcela 3, entretanto, a vegetação é espaçada, com áreas de clareira entre elas e pouca ou nenhuma serrapilheira, o que pode forçar a exploração do ambiente e a descoberta de novos recursos ou a captura de outros artrópodes para predação.



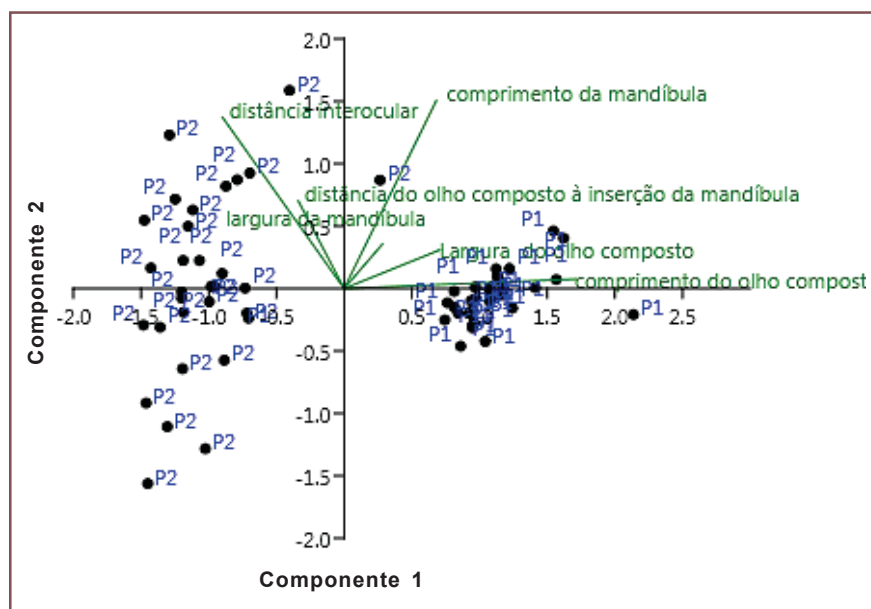


Figura 2 - Resultados estatísticos de PCA para parcela 2.

As formigas da Parcela 3 tendem a ter olhos mais laterais, pois a distância interocular foi maior nesta. Já o comprimento e largura do olho dessas formigas na Parcela 1 foram maiores do que na Parcela 3, e isso demonstra mais amplo uso da luz para a exploração em ambientes mais abertos ou quando a serrapilheira é mais esparsa (Silva & Delabie, 2012).

A Parcela 2 não apresentou diferenças estatísticas significativas em relação às outras duas na maioria das variáveis, consolidando seu padrão morfológico intermediário.

A ausência de uma morfologia distinta na Parcela 2 é, por si só, um resultado informativo. Sendo a área de vegetação mais densa e sombreada, ela pode representar um habitat “intermediário” em termos de pressão seletiva para os traços visuais e de predação medidos, não favorecendo nenhum dos extremos morfológicos observados.

As formigas que forrageiam na serrapilheira tendem a ter olhos menores, devido à baixa disponibilidade de luz, e mais laterais para uma melhor observação do ambiente, já que a dificuldade de locomoção aumenta proporcionalmente à espessura da camada de serrapilheira (Weiser & Kaspari, 2007; Nooten et al., 2019). Além disso, estudos recentes apontam que o volume e a compactação da serrapilheira também modulam a eficiência dos deslocamentos e a seleção de presas por formigas epigéicas (Silva & Souza, 2021).

Quanto ao comprimento e à largura das mandíbulas das formigas na Parcela 1, estes caracteres foram maiores em comparação com os das formigas da Parcela 3, demonstrando uma tendência à predação maior. Mandíbulas maiores demonstram maior capacidade de capturar, imobilizar e consumir presas, além de oferecer vantagens na defesa contra outras espécies de formigas predadoras (Paul & Roces, 2003), conforme demonstrado na Tabela 4.

Variação morfométrica observada entre os indivíduos coletados, mesmo dentro de uma mesma parcela, indica que fatores

ambientais sutis, os chamados microambientes, exercem influência significativa sobre o desenvolvimento de características corporais das formigas. A variação intraespecífica em insetos sociais, como as formigas, tem sido recentemente atribuída à interação dinâmica entre plasticidade fenotípica e pressão seletiva microambiental (Friedman et al., 2020; Modlmeier et al., 2021).

Essa variação intraespecífica pode ser explicada por diferenças locais na disponibilidade de recursos alimentares, na temperatura, na umidade e na incidência luminosa, todos fatores que modulam o metabolismo e o tempo de desenvolvimento das larvas (Hölldobler & Wilson, 1990; Hahn & Denlinger, 2007). Larvas melhor nutridas, por exemplo, tendem a se desenvolver em operárias maiores, com maior largura de cabeça e olhos compostos mais largos, o que pode conferir vantagens funcionais no desempenho de tarefas como forrageamento ou defesa (Tschinkel, 1991).

Um mecanismo importante que explica essa variabilidade é a plasticidade fenotípica, ou seja, a capacidade dos organismos de expressarem diferentes morfologias em resposta a variações ambientais sem que haja alterações genéticas subjacentes (West-Eberhard, 2003). Em formigas, essa plasticidade é frequentemente observada no desenvolvimento de diferentes castas (operárias menores e maiores), mas também pode ocorrer entre indivíduos da mesma casta

que vivenciam condições ambientais distintas. Traços como a distância interocular e a largura dos olhos compostos são altamente sensíveis a essas variações ambientais, especialmente quando relacionados ao microclima do ninho e à luminosidade no ambiente (Kaspari & Weiser, 2007; Friedman et al., 2020).

Além disso, não se pode desconsiderar a contribuição genética na expressão desses traços morfológicos. Mesmo em uma única parcela de coleta, é possível haver diversidade genética entre os indivíduos, especialmente em colônias poligínicas ou resultantes de múltiplos cruzamentos (Boomsma et al., 2014). Assim, a interação genótipo  $\times$  ambiente desempenha um papel essencial na variação morfométrica, modulando traços como a distância interocular, a largura e o comprimento da mandíbula e dos olhos. Essa interação é particularmente relevante quando se considera que alguns traços podem ser fortemente canalizados geneticamente, enquanto outros são mais susceptíveis à influência ambiental (Via & Lande, 1985; Schneider et al., 2003).

Outro ponto importante a ser considerado é a relação funcional dos traços morfométricos com o comportamento e a organização social da colônia. A largura da cabeça, por exemplo, está frequentemente associada à força mandibular, sendo relevante para tarefas como defesa ou transporte de recursos (Wilson, 1976). Já os olhos compostos têm um papel central na percepção visual, e seu tamanho pode refletir adaptações ao tipo de forrageamento (visual ou tátil) e ao nível de luminosidade do habitat (Greiner, 2006). Dessa forma, o ambiente

pode atuar não apenas como um agente de variação morfométrica, mas também como um fator seletivo que favorece o desenvolvimento de traços morfofuncionais específicos.

Observou-se que, mesmo dentro de uma mesma parcela, *E. muticum* apresentou variações morfométricas significativas na largura e comprimento do olho composto e da mandíbula, na distância interocular e na distância do olho composto à mandíbula. Tais resultados fornecem informações valiosas sobre a plasticidade fenotípica e a influência de microambientes (Friedman et al., 2020). Os histogramas revelam que traços funcionais ligados ao forrageamento e à dieta, como a largura e comprimento da mandíbula (Figuras 3 e 4), apresentaram uma

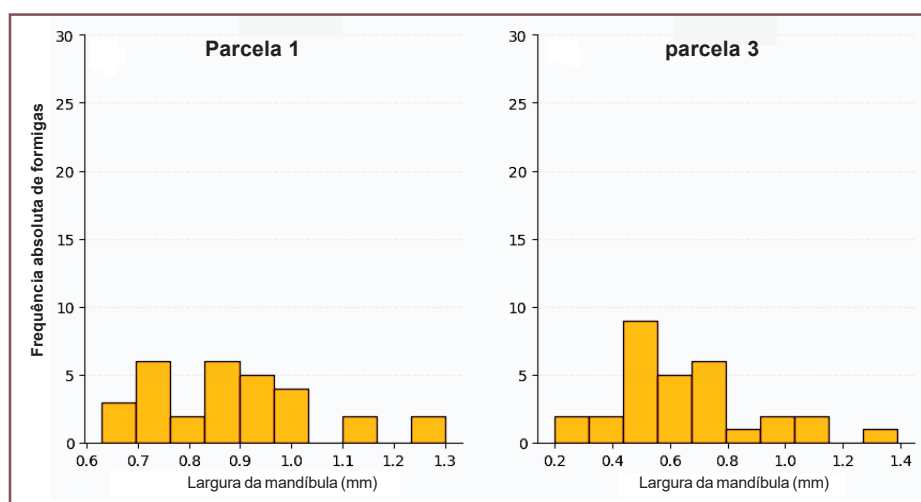


Figura 3 - Comparação da largura da mandíbula das formigas entre parcelas 1 e 3.

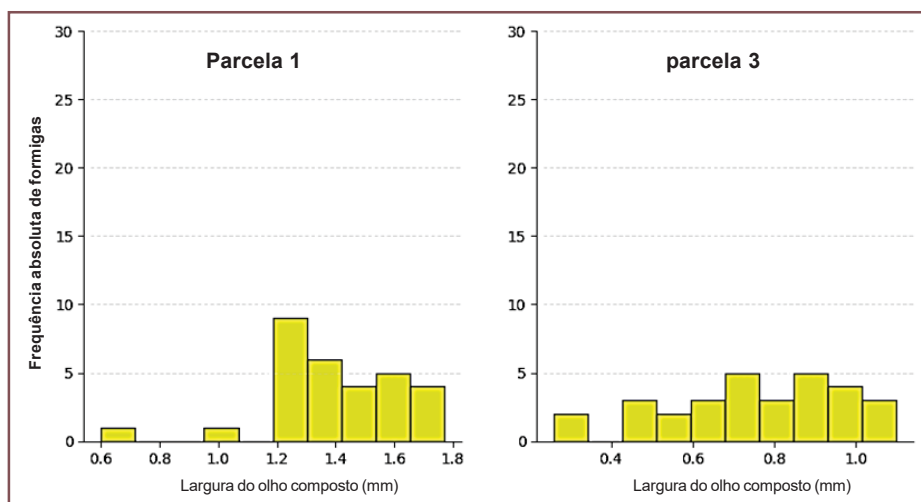


Figura 4 - Comparação da largura do olho composto das formigas entre parcelas 1 e 3.

distribuição assimétrica em todas as parcelas. Essa variabilidade sugere que, mesmo em uma área pequena, as operárias podem estar explorando diferentes recursos ou desempenhando papéis distintos que favorecem morfologias diferentes. A mesma distribuição foi observada nos outros traços aqui estudados (Figuras 5, 6, 7 e 8).

Isso sugere que microvariações ambientais, como disponibilidade de recursos ou condições microclimáticas, podem influenciar o desenvolvimento morfológico dos indivíduos. A presença dessa variabilidade pode refletir plasticidade fenotípica ou adaptações funcionais a diferentes papéis desempenhados na colônia. Essa interpretação é consistente com análises morfométricas recentes que apontam a diversidade funcional intraespecífica como um dos pilares da resiliência ecológica de colônias (Seppä et al., 2023). Medidas mais conservadas, como a distância entre olho e mandíbula, indicam possíveis restrições genéticas independentes das condições locais.

Nossos resultados oferecem suporte à hipótese do tamanho do grão (Kaspari & Weiser, 1999). A Parcela 3, com sua estrutura de vegetação herbácea e solo

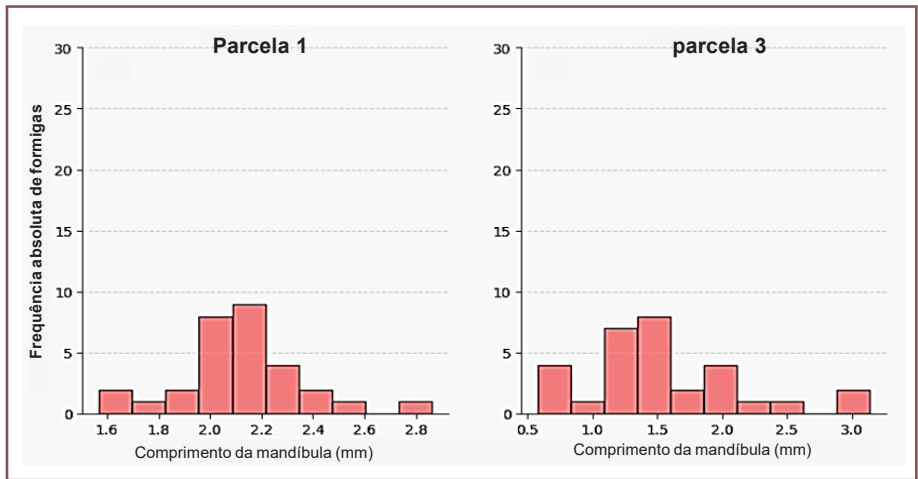


Figura 5 - Comparação do comprimento da mandíbula das formigas entre parcelas 1 e 3.

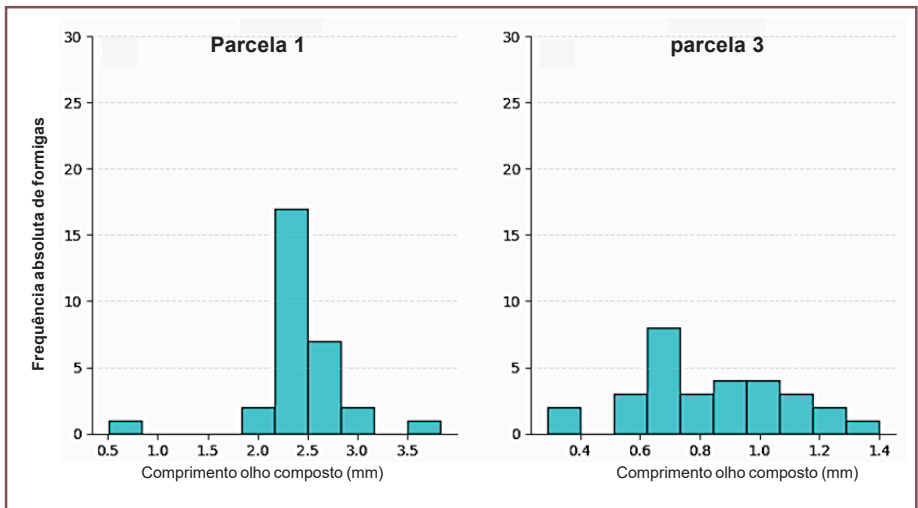


Figura 6 - Comparação do comprimento do olho composto das formigas entre parcelas 1 e 3.

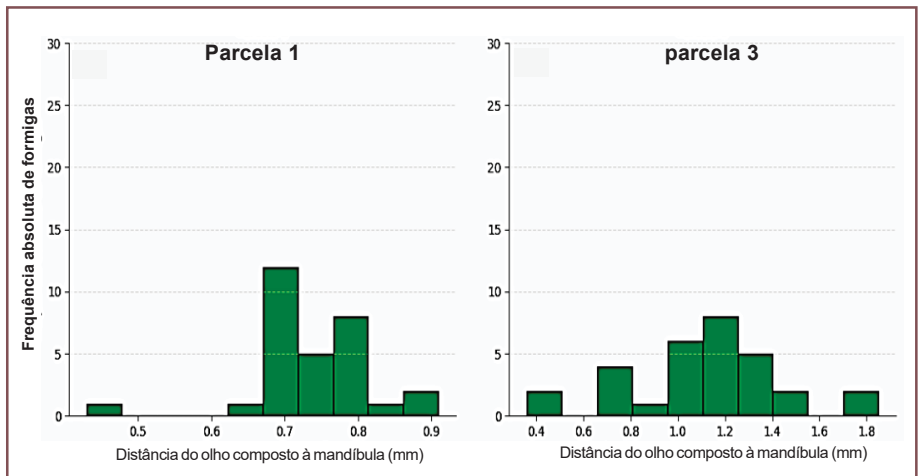


Figura 7 - Distância do olho composto à inserção entre parcelas 1 e 3.

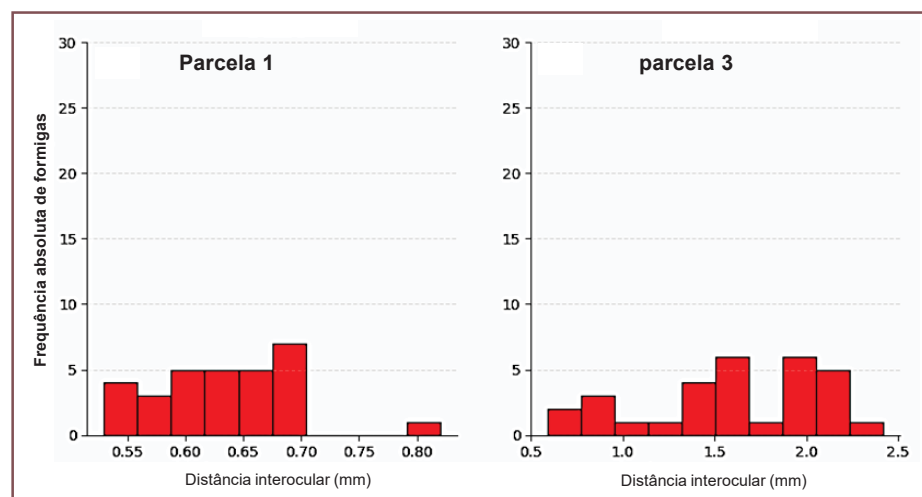


Figura 8 - Distância interocular das formigas por parcela.

irregular, pode ser percebida como um ambiente mais “rugoso” ou de grão grosso para uma formiga epigéica. A seleção para olhos mais laterais (maior distância interocular) nesta parcela é consistente com a necessidade de um campo de visão mais amplo para navegar em um terreno tridimensionalmente complexo. Em contrapartida, a Parcela 1, com suas áreas de solo exposto, assemelha-se a um ambiente de “grão fino” ou mais plano, onde a seleção certamente favorece o tamanho do olho para forrageamento visual à distância, em vez de sua posição para navegação em micro-relevo (Gibb & Parr, 2013).

Por fim, a análise gráfica dos dados reforça essas interpretações. A ampla distribuição de medidas como a largura da mandíbula e dos olhos sugere uma heterogeneidade funcional ou ambiental entre os indivíduos, ainda que provenientes de uma mesma área. Em contrapartida, a baixa variabilidade de traços como a distância entre olho e mandíbula pode indicar uma característica mais conservada evolutivamente, menos influenciada por condições externas, o que aponta para um controle genético mais rígido ou uma menor plasticidade nesse parâmetro específico (Klingenberg, 2010). Em suma, os resultados demonstram que mesmo em escalas espaciais reduzidas, como uma única parcela, há expressiva variação morfométrica entre formigas, refletindo a influência conjunta de fatores ambientais, genéticos e funcionais. Esses achados destacam a importância de considerar múltiplos níveis de variação na análise morfológica de populações naturais, especialmente em

organismos sociais como as formigas, onde a morfologia está profundamente ligada à organização ecológica e comportamental da colônia.

## Conclusão

Com este estudo, concluímos que a variação na complexidade do habitat, mesmo em um fragmento de Mata Atlântica influencia diretamente a morfologia da formiga *E. muticum*, corroborando de forma

positiva a hipótese do tamanho do grão. Os ambientes mais abertos e com menor complexidade estrutural, apresentaram formigas com olhos e mandíbulas maiores, uma possível adaptação para o forrageamento visual e captura de presas à distância. Já em ambientes mais complexos e rugosos, a seleção favorece olhos mais distantes, em posições mais laterais, o que permite maior visibilidade e melhor locomoção. A ausência de diferenciação na parcela de vegetação mais densa (Parcela 2) sugere que essas adaptações morfológicas são mais pronunciadas em extremos de complexidade ambiental. Nossos achados reforçam o potencial da morfometria de formigas como uma ferramenta sensível para avaliar a qualidade e a heterogeneidade de habitats florestais.

## Agradecimentos

Agradecemos à Universidade do Estado da Bahia pelo apoio institucional e à equipe do Museu de Zoologia pelas contribuições técnicas durante a realização da pesquisa.

## Literatura Citada

- ALMEIDA, F. S. et al. 2015. Influence of habitat and trophic position on ant morphology in a Neotropical savanna. *Ecology and Evolution* 5(20):1-12. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.1642>.
- ANDERSEN, A. N.; MAJER, J. D. 2002. Ants show the way down under: invertebrates as bioindicators in land management. *Journal of Applied Ecology*

- 39(1):8-17. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2002.00704.x>.
- AMARAL, G. C. do; VARGAS, A. B. de; ALMEIDA, F. S. 2019. Efeitos de atributos ambientais na biodiversidade de formigas sob diferentes usos do solo. *Ciência Florestal* [S. l.] 29(2): 660-672. DOI: 10.5902/1980509833811. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/33811>. Acesso em: 3 set. 2025.
- COELHO, I. R; RIBEIRO, S. P. 2019. Efeitos da Heterogeneidade Ambiental e da Sazonalidade em Assembléias de Formigas (Hymenoptera: Formicidae) no Parque Estadual do Rio Doce, MG. *Neotropical Entomology* 48(6):1014-1024.
- BOOMSMA, J. J.; BAER, B.; HEINZE, J. 2014. The evolution of male traits in social insects. *Annual Review of Entomology* 59: 453-473.
- DELABIE, J. H. C.; AGOSTI, D.; NASCIMENTO, I. C. 2005. Grupos tróficos e guildas em formigas poneromorfas. In: Brandão, C. R. F.; Silva, R. R. N. (org.). *As formigas poneromorfas do Brasil*. Ed. Universidade de São Paulo, SP. pp. 225-242.
- FRIEDMAN, N. R. et al. 2020. Morphological variation in ants: the roles of environment and development. *Biological Journal of the Linnean Society* 131(2): 218-229.
- GERAGHTY, M. J.; DUNN, R. R.; SANDERS, N. J. 2007. Body size, colony size, and range size in ants (Hymenoptera: Formicidae): are patterns along elevational and latitudinal gradients consistent with Bergmann's rule? *Myrmecological News* 10: 51-58.
- GIBB, H.; PARR, C. L. 2010. How does habitat complexity affect ant foraging success? A test using functional measures on three continents. *Oecologia* 164(4):1061-1073. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00442-010-1703-4>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- GIBB, H. et al. 2020. Ant functional traits in disturbed and undisturbed habitats. *Oecologia* 192(2): 553-567. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00442-019-04581-1>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- GIBB, H.; PARR, C. L. 2013. Does structural complexity determine the morphology of assemblages? An experimental test on three continents. *PLoS ONE* 8(5): e64005. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064005>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- GREINER, B. 2006. Visual adaptations in the night-active insect *Megalopta genalis*. *Arthropod Structure & Development* 35(4): 271-283.
- HAHN, D. A.; DENLINGER, D. L. 2007. Meeting the energetic demands of insect diapause: nutrient storage and utilization. *Journal of Insect Physiology* 53(8):760-773.
- HÖLLDOBLER, B.; WILSON, E. O. 1990. *The ants*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- KASPARI, M.; WEISER, M. D. 1999. The size-grain hypothesis and interspecific scaling in the functional ecology of the ant community. *Functional Ecology* 13(5): 594-602.
- KASPARI, M.; WEISER, M. D. 2007. The size-grain hypothesis and interspecific scaling in ants. *Functional Ecology* 21(2):263-272.
- KLUNK, M. et al. 2011. Ant morphological traits and environmental complexity: testing the size-grain hypothesis in a restinga habitat. *Sociobiology* 58 (3):577-592. Disponível em: <https://periodicos.uefs.br/index.php/sociobiology/article/view/456>. Acesso em: 3 set. 2002.
- KLINGENBERG, C. P. 2010. Evolution and development of shape: integrating quantitative approaches. *Nature Reviews Genetics* 11(9): 623-635.
- LOPES, D. T. et al. 2010. Diversidade de formigas epigéicas (Hymenoptera, Formicidae) em três ambientes no Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, Paraná. *Iheringia. Série Zoologia* 100 (1): 84-89.
- MAJER, J. D. 1997. Ants: bio-indicators of minesite rehabilitation, land-use, and land conservation. *Ecology and Society* 1(1): 8. DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-00019-010108>.
- MARTINS, L. et al. 2011. Efeito da complexidade estrutural do ambiente sobre as comunidades de formigas (Hymenoptera: Formicidae) no município de Resende, RJ, Brasil. *Revista Brasileira de Biociências* 9(2): 174-179.
- MODLMEIER, A. P. et al. 2021. Intraspecific variation and ecological consequences: advances in animal personality research. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 52: 105-124.



- MIRANDA, T. A.; SANTANNA, A. da S.; VARGAS, A. B.; ALMEIDA, F. S. 2013. Aspectos estruturais do ambiente e seus efeitos nas assembléias de formigas em ambientes de floresta e bosque. *Cadernos UniFOA* 8(21): 63-72. Disponível em: <https://doi.org/10.47385/cadunifoa8.21>. Acesso em: 29 set. 2025.
- MORAIS, A. R.; SOUZA, I. M.; SANTANA, R. J. 2022. Impacto do uso de agrotóxicos na morfologia de formigas em áreas agrícolas do Cerrado. *Ecologia e Conservação* 16(1): 35-47.
- NUNES, J. M. D. C.; MATOS, M. R. B. de. 2017. Litoral Norte da Bahia Caracterização Ambiental Biodiversidade e Conservação. EDUFBA ed. Salvador, BA. [s.n.].
- OLIVEIRA, T. L.; FREITAS, R. R.; SANTOS, J. P. 2021. Heterogeneidade estrutural da serrapilheira e sua influência na diversidade de formigas em fragmentos florestais. *Revista Brasileira de Entomologia* 65(3):1-10.
- PAUL, J.; ROCES, F. 2003. Fluid intake rates in ants correlate with their feeding habits. *Journal of Insect Physiology* 49(5): 347-357. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0022-1910\(03\)00041-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1910(03)00041-2). Acesso em: 3 jul. 2025.
- PEREIRA, J. R.; ALMEIDA, F. S. 2023. Influência da heterogeneidade ambiental sobre a mirmecofauna em diferentes usos do solo no município de Bom Despacho, estado de Minas Gerais. *Ciência Florestal* 33(3):e64534. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509864534>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- RODRIGUES, C. G. et al. 2025. O que as formigas domiciliares nos dizem sobre o atual modelo de urbanização. *Revista Biodiversidade* 24(2): 45.
- SANTOS, G. M. M. et al. 2015. Distribuição de formigas em áreas com diferentes fisionomias vegetacionais. *Revista Brasileira de Biociências* 13(3):153-160. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbb/a/xzWkBsDFDwF5QnRTJJQmRcf>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- SANTOS, V. C.; OLIVEIRA, M. S. 2020. Efeitos da altitude na diversidade funcional de formigas em matas de altitude. *Neotropical Entomology* 49(4): 523-532.
- SARTY, M.; ABBOTT, K. L.; LESTER, P. J. 2006. Habitat complexity facilitates coexistence in a tropical ant community. *Oecologia* 149(3): 465-473. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0453-9>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- SCHNEIDER, S. S. et al. 2003. The influence of hybridization between African and European bees on defensive behavior. *Insectes Sociaux* 50(2): 195-201.
- SEPPÄ, P.; HELANTERÄ, H.; SUNDSTRÖM, L. 2023. Functional morphology and adaptive radiation in ant colonies. *Ecology and Evolution* 13(4): e9954.
- SILVA, D. M.; SOUZA, F. L. 2021. Complexidade ambiental e sua relação com a diversidade morfológica de formigas tropicais. *Revista de Ecologia Teórica e Aplicada* 25(2): 140-150.
- SILVA, F. P. da; BRANDÃO, C. R. F.; AGOSTI, D. 2015. Guildas de formigas (Hymenoptera: Formicidae) em fragmentos de Mata Atlântica e sua relação com características do habitat. *Revista Brasileira de Entomologia* 59(1): 35-42. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rbe.2014.09.006>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- SILVA, R. R.; DELABIE, J. H. C. 2012. Influência da estrutura do solo e da serrapilheira na morfologia das formigas. *Iheringia, Série Zoologia*, 102(3):303-309. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/19559>. Acesso em: 3 jul. 2025.
- TSCHINKEL, W. R. 1991. Insect sociometry, a field in search of data. *Insectes Sociaux* 38(1): 77-82.
- VERMOTE, E.; JUSTICE, C.; CLAVIRIE, M.; FRANCH, B. 2016. Análise preliminar do desempenho do produto de reflectância superficial terrestre Landsat 8/OLI. *Sensoriamento Remoto do Meio Ambiente*. pp.46-56.
- VIA, S.; LANDE, R. 1985. Genotype-environment interaction and the evolution of phenotypic plasticity. *Evolution* 39(3): 505-522.
- WONG, M. K. L. et al. 2022. Trait-mediated competition drives an ant invasion and alters functional diversity. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 289, n. 1977, p. 20220504. DOI: 10.1098/rspb.2022.0504. Acesso em: 3 jul. 2025.

## PREDATORY ANTS OF THE GENUS *Leptogenys* Roger, 1861 (FORMICIDAE, PONERINAE) FROM BAHIA, BRAZIL, PRESERVED IN THE "COLEÇÃO DO LABORATÓRIO DE MIRMECOLOGIA DO CENTRO DE PESQUISAS DO CACAU"

*Marcelo Pauletti Filho*<sup>1,2</sup>, *Esperidião Alves dos Santos-Neto*<sup>2</sup>, *Daniela Cubillos*<sup>3</sup>,  
*Jacques Hubert Charles Delabie*<sup>2,4</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Santa Cruz, Departamento de Ciências Biológicas, Ilhéus, Bahia, Brasil. mpauletti.bbi@uesc.br

<sup>2</sup>Centro de Pesquisas do Cacau CEPEC-CEPLAC, Laboratório de Mirmecologia, Ilhéus, Bahia, Brasil.  
esperidiaoasneto@gmail.com

<sup>3</sup>Universidade Federal do Paraná, Laboratório de Biossistemática de Formigas, Programa de Pós-Graduação em Entomologia, Curitiba, Paraná, Brasil. danielaccc.55@gmail.com

<sup>4</sup>Universidade Estadual de Santa Cruz, Programa de Pós-Graduação em Zoologia, Ilhéus, Bahia, Brasil.  
jacques.delabie@agro.gov.br

The genus *Leptogenys* is the most diverse within the subfamily Ponerinae, consisting of agile predators of soil and leaf litter with nocturnal habits, specialized mainly in isopods. In this study, 580 specimens of the genus were analyzed, collected in the state of Bahia and deposited in the ant collection at the Myrmecology Laboratory of the Centro de Pesquisas do Cacau. Nine species were identified, with *L. langi* reported as a new record for the state, including three morphospecies that may represent undescribed taxa. A distribution map is provided, as well as natural history information for *L. arcuata*.

**Key words:** Biological collection, diversity, leaf-litter, Atlantic Forest.

**Formigas predadoras do gênero *Leptogenys* Roger, 1861 (Formicidae, Ponerinae) da Bahia, Brasil, preservadas na Coleção do Laboratório de Mirmecologia do Centro de Pesquisa do Cacau.** *Leptogenys* é o gênero de formigas mais diverso da subfamília Ponerinae, constituído por espécies predadoras e ágeis, do solo e da serrapilheira, que possuem um comportamento noturno e são especializadas principalmente em isópodes. Neste estudo, foram analisados 580 espécimes, coletados no estado da Bahia e depositados na coleção de formigas do Laboratório de Mirmecologia do Centro de Pesquisas do Cacau. Nove espécies foram identificadas, sendo *L. langi* um novo registro para o estado, além de três morfoespécies que podem representar táxons não descritos. Apresenta-se um mapa de distribuição geográfica, e são acrescentadas informações de história natural para *L. arcuata*.

**Palavras-chave:** Coleção biológica, diversidade, serrapilheira, Mata Atlântica.

## Introduction

The ant genus *Leptogenys* Roger, 1861 (Formicidae, Ponerinae) is the most diverse within the subfamily, comprising 320 valid species predominantly distributed across tropical and subtropical regions of the world, although some representatives also occur in temperate zones (Lattke 2011; Tozetto et al., 2022; Bolton, 2025). In the Neotropical Region, 85 species are currently known (Lattke, 2011; Lopez-Muñoz et al., 2018; Tozetto et al., 2021; Cavalcanti & Lattke, 2024), with approximately 20 more species being described as part of specific taxonomic reviews for Central America and Brazil (Cavalcanti et al. in prep; Cubillos & Lattke, in prep.). These ants exhibit remarkable morphological and behavioral diversity, with body sizes ranging from 2.1 to 14.5 mm. Their mandibles, adapted for predation, vary from falcate to triangular. However, the primary diagnostic feature of the genus is the presence of pectinate tarsal claws (Schmidt & Shattuck, 2014).

These ants are specialized predators, primarily targeting terrestrial isopods (Oniscidea), although some species also prey on termites (Isoptera) and earwigs (Dermaptera) (Schmidt & Shattuck, 2014). In the Neotropical Region, colonies typically consist of around 20 to 30 workers but may reach up to 50 individuals (Lattke, 2011). In Southeast Asia, however, some species exhibit army ant-like behavior, forming colonies with up to 50,000 workers and displaying generalist predatory habits (Maschwitz et al., 1989). *Leptogenys* spp. nest in the soil, leaf litter, pre-existing cavities, or decaying wood, and only rarely in vegetation, typically occurring in environments where potential prey is abundant (Dejean, 1997). Although mostly found in humid forests, *Leptogenys* species have also been recorded in semi-arid regions of Africa (Bolton, 1975) and Australia (Shattuck, 1999).

Most known reproductive females of *Leptogenys* are ergatoid queens (wingless and morphologically similar to workers), suggesting that colony foundation occurs through fission (Peeters, 1991). However, some species, such as *Leptogenys langi* Wheeler, 1923, possess winged queens, while others, like *Leptogenys schwabi* Forel, 1913, exhibit gamergates that are physiologically capable of reproduction (Davis, 1994). Their thorax is reduced, as they do not require flight

muscles, making them morphologically very similar to workers. However, they can be distinguished by a more developed gaster, which is adapted for egg production and oviposition (Peeters, 1991; Schmidt & Shattuck, 2014).

The genus is considered difficult to collect due to its nocturnal activity (Bolton, 1975; Lattke & Longino, 2009), rapid movements, and evasive behavior when disturbed (Lattke, 2011). Ward (2000) observed that *Leptogenys* comprised only 6% of the ants found in leaf litter samples, with just a single species, *Leptogenys pusilla* Emery, 1890; highlighting how scarce these ants are in samples and the taxonomic challenges associated with the genus.

With more than 560,000 km<sup>2</sup>, the state of Bahia encompasses three of Brazil's biomes: Caatinga (dry forest region covering 64% of the territory), Cerrado (Brazilian savanna with 18%, comprising the São Francisco Plateau and Paranaguá Depression ecoregions), and Atlantic Forest (18%, primarily along the coast and in the south) (IBGE, 2004; Faleiro, 2015). This convergence of biomes, combined with the region's high biodiversity and unique ecological features, makes Bahia a particularly important area for biodiversity studies.

Silva et al. (2022) compiled information on ant records for the Atlantic Forest known to date; the dataset contains 153,818 ant records corresponding to 1,114 ant species identified with updated taxonomic certainty and 2,235 morphospecies codes. A total of 114 records have been documented for *Leptogenys* in the state of Bahia, corresponding to eight species and three morphospecies, primarily derived from literature sources.

The ant collection of the Myrmecology Laboratory at the Centro de Pesquisas do Cacau (CPDC) is undoubtedly the most important in the Brazilian Northeast, housing about 500,000 specimens collected from various studies on regional ants (mainly in the Atlantic Forest of Bahia and Espírito Santo). Additionally, the collection includes a representative portion of the Amazonian fauna, with specimens originating from poorly sampled regions, such as French Guiana (Delabie et al., 2020).

The genus *Leptogenys* has few species records available in the literature from northeastern Brazil, highlighting the need for further surveys in transitional

areas such as those found in Bahia. In this context, the aim of the present study is to list the *Leptogenys* species occurring in Bahia, based on the holdings of the CPDC Ant Collection, and to provide detailed data on all specimen records deposited therein. This contribution seeks to help bridge the knowledge gap regarding these ants in northeastern Brazil.

## Material and Methods

### Organization and systematization of the material

All *Leptogenys* individuals collected in the state of Bahia and deposited in the CPDC (Delabie et al., 2020) were analyzed. Information associated with the specimens (collection method, location, date, collector, etc.) was retrieved from CEPLAC's historical records, which encompass collections from 1986 to the present. Each specimen was cataloged and assigned a permanent registration number. The standardization of specimen-associated data (including taxonomic, collection, determination, curation, and material status information) was conducted using Microsoft Excel®, based on the Ant Specimen Data Requirements spreadsheet available on AntWeb ([www.antweb.org](http://www.antweb.org)).

### Taxonomic identification

Species-level identification was conducted based on the key provided by Lattke (2011) and was cross-checked with the original species descriptions. Males were not identified to the species level due to the lack of identification keys and detailed descriptions, except for *Leptogenys unistimulosa* Roger, 1863, and *Leptogenys arcuata* Roger, 1861. New records were validated through a review of the records previously documented by Lattke (2011) and Silva et al. (2022).

### High-resolution photographs

Specimens were photographed using a Leica M165C

stereomicroscope equipped with a Leica DMC 290 camera, utilizing an Automontage image capture system from the Myrmecology Laboratory (CEPLAC-UESC-UFSB). The images were combined using Zerene Stacker software, edited with GIMP 2.10 (GNU Image Manipulation Program, 2024), and the final plates were created using the vector design program Inkscape (Inkscape v.1.3, 2023).

### Geographic distribution

Distribution of the specimens was mapped using the geographic coordinates provided on the collection labels. When coordinates were unavailable, they were approximated to the municipal headquarters of the corresponding locality using the GeoNames platform (<https://www.geonames.org/>). Maps were generated in QGIS 3.32 (QGIS Development Team, 2023), using shapefiles of the state of Bahia and its biomes provided by the Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

## Results and Discussion

A total of 580 specimens were analyzed, including 345 workers, two ergatoids queens, one queen, and 232 males, distributed across nine species (Figure 1). *Leptogenys unistimulosa* was the most common species, with 259 specimens, of which 185 were males, all of them collected using Malaise traps in a reserve in Porto Seguro. It was followed by *L. arcuata*, with 151 specimens (32 males), and *Leptogenys crudelis*

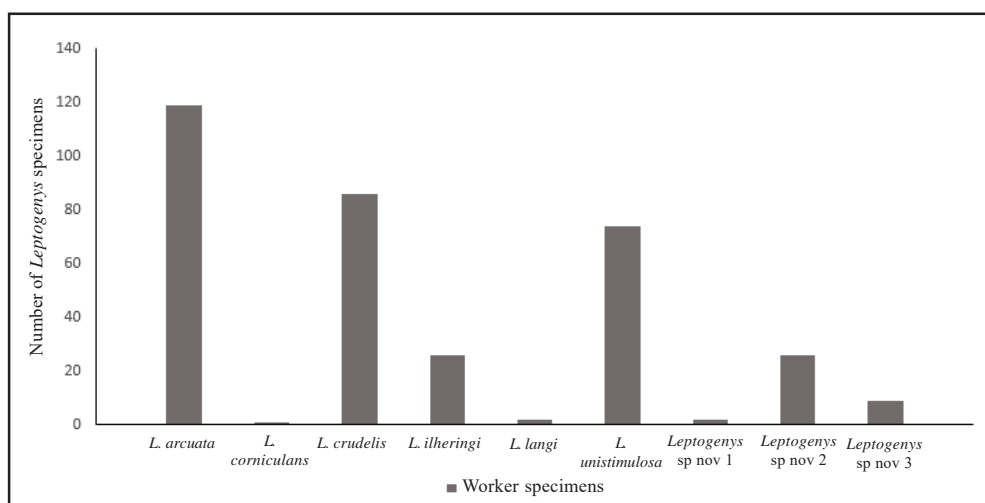


Figure 1. Number of *Leptogenys* worker specimens per species deposited at CPDC.



Borgmeier, 1933, with 87 specimens, including one ergatoid queen. These three species accounted for over 80% of the sampled material. In contrast, *Leptogenys langi* Wheeler, 1923, and *Leptogenys corniculans* Lattke, 2011, represented less than 1% of the specimens. Notably, three undescribed species were identified (Cubillos & Lattke, in prep.).

For graphical representation purposes (Figure 1), it is important to note that male data were excluded, as the large number of *L. unistimulosa* males could bias the interpretation of the results.

In the most recent taxonomic revision of the genus for the Neotropical Region by Lattke (2011), four species were listed for the state of Bahia, all of them were recorded from Ilhéus or Itabuna: *Leptogenys arcuata*, *L. corniculans*, *L. crudelis* and *Leptogenys iheringi* Forel, 1911. Additionally, in the Atlantic Forest ant dataset, eight additional species are listed, in addition to the four mentioned above: *L. bohlsi*, *L. pusilla*, *L. linearis* and *L. unistimulosa*, found in 31 municipalities (Silva et al., 2022). It is important to note

that *L. bohlsi* can easily be confused with *L. unistimulosa*, while *L. pusilla* is a species found in Central America (Lattke, 2011; Cavalcanti et al., in prep.). Some Brazilian collections have identified specimens as *L. pusilla*, given their small size (TL: 3–5 mm) and short flagellomeres. Cubillos & Lattke (in prep.) have distinguished these specimens as potential new species due to observed morphological and distributional differences with *L. pusilla*. For the *Leptogenys* specimens from Bahia deposited at the CPDC, these forms are listed here as *Leptogenys* sp. nov. 1 and *Leptogenys* sp. nov. 3.

The *Leptogenys* specimens from the CPDC are distributed along the Central Corridor of the Atlantic Forest in 40 municipalities in Bahia. *Leptogenys arcuata* is the most widely distributed species, recorded in 15 municipalities, followed by *L. unistimulosa*, present in 14 municipalities. In contrast, *L. corniculans* and *L. langi* were collected only in the municipality of Ilhéus and in an undetermined locality within the Cacao Region, respectively (Figure 2). Although the Cerrado and

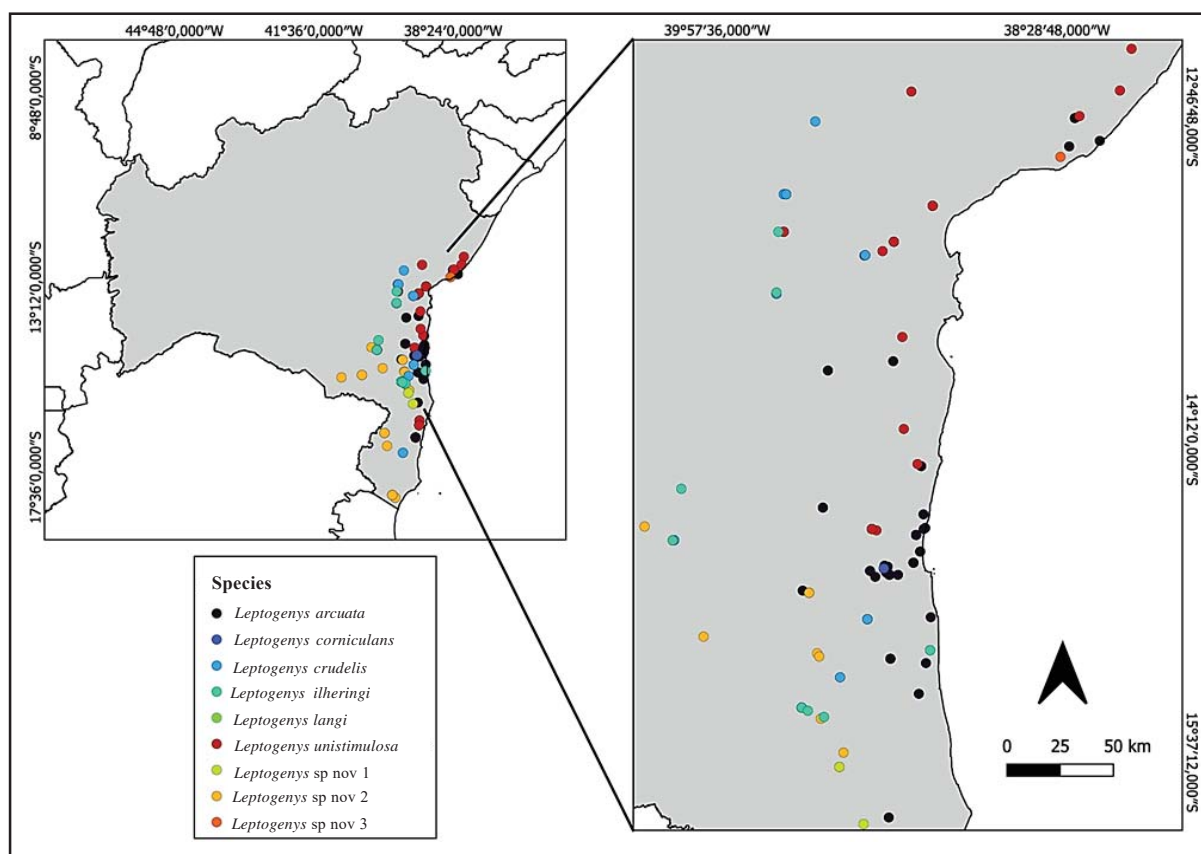


Figure 2. Distribution map of *Leptogenys* species in the state of Bahia, based on specimen records deposited in the CPDC Ant Collection.

Caatinga biomes occupy most of the territory of Bahia, there are currently no records of *Leptogenys* from these biomes in the CPDC collection. The concentration of collects in the southern part of the state reflects a sampling bias due to the proximity of the CPDC Ant Collection, housed at CEPLAC in Ilhéus, which explains the higher sampling effort in adjacent areas. Consequently, the lack of records from other regions highlights the need for broader collection efforts across the state.

Additionally, we report a new taxon for the state: *Leptogenys langi* (Figure 3), which is known in Brazil for the states of Amazonas and Pará (Lattke, 2011). This record consists of two workers and one queen on a single pin (CPDC-0001841). The specimens were collected from an uncertain locality in the Cacao Region of Bahia.

Ant sampling in the experimental fields of the “Estação Experimental Arnaldo Medeiros” (ESARM) of CEPLAC in Ilhéus, Bahia, yielded six *Leptogenys* species: *L. arcuata*, *L. corniculans* (type locality), *L. crudelis*, *L. iheringi*, *L. unistimulosa*, and one undescribed species. This represents a notably high species richness, especially when compared to the total

diversity known for the state of Bahia. Notably, *L. corniculans* appears to be a potentially endemic species, currently known only from a single specimen collected in the ESARM experimental fields; however, this apparent geographic restriction may reflect the sampling bias mentioned previously.

The CPDC collection also houses highly valuable specimens of *Leptogenys*, including the holotype of *L. corniculans* (CPDC-0001206; Figure 4) collected on ESARM grounds, and even from other countries, such as French Guiana, as is the case of the holotype of *Leptogenys panops* Lattke, 2011. In both cases, these species are known only from these single specimens. With the description of new species, the number of type specimens for the genus is likely to increase in the collection.

Over time, field observations on the collection and behavior of *L. arcuata* (Figure 5) have been recorded. Notably, a foraging or migratory column composed of approximately ten workers moving in single file, without brood, was observed - a behavioral pattern similar to that reported for other congeners (Delabie, pers. obs., 2025). This behavior has frequently been documented in other species of the genus, such as *Leptogenys*

*distinguenda* (Emery, 1887) in Malaysia and *Leptogenys intermedia* Emery, 1902 in South Africa (Witte & Maschwitz, 2000; Duncan & Crewe, 1994). *Leptogenys arcuata* has also been frequently collected from a variety of microhabitats, including inside fallen *Cariniana* sp. (jequitibá, Lecythidaceae) fruits and in suspended soil associated with bromeliads of the genus *Hohenbergia* (Santos-Neto, pers. obs., 2025).

A taxonomic review of the genus *Leptogenys* in Brazil is currently underway, and to date, 12 species have been identified in the state of Bahia, including four possible new species (Cubillos &

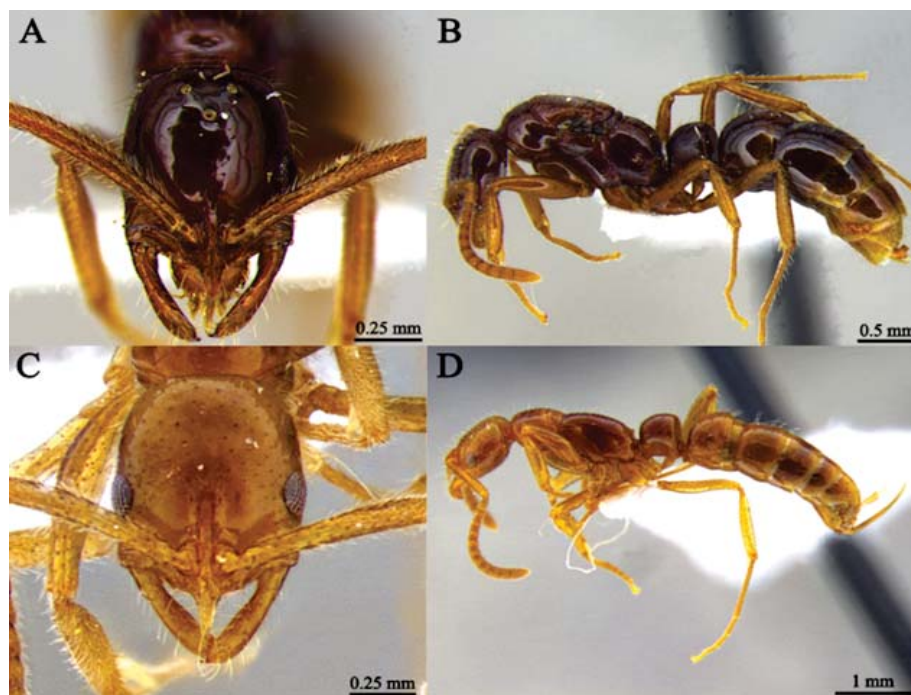


Figure 3. *Leptogenys langi* Wheeler, 1923. A-B. Queen (CPDC-0001841, bottom specimen): A. Head in full-face view; B. Full body in lateral view. C-D. Worker (CPDC-0001841, top specimen): C. Head in full-face view. D. Full body in lateral view.

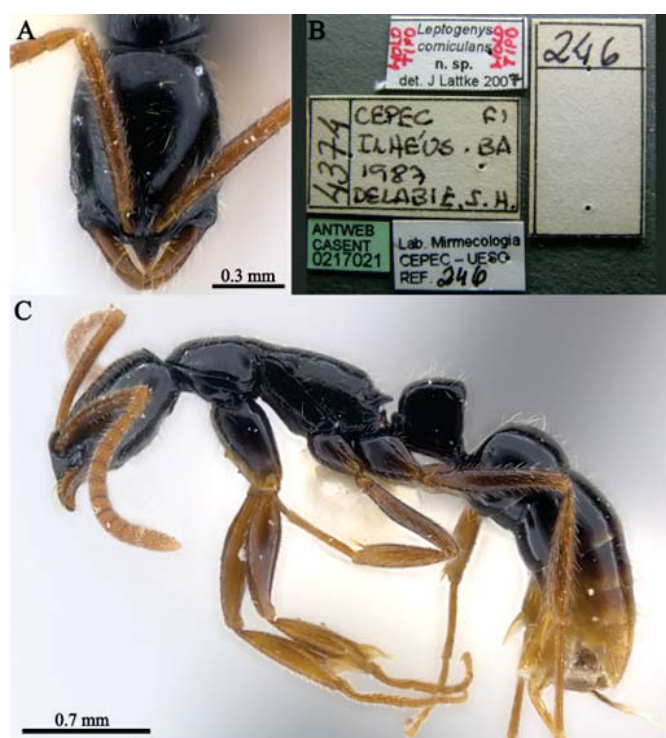


Figure 4. *Leptogenys corniculans* Holotype (CPDC-0001206). A. Head in full-face view; B. Label; C. Body in lateral view. Images by: E. Prado, available at AntWeb.org.



Figure 5. Worker of *Leptogenys arcuata* Roger, 1861 foraging in the experimental areas of the Centro de Pesquisas do Cacau, Ilhéus, Bahia, Brazil. (Photograph: Esperidião A. dos Santos-Neto).

Lattke, in prep). It is noteworthy that material from three of these new species is housed in the CPDC collection. The CPDC contains representations of the 75% of the known species for Bahia, and 26.5% of the *Leptogenys* diversity in Brazil.

## Conclusions

This study records the occurrence of six identified species of the genus *Leptogenys* in the state of Bahia, in addition to three morphospecies that likely represent taxa yet to be formally described. Furthermore, a new taxon previously unrecorded for the state (*Leptogenys langi*) was documented, expanding our knowledge of the group's geographic distribution. The findings highlight the limited taxonomic, biogeographic, and ecological knowledge of the genus in northeastern Brazil and underscore the crucial role of biological collections, such as that of CPDC, in documenting and understanding biodiversity. Continued sampling efforts, particularly in transitional zones and underexplored biomes of Bahia, are essential to fill existing gaps in our understanding of the diversity and natural history of these ants.

## Acknowledgments

We are grateful to John Lattke and Joshua Cavalcanti for their insightful discussions regarding the *Leptogenys* of the Neotropical Region. DC thanks the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for her grant (88887.910734/2023-00). Thanks are also due to CNPq for MPF's scientific initiation scholarship and for JHCD's fellowship grant.

## Literature Cited

- ANTMAPS. 2025. Disponível em <https://antmaps.org/>. Acesso em 16 de janeiro de 2025.
- ANTWEB. Version 8.108. California Academy of Science, online at <https://www.antweb.org>. Acesso em 16 de janeiro de 2025.
- BOLTON, B., 2025. An online catalog of the ants of the world. Disponível em: <https://antcat.org/>. Acessado em 18 de janeiro de 2025.
- BOLTON, B. 1975. A revision of the ant genus *Leptogenys* Roger (Hymenoptera: Formicidae) in the Ethiopian region with a review of the Malagasy species. Bulletin of the British Museum (Natural History). Entomology 31: 235-305.



- CAVALCANTI, J. P.; LATTKE, J. E. 2024. *Leptogenys pujoli*, a new Amazonian species, and the redescription of *Leptogenys famelica* Emery, 1896 (Formicidae: Ponerinae). *Revista Brasileira de Entomologia* 68(2): e20240012.
- DEJEAN, A. 1997. Distribution of colonies and prey specialization in the ponerine ant genus *Leptogenys* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology* 29: 293-300.
- DELABIE, J. H. C. et al. 2020. A Coleção de Formicidae do Centro de Pesquisas do Cacau (CPDC), Ilhéus, Bahia, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais* 15(1): 289-305. <https://doi.org/10.46357/bcnaturais.v15i1.293>
- DELABIE, J.H.C. et al. 2021. Sampling and analysis methods for ant diversity assessment. In: SANTOS, J. C.; FERNANDES, G. W. (eds.) *Measuring Arthropod Biodiversity - A Handbook of Sampling Methods*, Basel: Springer, 13-54. ISBN 978-3-030-53225-3.
- DUNCAN, F. D.; CREWE, R. M. 1994. Group hunting in a ponerine ant, *Leptogenys nitida* Smith. *Oecologia* 97:118-123.
- EMERY, C. 1890. Studiî sulle formiche della fauna neotropica. *Bullettino della Società Entomologica Italiana* 22:38-80.
- FALEIRO, F. G. 2015. Ecossistema do cerrado na Bahia: possibilidades de desenvolvimento agrícola sustentável e sugestões de linhas de pesquisa. In: *Potencial de agricultura sustentável na Bahia: possibilidades e sugestões de linhas de pesquisa por ecossistemas*. Embrapa - CPAC, Brasília - DF. pp.29-40.
- FOREL, A. 1911. Ameisen des Herrn Prof. v. Ihering aus Brasilien (Sao Paulo usw.) nebst einigen anderen aus Südamerika und Afrika (Hym.). *Deutsche Entomologische Zeitschrift* 1911:285-312.
- FOREL, A. 1913. Ameisen aus Rhodesia, Kapland usw. (Hym.) gesammelt von Herrn G. Arnold, Dr. H. Brauns und Anderen. *Deutsche Entomologische Zeitschrift* 1913(Suppl.):203-225.
- GIMP Development Team - GIMP. 2025. GNU Image Manipulation Program (GIMP), Version 3.0.4. Community, Free Software (license GPLv3). Available in: <https://www.gimp.org/>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 2004. Mapa de biomas e de vegetação. Available on: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. [Access in: 09.IV.2025].
- INKSCAPE 1.3.2. 2023. Inkscape draw freely. Open Invention Network, LLC (OIN). Available in: <https://inkscape.org/release/inkscape-1.3.2/>
- LATTKE, J. E. 2011. Revision of the New World species of the genus *Leptogenys* Roger (Insecta: Hymenoptera: Formicidae: Ponerinae). *Arthropod Systematics and Phylogeny* 69: 127-264.
- LATTKE, J.; LONGINO, J. 2009. *Leptogenys* of Costa Rica. Disponível em: <http://academic.evergreen.edu/projects/ants/genera/leptogenys/home.html>. Acessado em 18 de janeiro de 2025.
- MASCHWITZ, U. et al. 1989. A South East Asian ponerine ant of the genus *Leptogenys* (Hymenoptera: Formicidae) with army ant life habits. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 24: 305-316
- PEETERS, C. 1991. A ocorrência de reprodução sexuada entre formigas operárias. *Biological Journal of the Linnean Society* 44 (2): 141-152.
- QGIS. Development team. (2023) GISA Free and Open Source Geographic Information System.
- ROGER, J. 1861. Die Ponera-artigen Ameisen. *Berliner Entomologische Zeitschrift* 5(1-2): 1-54.
- ROGER, J. 1863. Die neu aufgeführten Gattungen und Arten meines Formiciden-Verzeichnisses nebst Ergänzung einiger früher gegebenen Beschreibungen. *Berliner Entomologische Zeitschrift* 7:131-214.
- SANTOS, R. J. et al. 2017. An assessment of leaf-litter and epigaeic ants (Hymenoptera: Formicidae) living in different landscapes of the Atlantic Forest Biome in the State of Bahia, Brazil. *Journal of Insect Biodiversity* 5(19): 1-19.
- SCHMIDT, C. A.; SHATTUCK, S. O. 2014. The higher classification of the ant subfamily



- Ponerinae (Hymenoptera: Formicidae), with a review of ponerine ecology and behavior. *Zootaxa* 3817 (1): 1-242.
- SHATTUCK, S. O. 1999. Australian Ants. Their Biology and Identification. Collingwood, Victoria: CSIRO Publishing, xi + 226p.
- SILVA, R. R. et al. 2022. ATLANTIC ANTS: a data set of ants in Atlantic Forests of South America. *Ecology* 103(2): e03580. DOI: <https://doi.org/10.1002/ecy.3580>
- SMITH, F. 1858. Catalogue of hymenopterous insects in the collection of the British Museum. Part VI. Formicidae. London: British Museum 216p.
- TOZETTO, L.; CHAUL, J. C. M.; BOUDINOT, B. E. et al. 2022. Review of the *Leptogenys unistimulosa* species group (Hymenoptera: Formicidae) with the description of a new Amazonian species. *Revista Brasileira de Entomologia* 66 (3): 1-17.
- WARD, P. S. 2000. Broad-scale patterns of diversity in leaf litter ant communities. in: AGOSTI, D.; MAJER, J. D.; ALONSO, L. E.; SCHULTZ, T. R. (eds.) *Ants. Standard Methods for Measuring and Monitoring Biodiversity*. pp99-121. Washington: Smithsonian Institution Press, xix + 280p.
- WITTE, V.; MASCHWITZ, U. 2000. Raiding and emigration dynamics in the ponerine army ant *Leptogenys distinguenda*. *Insectes Sociaux* 47: 76-83.
- WHEELER, W. M. 1923. The occurrence of winged females in the ant genus *Leptogenys* Roger, with descriptions of new species. *American Museum Novitates* 90:1-16. ●

## Appendix

### Records of *Leptogenys* species from Bahia deposited in the CPDC Collection:

♀ = worker, ♂ = male, q = queen, eq = ergatoid queen.

#### *Leptogenys arcuata* Roger, 1861

**Brasil, BA:** Belmonte, Barrolândia, Crispim, S., 27.iv.1988, (CPDC-0001828, one ♀); Canavieiras, Oiticica, J. C. S. do Carmo & J. R. M. Santos, 09.X.1998, (CPDC-0001784, three ♀); Ibicaraí, Casimiro, A. B., 18.II.1992, (CPDC-0001785, one ♀); KM41, 14°53'75"S, 39°29'01"W, J.R.M. Santos, 21.XI.1998, (CPDC-0001974, one eq); J.R.M. Santos, 21.XI.1998, (CPDC-0001947, two ♀); J.R.M. Santos, 21.XI.1998, (CPDC-0001948, three ♀); Igrapiúna, Reserva Michelin, Varjão, S. L. S., 01.V.2012, (CPDC-0001787, three ♀); Ilhéus, CEPEC, Assis, J., 01.IV.1996, (CPDC-0001806, one ♀); B. Jahyny, 07.VII.2002, (CPDC-0001817, three ♀, one ♂); B. Santos, 23.VII.1991, (CPDC-0001792, three ♀); B. Santos, 24.VII.1991, (CPDC-0001793, two ♀, one ♂); B. Santos, 25.VII.1991, (CPDC-0001794, three ♀); B. Santos, 26.VII.1991, (CPDC-0001795, three ♀); Blatrix, R., 24.XI.1989, (CPDC-0001789, one ♀); Delabie, J.H.C., 12.X.1986, (CPDC-0001788, three ♀); Delabie, J.H.C., 09.VIII.1991, (CPDC-0001796, one ♀); Delabie, J.H.C., 19.XI.1991, (CPDC-0001797, one ♀); Delabie, J.H.C., 23.X.1991, (CPDC-0001798, one ♀); Delabie, J.H.C., 30.I.1992, (CPDC-0001799, one ♀); H. Santos, 01.IV.1996, (CPDC-0000184, one ♂); Ivan, C., 14.X.1992, (CPDC-0001803, one ♀); J.R.M. Santos, 01.IV.1997, (CPDC-0001810, three ♀); J.R.M. Santos, 01.X.1996, (CPDC-0001809, one ♀); J.R.M. Santos, 12.VII.1996, (CPDC-0001807, five ♀); J.R.M. Santos, 12.VII.1996, (CPDC-0001808, three ♀); J.R.M. Santos, 25.VII.2006, (CPDC-0001820, two ♀, one ♂); Majer, J. D., 01.II.1998, (CPDC-0001815, one ♀); P. Terra, 15.X.1986, (CPDC-0000165, one ♂); P. Terra, 11.II.1987, (CPDC-0000166, two ♂); P. Terra, 10.XI.1987, (CPDC-0000167, one ♂); 23-24.IV.1987, (CPDC-0000168, one ♂); P. Terra, 27.II.1987, (CPDC-0000169, one ♂); P. Terra, 13.IV.1988, (CPDC-0000170, one ♂); 26.XI.1987-88, (CPDC-0000171, one ♂); P. Terra, 25.II.1988, (CPDC-0000172, one ♂); P. Terra, 09.III.1988, (CPDC-0000173, one ♂); P. Terra, 10.III.1988, (CPDC-0000174, one ♂); P. Terra, 12.IV.1988, (CPDC-0000175, one ♂); P. Terra, 13.IX.1989, (CPDC-0000176, one ♂); Ramos, L. S., 11.IX.1997, (CPDC-0001813, one ♀); Ramos, L. S., 11.IX.1997, (CPDC-0001814, one ♀); S. Lacau, 24.III.2003, (CPDC-0001819, one ♀, one ♂); Silveira, J. E., 20.IV.1993, (CPDC-0001804, one ♀); CEPLAC, Delabie, J.H.C., 23.X.1991, (CPDC-0001798, one ♀); CEPLAC, J.R.M. Santos, 04.XI.2002, (CPDC-0001818, three ♀); CEPLAC, Santos JRM, 25.VII.2006, (CPDC-0001463, three ♀); Est. do Japú, Santos JRM, 23.IX.1997, (CPDC-0001674, two ♀); FESPI[UESC], Delabie, J.H.C., 13.XI.1991, (CPDC-0001797, one ♀); Faz. Nova Esperança, Ramos, L. S., 11.IX.1997, (CPDC-0001814, one ♀); Fazenda Primavera, Carmo, J. C. S., 01.VI.1997, (CPDC-0001811, two ♀); Fazenda Primavera, Santos, M. F. S., 01.VI.1997, (CPDC-0001812, three ♀); Mangue, J.R.M. Santos, 20.I.1997, (CPDC-0001944, one ♀); Olivença, Mello, V. R. L., 06.I.2001, (CPDC-0001805, five ♀); P. Norte Restinga, Delabie, J.H.C., 10.III.1991, (CPDC-0001790, two ♀); Same data as CPDC-0001790, (CPDC-0001791, three ♀); Ponta do Ramo, 14°31'46"S, 39°03'43"W, J.R.M. Santos,

28.VIII.1998, (CPDC-0001816, one ♀); Ponta do Ramo, Carmo, J. C. S., 02.X.1998, (CPDC-0001824, four ♀); Praia S. Domingo, Furst, M., 13.III.1992, (CPDC-0001801, one ♂); 14°44'10"S, 39°06'00"W, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2011, (CPDC-0001821 two ♀); ; Same data as CPDC-0001821, (CPDC-0001822, one ♀); Same data as CPDC-0001821, (CPDC-0001823, one ♀); B. Jahyny, 15.XI.2008, (CPDC-0001686, two ♀); Itabuna, Jar. Vitória, Delabie, J.H.C., 12.IV.1991, (CPDC-0001825, one ♀); Itabuna, S. Lacau, 18.VII.1993, (CPDC-0001826, one ♀); Itabuna, Delabie, J.H.C., 05.VII.2008, (CPDC-0001827, one ♂); Itacaré, J.R.M. Santos, 30.VII.1998, (CPDC-0001829, two ♀); Same data as CPDC-0001829, (CPDC-0001830, three ♀); Itororó, J.R.M. Santos & D. Oliveira Campos, 01.III.2000, (CPDC-0001952, one ♀); Lauro de Freitas, Busca Vida, Travassos, M. L. O., 01.VI.2010, (CPDC-0001831, one ♀); Porto Seguro, 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 04.X.1997, (CPDC-0000178, one ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 11.X.1997, (CPDC-0000179, one ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 25.X.1997, (CPDC-0000180, one ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 18.X.1997, (CPDC-0000181, one ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 08.XI.1997, (CPDC-0000182, one ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 11.XI.1997, (CPDC-0000183, one ♂); Presidente Tancredo Neves, 13°23'24"S, 39°18'57"W, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2011, (CPDC-0001832, one ♀); Salvador, Melo, T. S., 01.VIII.2012, (CPDC-0001833, three ♀); Simões Filho, CIA, S. Lacau, 03.VIII.1993, (CPDC-0001834, one ♀ [medium], four ♂); Same data as CPDC-0001834, (CPDC-0001835, four ♀); Una, Cocoa Agroforest, 15°18'19.7"S, 39°09'19.6"W, W. DaRocha, 01.II.2009, (CPDC-0001941, one ♀, one ♂); Same data as CPDC-0001941, (CPDC-0001942, two ♀); Same data as CPDC-0001941, (CPDC-0001843, two ♀); Una, EDJAB, Furst, M., 13.V.1992, (CPDC-0001802, three ♀); Una, FP. Benton, 04-09.IX.1990, (CPDC-0000177, one ♂).

***Leptogenys corniculans* Lattke, 2011**

**Brasil, BA:** Ilhéus, CEPEC, J. H. Delabie, 1987, Holotype (CPDC-0001206, one ♀).

***Leptogenys crudelis* (Smith, 1858)**

**Brasil, BA:** Arataca, S Terra, 4407871E, 8311869N, Santos JRM, 05.VII.2007, (CPDC-0001610, one ♀); Buerarema, Fazenda Itororó, JR Maia, Luisa Elisângela, JC Soares, 27.IV.2006, (CPDC-0001611, three ♀); Fazenda Itororó, JR Maia, Luisa Elisângela, JC Soares, 27.IV.2006, (CPDC-0001614, two ♀); Fazenda Prazeres dos Anjos, JR Maia, Luisa Elisângela, JC Soares, 27.IV.2006, (CPDC-0001612, two ♀); Same data as CPDC-0001612, (CPDC-0001613, three ♀); Same data as CPDC-0001612, (CPDC-0001615, three ♀); Same data as CPDC-0001612, (CPDC-0001616, four ♀); Same data as CPDC-0001612, (CPDC-0001617, three ♀); Same data as CPDC-0001612, (CPDC-0001618, three ♀); Same data as CPDC-0001612, (CPDC-0001619, three ♀); Camacã, RPPN Serra Bonita, 15°23'35.7"S, 39°33'55.6"W, B. Jahyny, 25.X.2006, (CPDC-0001639, one ♀); Same data as CPDC-0001639, (CPDC-0001640, four ♀); Same data as CPDC-0001639, (CPDC-0001641, three ♀); Camacã, Serra Bonita, 15°23'25"S, 39°33'47"W, Santos, J. R. M. & Costa, G. B., 08.IX.2007, (CPDC-0001631, two ♀); Same data as CPDC-0001631, (CPDC-0001632, one ♀); Same data as CPDC-0001631, (CPDC-0001633, two ♀); Same data as CPDC-0001631, (CPDC-0001634, two ♀); Same data as CPDC-0001631, (CPDC-0001635, one ♀); Same data as CPDC-0001631, (CPDC-0001636, three ♀); Same data as CPDC-0001631, (CPDC-0001637, one ♀); Same data as CPDC-0001631, (CPDC-0001638, one ♀, one eq); Same data as CPDC-0001631, (CPDC-0001647, three ♀); Same data as CPDC-0001631, (CPDC-0001648, four ♀); Same data as CPDC-0001631, (CPDC-0001649, three ♀); Same data as CPDC-0001631, (CPDC-0001650, three ♀); Same data as CPDC-0001631, (CPDC-0001651, one ♀); Iguai, 14°38'35"S, 40°08'52"W, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2012, (CPDC-0001620, one ♀); Same data as CPDC-0001620, (CPDC-0001642, one ♀); Same data as CPDC-0001620, (CPDC-0001643, one ♀); Same data as CPDC-0001620, (CPDC-0001644, one ♀); CEPEC, Delabie, J.H.C., 19.VIII.1987, (CPDC-0001622, two ♀); CEPEC, JRM Santos, 01.IV.1996, (CPDC-0001623, three ♀); CEPEC, Smith, M., 07.III.1991, (CPDC-0001621, one ♀); Same data as CPDC-0001621, (CPDC-0001702, one ♀); Itamaraju, 13°27'14"S, 39°27'14"W, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2011, (CPDC-0001669, one ♀); Same data as CPDC-0001669, (CPDC-0001670, two ♀); Presidente Tancredo Neves, 13°23'24"S, 39°18'57"W, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2011, (CPDC-0001645, one ♀); Santa Terezinha, Serra da Jibóia, Soares, I. M. F., 17.IX.2001, (CPDC-0001624, one ♀); Ubaíra, 13°07'18"S, 39°40'13"W, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2011, (CPDC-0001625, two ♀); Same data as CPDC-0001625, (CPDC-0001646, one ♀); Wenceslau Guimarães, 13°33'34"S, 39°42'07"W, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2011, (CPDC-0001626, one ♀); Same data as CPDC-0001626, (CPDC-0001627, one ♀); Same data as CPDC-0001626, (CPDC-0001628, one ♀); Same data as CPDC-0001626, (CPDC-0001629, two ♀).



### ***Leptogenys iheringi* Forel, 1911**

**Brasil, BA** - Arataca, Conj. Luzitânia, Alves, M. C., 01.I.1988, (CPDC-0001665, one ♀); Boa Nova, M. Úmida T6, 14°25'01.9"S, 40°06'58.6"W, Souza, A. S., 01.X.2014, (CPDC-0001961, one ♀); Buerarema, J.R.M. Santos, 22.XI.1996, (CPDC-0001663, three ♀); Camacã, RPPN Fazenda Paris, Santos-Neto, E. A., 13.VII.2021, (CPDC-0001668, three ♀); RPPN Serra Bonita, 15°23'35.7"S, 39°33'55.6"W, B. Jahyny, 25.X.2006, (CPDC-0001673, two ♀); Serra Bonita, 15°23'25"S, 39°33'47"W, Santos, J. R. M. & Costa, G. B., 08.IX.2007, (CPDC-0001962, two ♀); Iguaí, 14°38'35"S, 40°08'52"W, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2012, (CPDC-0001964, one ♀); Same data as CPDC-0001964, (CPDC-0001967, one ♀); Same data as CPDC-0001964, (CPDC-0001968, one ♀); Same data as CPDC-0001964, (CPDC-0001969, one ♀); Same data as CPDC-0001964, (CPDC-0001963, one ♀); CEPEC-G, C. Moreira, 01.IV.1996, (CPDC-0001666, two ♀); R. M. P. Cordeiro, 19.XI.1993, (CPDC-0001664, one ♀); Una, Cajueiro, -15.12692, -30.03277, Caitano, B., (CPDC-0001971, one ♀); Same data as CPDC-0001971, (CPDC-0001972, one ♀); Ubaíra, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2011, (CPDC-0001703, one ♀); 13°07'18"S, 39°40'13"W, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2011, (CPDC-0001965, one ♀); Same data as CPDC-0001965, (CPDC-0001966, one ♀); Wenceslau Guimarães, 13°33'34"S, 39°42'07"W, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2011, CPDC-0001970, one ♀).

### ***Leptogenys langi* Wheeler, 1923**

**Brasil, BA:** (Lost loc.), "Região Cacaueira", J.R.M. Santos, 01.I.1999, (CPDC-0001841, two ♀, one q).

### ***Leptogenys unistimulosa* Roger, 1863**

**Brasil, BA** - Camaçari, Melo, T. S., 21.VIII.2012, (CPDC-0001843, one ♀); Cruz das Almas, Res. Embrapa, Delabie, J.H.C., 15.IX.1995, (CPDC-0001844, three ♀); Itacaré, RPPN Pedra do Sabiá, B. Jahyny, 21.VII.2006, (CPDC-0001905, one ♀); Ituberá, Delabie, J.H.C., 08.III.1994, (CPDC-0001845, one ♀); Jaguaripe, 13°10'22"S, 39°01'19"W, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2011, (CPDC-0001846, two ♀); Same data as CPDC-0001846, (CPDC-0001847, one ♀); Same data as CPDC-0001846, (CPDC-0001848, two ♀); Same data as CPDC-0001846, (CPDC-0001849, one ♀); Same data as CPDC-0001846, (CPDC-0001899, one ♀); Same data as CPDC-0001846, (CPDC-0001900, one ♀); Same data as CPDC-0001846, (CPDC-0001901, one ♀); Same data as CPDC-0001846, (CPDC-0001902, one ♀); Same data as CPDC-0001846, (CPDC-0001903, one ♀); Same data as CPDC-0001846, (CPDC-0001904, one ♀); Maraú, Santos, H.J dos, 27.VI.1997, (CPDC-0000163, one ♂); Mata de São João, Praia do Forte, Delabie, J.H.C., 27.VI.1991, (CPDC-0001906, one ♀); Porto Seguro, ESPAB, 16°23'18"S, 39°10'53"W, J.R.M. Santos et al., 25.VII.2007, (CPDC-0001911, two ?&); Same data as CPDC-0001911, (CPDC-0001912, three ♀); Same data as CPDC-0001911, (CPDC-0001913, three ♀); Same data as CPDC-0001911, (CPDC-0001914, three ♀); Same data as CPDC-0001911, (CPDC-0001915, three ♀); Same data as CPDC-0001911, (CPDC-0001916, three ♀); Same data as CPDC-0001911, (CPDC-0001917, three ♀); Same data as CPDC-0001911, (CPDC-0001918, one ♀); Porto Seguro, Santos, H.J dos, 16.VIII.1997, (CPDC-0000098, three ♂); Santos, H.J dos, 16.VIII.1997, (CPDC-0000099, three ♂); Same data as CPDC-0000099, (CPDC-0000100, three ♂); Same data as CPDC-0000099, (CPDC-0000101, two

♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 20.IX.1997, (CPDC-0000102, three ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 23.IX.1997, (CPDC-0000103, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. SANTOS & H.J.S., 23.IX.1997, (CPDC-0000104, three ♂); 30.IX.1997, (CPDC-0000105, three ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 30.IX.1997, (CPDC-0000106, three ♂); Same data as CPDC-0000106, (CPDC-0000107, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. SANTOS & H.J.S., 30.IX.1997, (CPDC-0000108, two ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 04.X.1997, (CPDC-0000109, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 07.X.1997, (CPDC-0000110, three ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 11.X.1997, (CPDC-0000111, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 14.X.1997, (CPDC-0000112, three ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 18.X.1997, (CPDC-0000113, three ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 21.X.1997, (CPDC-0000114, three ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 25.X.1997, (CPDC-0000115, three ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 03.XI.1997, (CPDC-0000116, three ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 04.XI.1997, (CPDC-0000117, one ♂); Same data as CPDC-0000117, (CPDC-0000118, three ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 08.XI.1997, (CPDC-0000119, three ♂); Same data as CPDC-0000119, (CPDC-0000120, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 11.XI.1997, (CPDC-0000121, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. SANTOS & H.J.S., 02.XII.1997, (CPDC-0000122, four ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 16.XII.1997, (CPDC-0000123, three ♂); Same data as CPDC-0000123, (CPDC-0000124, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 20.XII.1997, (CPDC-0000125, three ♂); J.R.M. Santos, 23.XII.1997, (CPDC-0000126, three ♂); J.R.M. Santos, 30.XII.1997, (CPDC-0000127, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 03.I.1998, (CPDC-0000128, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 06.I.1998, (CPDC-0000129, two ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 10.I.1998, (CPDC-0000130, three ♂); J.R.M. Santos, 13.I.1998, (CPDC-0000131, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 17.I.1998, (CPDC-0000132, three ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 20.I.1998, (CPDC-0000133, three ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 24.I.1998, (CPDC-0000134, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 27.I.1998, (CPDC-0000135, three ♂); J.R.M. Santos, 31.I.1998, (CPDC-0000136, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 03.II.1998, (CPDC-0000137, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 07.II.1998, (CPDC-0000138, three ♂); Same data as CPDC-0000138, (CPDC-0000139, three ♂); Same data as CPDC-0000138, (CPDC-0000140, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 10.II.1998, (CPDC-0000141, three ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 13.II.1998, (CPDC-0000142, three ♂); 14.II.1998, (CPDC-0000143, three ♂); J.R.M. Santos, 19.II.1998, (CPDC-0000144, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 19.II.1998, (CPDC-0000145, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 23.II.1998, (CPDC-0000146, three ♂); J.R.M. SANTOS & H.J.S., 07.III.1998, (CPDC-0000147, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 14.IV.1998, (CPDC-0000148, three ♂); Same data as CPDC-0000148, 21.IV.1998, (CPDC-0000149, three ♂); Same data as CPDC-0000148, 05.V.1998, (CPDC-0000150, three ♂); Same data as CPDC-0000148, 08.V.1998, (CPDC-0000151, one ♂); 09.V.1998, (CPDC-0000152, three ♂); 15°40'10"S 38°58'63"W, J.R.M. Santos, 11.V.1998, (CPDC-0000153, three ♂); Same data as CPDC-0000153, 12.V.1998, (CPDC-0000154, three ♂); Same data as CPDC-0000153, 16.V.1998, (CPDC-0000155, three ♂); Same data as CPDC-0000153, 19.V.1998, (CPDC-0000156, three ♂); Same data as CPDC-0000153, 02.VI.1998, (CPDC-0000157, three ♂); Same data as CPDC-0000153, 06.VI.1998, (CPDC-0000158, one ♂); Same data as CPDC-0000153, 09.VI.1998, (CPDC-0000159, one ♂); Same data as CPDC-0000153, 16.VI.1998, (CPDC-0000160, one ♂); Porto Seguro, 30.VI.1998, (CPDC-0000161, three ♂); Porto Seguro, J.R.M. Santos, 17.II.1998, (CPDC-0000164, one ♂); Presidente Tancredo Neves, 13°23'24"S, 39°18'57"W, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2011, (CPDC-0001907, one ♀); Same data as CPDC-0001907, (CPDC-0001908, one ♀); Same data as CPDC-0001907, (CPDC-0001909, one ♀); Same data as CPDC-0001907, (CPDC-0001910,

one ♀); Santa Cruz de Cabralia, J. Alves Santos, 07.II.1993, (CPDC-0001919, one ♀); ESPAB, 15.VIII.1997, (CPDC-0001920, three ♀); Simões Filho, CIA, S. Lacau, 02.VIII.1993, (CPDC-0001921, three ♀); Ubaíra, 13°07'18"S, 39°40'13"W, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2011, (CPDC-0001922, two ♀); Same data as CPDC-0001922, (CPDC-0001923, one ♀); Same data as CPDC-0001922, (CPDC-0001924, one ♀); Same data as CPDC-0001922, (CPDC-0001925, one ♀); Same data as CPDC-0001922, (CPDC-0001926, one ♀); Same data as CPDC-0001922, (CPDC-0001927, two ♀); Same data as CPDC-0001922, (CPDC-0001928, one ♀); Same data as CPDC-0001922, (CPDC-0001929, one ♀); Uruçuca, CEPLAC, 14°36'S, 39°16'W, NA, 23.VII.1997, (CPDC-0001930, one ♀); Uruçuca, 14°36'S 39°16'W, 23.VII.1997, (CPDC-0000162, three ♂); Valença, Argolo, 20.II.1992, (CPDC-0001931, three ♀); 13°19'51"S, 39°11'27"W, C. Leite, T. Porto et al., 01.I.2011, (CPDC-0001932, one ♀); Same data as CPDC-0001932, (CPDC-0001933, one ♀); Same data as CPDC-0001932, (CPDC-0001934, one ♀); Same data as CPDC-0001932, (CPDC-0001935, one ♀); Same data as CPDC-0001932, (CPDC-0001936, one ♀); Same data as CPDC-0001932, (CPDC-0001937, one ♀); Same data as CPDC-0001932, (CPDC-0001938, one ♀); Same data as CPDC-0001932, (CPDC-0001939, one ♀); Same data as CPDC-0001932, (CPDC-0001940, one ♀).

***Leptogenys* sp. nov. 1 (Cubillos & Lattke, in prep.)**

**Brasil, BA:** Belmonte, 48°31'24"S, 82°18'47"W, Nascimento, I. C., 21.I.2007, (CPDC-0001692, one ♀); Mascote, (Pimenta), 15°34'38"S, 39°24'36"W, Santos JRM, 19.III.1999, (CPDC-0001693, one ♀).

***Leptogenys* sp. nov. 2 (Cubillos & Lattke, in prep.)**

**Brasil, BA** - Camacã, -15.42769, -39.50818, J.R.M. Santos, 27.VIII.1999, (CPDC-0001945, one ♀); Guaratinga, J.R.M. Santos, 06.XII.2002, (CPDC-0001946, one ♀); Same data as CPDC-0001946, (CPDC-0001747, one ♀); Guaratinga, (CPDC-0001652, one ♀); Itambé, Leoncio-Mata, 14°36'67"S, 04°20'23"W, J.R.M. Santos, 06.VIII.2003, (CPDC-0001749, one ♀); J.R.M. Santos, 07.II.2004, (CPDC-0001950, one ♀); J.R.M. Santos, 08.II.2004, (CPDC-0001951, one ♀); Itororó, J.R.M. Santos & D. Olivei'ra Campos, 01.III.2000, (CPDC-0001952, one ♀); Jussari, 15°08'26"S, 39°31'29"W, J.R.M. Santos, 26.V.1999, (CPDC-0001953, one ♀); Mata A36, J.R.M. Santos, 26.VIII.2002, (CPDC-0001954, one ♀); Mascote, A-57, 15°34'38"S, 39°24'36"W, J.R.M. Santos, 19.III.1999, (CPDC-0001955, one ♀); A-63, J. C. S. do Carmo, 11.XI.1999, (CPDC-0001956, three ♀); Monte Pascoal, 16°52'03"S, 39°55'03"W, J.R.M. Santos, 18.VII.1997, (CPDC-0001957, one ♀); Mucuri, Cacau, J. C. S. do Carmo & J. R. M. Santos, 07.VII.2001, (CPDC-0001958, one ♀); Same data as CPDC-0001958, (CPDC-0001959, one ♀); RPPN Boqueirão da Mata, 18°04'07"S, 39°43'53"W, Caitano, B.Koch, E.Santos-Neto, E., 01.XII.2019, (CPDC-0001769, CPDC-0001770, two ♀); Poções, 15°36'53"S, 40°20'28"W, J.R.M. Santos, 15.II.2004, (CPDC-0001960, one ♀); Ibicaraí, J.R.M. Santos, 21.XI.1998, (CPDC-0001947, two ♀); Same data as CPDC-0001947, (CPDC-0001948, three ♀); KM41, 14°53'75"S, 39°29'01"W, J.R.M. Santos, 21.XI.1998, (CPDC-0001974, one ergatoid queen); Vitória da Conquista, 14°47'37"S, 40°43'23"W, Carmo, J. C. S. do, 20.IV.2004, (CPDC-0001683, one ♀).

***Leptogenys* sp. nov. 3 (Cubillos & Lattke, in prep.)**

**Brasil, BA** - Ilhéus, CEPEC, S. Lacau, 12.I.2002, (CPDC-0001697, three ♀); Faz. Atrás do CEPEC, S. Lacau, 22.VI.2003, (CPDC-0001695, one ♀); Salvador, Melo, T. S., 04.VI.2019, (CPDC-0001696, five ♀).



**Unidentified males:*****Leptogenys* sp A**

**Brasil, BA** - Ilhéus, CEPEC, Nakayama, K, 12.I.2001, (CPDC-0000185, one ♂); Same data as CPDC0000185, (CPDC-0000186, two ♂); Same data as CPDC-0000185, (CPDC-0000187, three ♂); Same data as CPDC-0000185, (CPDC-0000188, three ♂).

***Leptogenys* sp B**

**Brasil, BA** - Ilhéus, CEPEC, Nakayama, K, 10.I.2001, (CPDC-0000189, one ♂); Same data as CPDC-0000189, (CPDC-0000190, two ♂); Same data as CPDC-0000189, (CPDC-0000191, one ♂).

***Leptogenys* sp C**

**Brasil, BA** - Ilhéus, CEPEC, Nakayama, K, 10.I.2001, (CPDC-0000192, one ♂); Same data as CPDC-0000192, (CPDC-0000193 (one ♂)).

## SPATIAL ANALYSIS OF COCOA CULTIVATION AREAS WORLDWIDE: A SYSTEMATIC REVIEW AND BIBLIOMETRIC SYNTHESIS

*Clayton Alexandre do Amaral<sup>1</sup>, Alex Mota dos Santos,<sup>1</sup> Carlos Fabricio Assunção da Silva<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Center of Agroforestry Sciences and Technologies, Federal University of Southern Bahia, Rodovia Ilhéus/Itabuna, Km 22, Itabuna, 45604-811, Brazil. clayton.amaral@cja.ufsb.edu.br, alexmota@ufsb.edu.br;

<sup>2</sup>Graduate Program in Geodetic Sciences and Geoinformation Technologies. Department of Cartographic Engineering, Center of Technologies and Geosciences, Federal University of Pernambuco, UFPE, Avenida Acadêmico Hélio Ramos, Cidade Universitária, s/n, Recife, 50740-530, Brazil. carlos.assuncao@ufpe.br.

Agriculture is crucial in global food security and economic development, contributing sustainably to environmental conservation. In light of this potential, this study aims to identify and characterize the global scientific output related to spatial analyses in cocoa cultivation areas. The methodology involved a systematic literature review, supported by Artificial Intelligence tools applied to the Web of Science and Scopus databases on July 15, 2025 using predefined search strings, 455 records were screened. The main findings revealed a marked increase in publications starting in 2010. Brazil is a leading contributor to this body of research, underscoring the national significance of cocoa cultivation and the country's consistent institutional engagement. The reviewed studies predominantly focus on local and regional scales, addressing edaphic factors, productivity, pests, and disease dynamics. Geostatistics emerged as the most frequently employed methodology for spatial analysis, with techniques such as kriging and semivariograms being commonly applied.

**Key words:** Literature review, *Theobroma cacao* L., geographic modeling.

### **Análise espacial das áreas de cultivos de cacau no mundo: Uma revisão sistemática e síntese bibliográfica.**

A agricultura desempenha um papel central na segurança alimentar global e no desenvolvimento econômico, além de contribuir para a preservação ambiental quando praticada de forma sustentável. Tendo em vista esse potencial, o objetivo da pesquisa é identificar e descrever a produção científica ao nível global sobre as análises espaciais em áreas de cultivo de cacau. A metodologia contemplou a revisão de literatura sob as perspectivas bibliométrica e sistemática por meio do uso de Inteligência Artificial aplicada às bases Web of Science e Scopus. Os principais resultados revelaram que o Brasil se destaca como protagonista na produção científica sobre estudos que envolvem análises espaciais em áreas de cultivos de cacau, o que reforça a relevância nacional da cultura do cacau e o envolvimento institucional consistente no país. Os estudos analisados se concentram predominantemente em escalas locais e regionais, abordando aspectos edáficos, produtividade, doenças e pragas. A geoestatística é a metodologia mais recorrente para análises espaciais, frequentemente empregando técnicas como krigagem e semivariogramas.

**Palavras-chave:** Revisão de literatura, *Theobroma cacao* L., modelagem geográfica.

## Introduction

Cocoa (*Theobroma cacao* L.) is a commercially significant global crop, serving as an economic backbone for millions of smallholder farmers and contributing substantially to the economies of tropical regions across Africa, Latin America, and Southeast Asia (Kongor, Owusu, Oduro-Yeboah, 2024). However, cocoa cultivation systems face increasing challenges, including climate change, outbreaks of pests and diseases, soil degradation, and shifts in land-use patterns, all of which threaten productivity, sustainability, and livelihoods (Kongor, Owusu; Oduro-Yeboah, 2024; Koralewicz, Vlcek, Menor, 2025).

Spatial analysis of agricultural data has become essential for both scientific research and practical applications. It plays a key role in optimizing resources, mitigating risks, and ensuring food security, in line with the paradigm of smart agriculture driven by digital technologies, data analytics, and predictive modeling (Cesco, 2023). Agricultural landscapes shaped by complex socio-environmental dynamics exhibit clear spatial differentiations that can be effectively analyzed using geospatial tools (Chen, Wang, Meng, 2023).

Over recent decades, spatial analysis has emerged as a powerful tool for understanding agroecosystem dynamics, offering insights into spatial heterogeneity, ecological interactions, and socio-environmental trade-offs (Chen *et al.*, 2022; Geetha, 2022; Ozsahin; Ozdes, 2022; Zhao; Wang, Pham, 2023). This approach, encompassing Geographic Information Systems (GIS), remote sensing, spatial statistics, and geospatial modeling, provides a robust framework for mapping, monitoring, and managing agricultural landscapes.

In cocoa cultivation, these technologies support the identification of optimal growing conditions (Totti, 2024), monitoring of deforestation and biodiversity loss (Schroth *et al.*, 2016), and evaluation of climate resilience strategies (Schroth *et al.*, 2016; Igawa; Toledo, Anjos, 2022). Despite their potential, the application of spatial analysis in cocoa agroforestry systems remains underdeveloped, with most studies being limited to specific regions or focusing on isolated variables, such as productivity or disease spread.

To this end, meta-analyses systematically combine and synthesize findings from multiple studies within a given research domain (Paul and Barari, 2022). These

analyses are a cornerstone of scientific inquiry, as the search for references in library collections or digital platforms reveals what has been said and by whom on a given topic (Schulz, 2022).

This becomes even more relevant considering that, according to Linnenluecke *et al.* (2020), such analytical perspectives are fundamental to academic research, enabling the consolidation of existing knowledge and the assessment of the current state of a scientific field. As Rowley and Paul (2021) emphasize, scientific knowledge is built upon the accumulated results of prior research, with individual studies serving as foundational building blocks. Several studies exemplify this approach, including the work of Tey and Brinday (2022), who analyzed 23 years of scientific output to quantify the influence of underlying factors on the adoption of precision agriculture. Visscher *et al.* (2024) conducted a meta-analysis to assess the potential impacts of agroforestry systems at the continental scale in Latin America, including cocoa cultivation areas. Their findings highlight the significant potential of agroforestry systems to enhance biological activity and biodiversity in mountainous regions of Latin America (Visscher *et al.*, 2024).

Our study addresses this gap by identifying the leading methodologies and geographic regions where research is most concentrated. Furthermore, it consolidates essential information regarding the most significant studies applying spatial analysis to cocoa cultivation.

The systematic review aimed to identify and describe: (a) the most frequently employed methodologies in cocoa-related research utilizing spatial analysis; (b) the geographic regions most prominently represented in cocoa studies; (c) Investigate the predominance of spatial analyses at different scales (local, regional, national, and global) and identify existing gaps, with an emphasis on the absence of studies at a global scale; and (d) the studies applying spatial analysis to cocoa cultivation identified within the state of Bahia. By mapping the most utilized methodologies, the most studied regions, the geographic scale of investigations, and the distribution of studies across the national territory, with emphasis on Bahia, this review offers a comprehensive overview of scientific trends, research gaps, and emerging advancements.

At the regional level, Latin America and West/Central Africa are frequently represented in studies on genetic diversity, cadmium toxicity, and disease-related losses (Argüello et al., 2019; Chavez et al., 2015; Vanderschueren et al., 2021; Mvondo et al., 2017; Nyasse et al., 1999; Gidoïn et al., 2009). Countries such as Ghana, Nigeria, Côte d'Ivoire, and Peru also appear in the analyses, reflecting their productive significance and specific environmental and agronomic conditions. Honduras, Peru, and Trinidad and Tobago are commonly cited in cadmium-related research (Argüello et al., 2019; Vanderschueren et al., 2021), while Nigeria, Ghana, Togo, and Côte d'Ivoire are referenced in studies on diseases and pathogen genetic diversity, albeit with less methodological rigor (Mvondo et al., 2017; Nyasse et al., 1999; Gidoïn et al., 2009).

Research concentration in countries with strong cocoa traditions and specific challenges reveals notable patterns. In Brazil, studies are predominantly conducted within national research and academic institutions. In contrast, research in other African and South American countries is typically carried out in collaboration with institutions from the Global North, including France, Germany, Belgium, Switzerland, and the United States.

## Materials and Methods

This systematic review synthesizes global research on applying spatial analysis in cocoa cultivation. The review followed the PRISMA 2020 guidelines to ensure a transparent and reproducible process.

### Search Strategy and Selection Criteria

The search for relevant literature was conducted on 15 July 2025, across two major citation databases: Web of Science (WoS) and Scopus (Sco). These databases were selected for their comprehensive coverage of high-impact scientific literature (Zhu and Liu, 2020). The search query was designed to capture studies related to both spatial

analysis and cocoa. The following string was used in both databases: (“Spatial analysis” OR “Geoprocessing” OR “Geographic Information Systems” OR “Geospatial interpolation” OR “GIS” OR “Spatial interpolation” OR “Spatial distribution” OR “Geographic distribution” OR “Geostatistic” OR “Spatial clustering” OR “geographically weighted regression” OR “Spatial dynamics” OR “Spatial correlation” OR “Spatial regression” OR “Spatial dependence” OR “Spatial variability” OR “Moran”) AND (cocoa OR cacao).

The eligibility criteria were defined to select empirical studies that applied spatial analysis techniques directly to cocoa cultivation. Consequently, reviews and opinion pieces were excluded, as were studies not primarily focused on cocoa or where spatial analysis was not a core methodology. The review was limited to articles published in English, with no restrictions applied to the publication date. The study selection process is summarized in Figure 1, the PRISMA 2020 flow diagram.

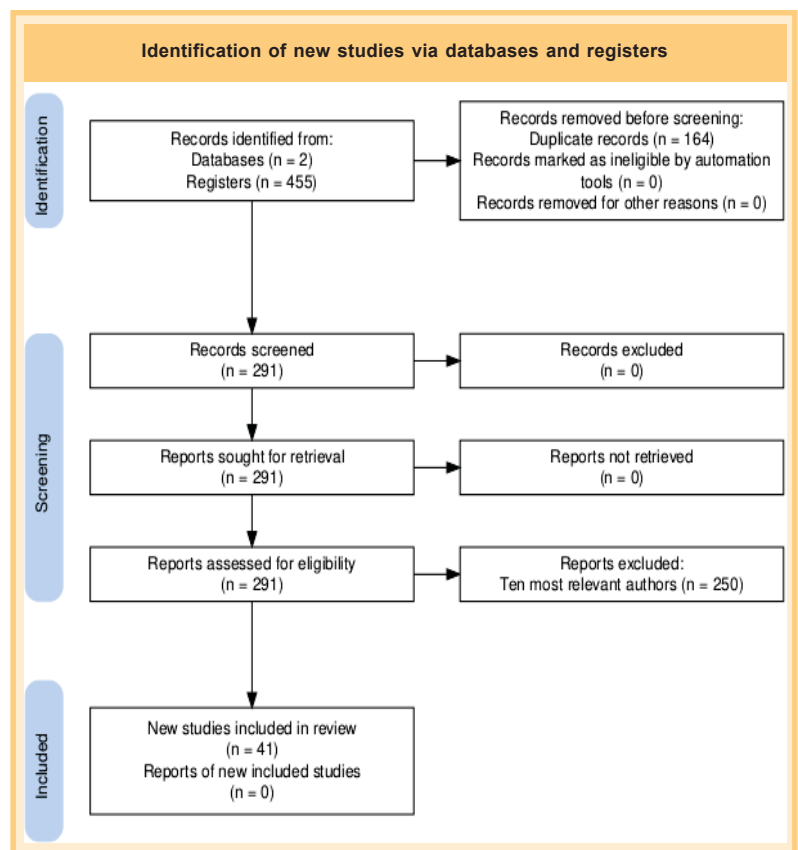


Figure 1. Flow diagram detailing the identification, screening, and inclusion of studies for the review, based on PRISMA guidelines.



## Data Analysis and Synthesis

The data retrieved from the included studies were processed using R software, version 4.2, and the Bibliometrix package. Furthermore, the review includes a specific synthesis of articles authored by the ten most frequently cited researchers, following the methodology adopted by O'Dea et al. (2021). The H-index was used as the selection criterion. As an objective metric, the H-index has been previously employed as an eligibility parameter in alignment with other literature reviews, including those by O'Dea et al. (2021) and Feitosa Junior et al. (2024). This selection method minimizes bias by using a quantitative approach widely accepted in systematic literature reviews.

## Results

### Study Selection Flowchart

The initial search yielded 166 documents from the Web of Science and 289 from Scopus, totaling 455 records. After removing 164 duplicates across both databases, 291 unique documents were identified and published between 1949 and 2025 (Figure 2). The ten most relevant authors identified in the search were associated with 41 articles. However, ten were duplicate records linked to multiple authors, and four were unavailable for download. Consequently, 27 articles were included in the systematic review.

## Characterization of Included Studies

The results revealed contributions from 52 countries (Figure 3), 225 journals, 1,306 cited authors, and 548 institutions. The average number of authors per article was 5.14, with a mean citation count of 25.03 per article. Although the selected articles span from 76-year, the average publication age was 11.9 years. A marked increase in publication volume was observed starting in 2010.

## Geospatial Methods and Analytical Techniques

Geostatistics emerged as the most frequently employed and cited methodology for data analysis across various agricultural and environmental contexts. It is generally used to characterize the spatial structure of variables such as tree distribution, disease incidence, pest dynamics, and soil properties. For interpolating data to unsampled locations and generating thematic maps, kriging was the most commonly applied technique (Gomes et al., 2017; Carvalho et al., 2016; Medauar et al., 2018; Ndo et al., 2023), along with assessments of spatial and temporal variability (Silva et al., 2016).

Geostatistics is often integrated with other analytical approaches, including descriptive statistics, which are used in most studies for initial data characterization (means, medians, standard deviations, coefficients of variation, normality tests)

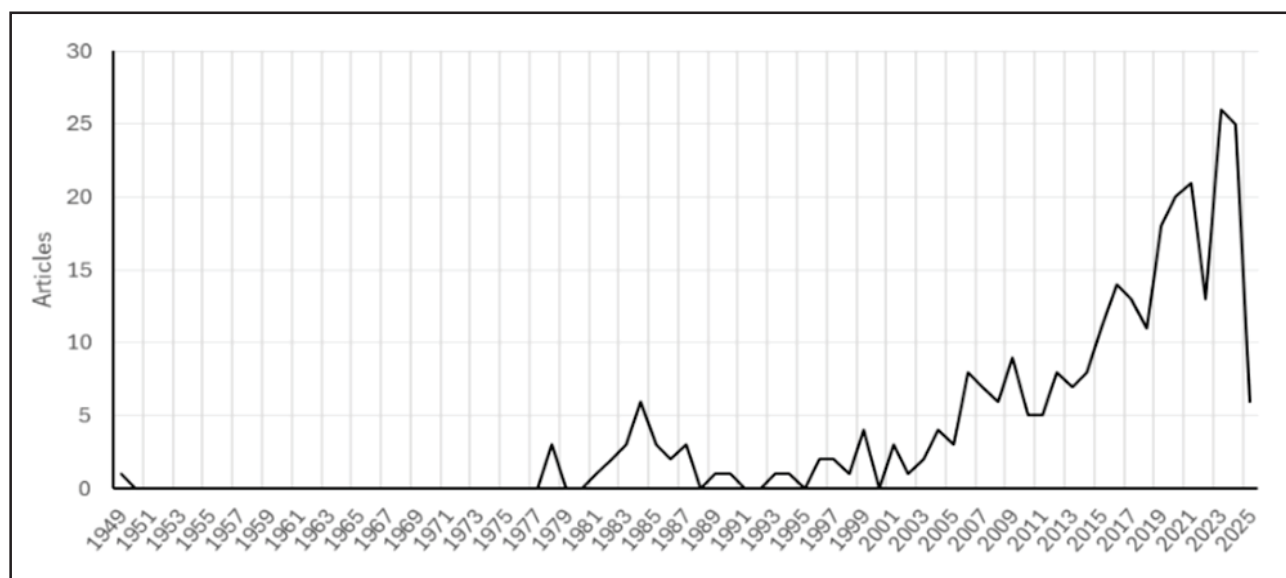


Figure 2. Number of articles published per year from 1949 to 2025.

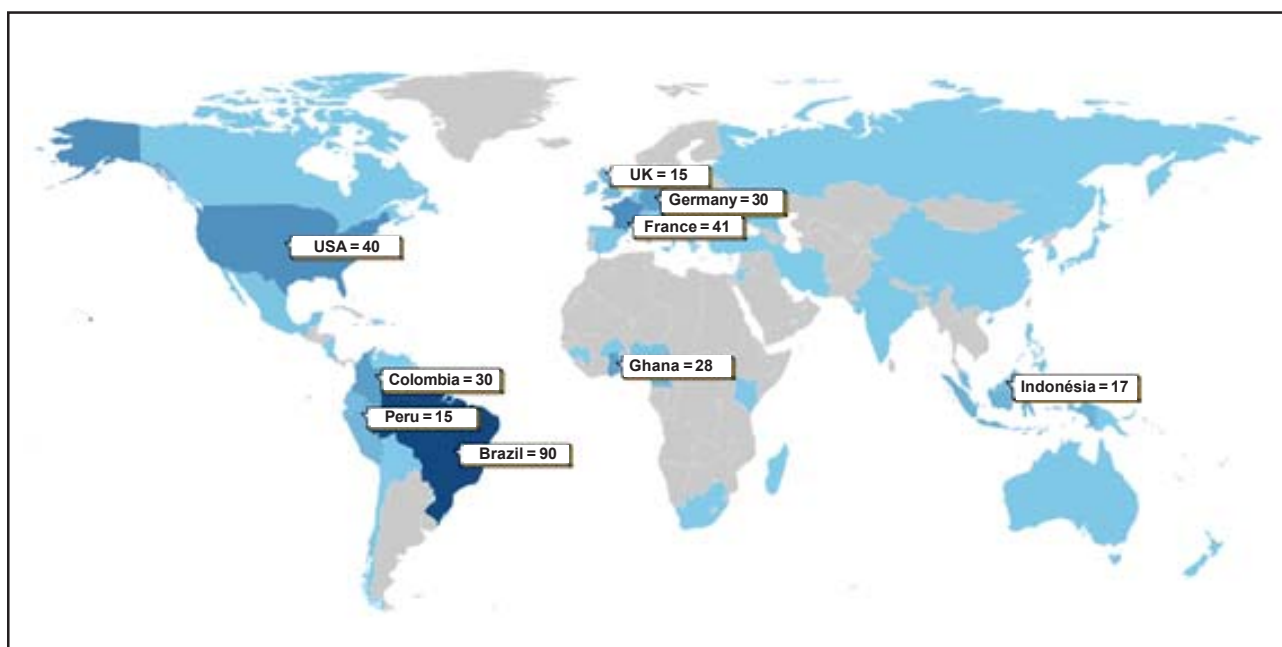


Figure 3. Geographical distribution of articles, highlighting publication count by country.

prior to spatial analysis (Silva et al., 2023). Fuzzy logic is also applied for continuous variable classification, delineation of management zones, and risk modeling, particularly when dealing with data that exhibit diffuse boundaries or uncertainty (Silva et al., 2021).

Regression-based methodologies (simple, multiple, stepwise, and multivariate) were employed to establish relationships among variables (e.g., soil properties and cadmium concentration in cocoa beans) and to construct predictive models (Chavez et al., 2015; Mvondo et al., 2017; Medauar et al., 2018; Argüello et al., 2019; Vanderschueren et al., 2021; Ndo et al., 2023).

Analysis of variance (ANOVA) and linear models (GLM/Mixed Models) were used to compare group means, assess factor significance, and evaluate the effects of different production systems (Deheuvels et al., 2012; Mvondo et al., 2017; Morales-Belpaire et al., 2024). Pearson correlation analysis was frequently applied to assess the strength and direction of linear relationships between variables (Silva et al., 2016; Silva et al., 2021; Silva et al., 2023). As an advanced methodology, Artificial Neural Networks (ANNs) have been increasingly used to predict soil attributes, often incorporating sensor data such as apparent electrical conductivity (Silva et al., 2021).

Spatial pattern analyses, including Ripley's modified  $L(r)$  function, hierarchical clustering techniques, and

Principal Component Analysis (PCA), have been primarily applied in phytosanitary studies. These methods enable the characterization of tree and pest distributions, grouping of areas with similar structural features, and correlation of environmental and productive variables (Akoutou Mvondo et al., 2017; Ngo Bieng et al., 2013; Deheuvels et al., 2012; Brito et al., 2018; Morales-Belpaire et al., 2024).

Generalized linear mixed models have been used to investigate the influence of associated species' density and height on cocoa productivity across spatial gradients (Notaro et al., 2021), while tools such as hemispherical photography assist in analyzing light transmission and its relationship with pest infestation (Gidoín et al., 2009). Additionally, AI techniques such as ANNs have been explored for predicting edaphic attributes based on variables like apparent electrical conductivity and clay content (Silva et al., 2021).

### Spatial and Temporal Scales of Analysis

The predominant research scale in the reviewed publications is local and regional, with some notable studies conducted at the national level, but none at the global scale. Studies often combine detailed plot-level data collection with variability analysis within broader geographic contexts (e.g., a state or agroecological region).

At the local level, research has been conducted through experiments exploring variability in individual plants and experimental plots, focusing on attributes such as soil fertility, chlorophyll content, and genetic susceptibility to pests (Cilas; Sounigo; Brun, 2000; Medauar et al., 2018; Silva et al., 2016; Gomes et al., 2017; Brito et al., 2018). At the regional level, studies encompass agricultural properties and productive landscapes, enabling comparisons across systems and farming practices (Deheuvels et al., 2012; Carvalho et al., 2016; Santos et al., 2017; Niether et al., 2017; Notaro et al., 2021; Akoutou Mvondo et al., 2017; Mvondo et al., 2017; Ndo et al., 2023; Ngo Bieng et al., 2013). Also at the regional level, national surveys and ecological modeling cover large areas and hundreds of farms, facilitating the mapping of risk zones and identification of edaphoclimatic factors affecting cocoa production and quality (Argüello et al., 2019; Chavez et al., 2015; Vanderschueren et al., 2021; Morales-Belpaire et al., 2024; Alho et al., 2019; Almeida et al., 2020).

At the national level, one study conducted spatial analyses in Ghana, Togo, Nigeria, Cameroon, and Gabon, located along the West African coast (Nyasse et al., 1999), as well as across multiple municipalities (Vanderschueren et al., 2021). Cameroon, Ghana, and Nigeria rank among the world's leading cocoa producers (Vidal, 2025).

The temporal dimension of investigations varies according to the study's focus, ranging from seasonal and annual observations (Medauar et al., 2018; Niether et al., 2017; Santos et al., 2017; Akoutou Mvondo et al., 2017), which address dynamic processes and productivity, to long-term analyses aimed at evaluating historical and cumulative impacts (Morales-Belpaire et al., 2024; Deheuvels et al., 2012; Niether et al., 2018; Vanderschueren et al., 2021; Chavez et al., 2015).

## Geographic Distribution and Regional Applications

Our review identified a concentration of studies in regions and countries relevant to global cocoa production and specific phytosanitary challenges, including Brazil, Cameroon, Bolivia, Costa Rica, Ecuador, and the Dominican Republic. The most significant number of studies was conducted in Brazil, particularly in Bahia and the Amazon region (Pará and Rondônia).

At the regional level, Latin America and West/Central Africa are frequently represented in studies on genetic diversity, cadmium toxicity, and disease-related losses (Argüello et al., 2019; Chavez et al., 2015; Vanderschueren et al., 2021; Mvondo et al., 2017; Nyasse et al., 1999; Gidoín et al., 2009). Countries such as Ghana, Nigeria, Côte d'Ivoire, and Peru also appear in the analyses, reflecting their productive significance and specific environmental and agronomic conditions. Honduras, Peru, and Trinidad and Tobago are commonly cited in cadmium-related research (Argüello et al., 2019; Vanderschueren et al., 2021), while Nigeria, Ghana, Togo, and Côte d'Ivoire are referenced in studies on diseases and pathogen genetic diversity, albeit with less methodological depth (Mvondo et al., 2017; Nyasse et al., 1999; Gidoín et al., 2009).

In Cameroon, selected studies focus on diseases such as *Phytophthora megakarya*, mirid infestations, and agroforestry systems, covering locations such as Yaoundé, Mbankomo, Bokito, Ngomedzap, and Obala (Akoutou Mvondo et al., 2017; Nyasse et al., 1999; Gidoín et al., 2009). Research in Costa Rica (Talamanca and Turrialba) predominantly addresses tree diversity, agroforestry systems, productivity, and pathogen pressure (Deheuvels et al., 2012; Ngo Bieng et al., 2013). In Ecuador, particularly in the provinces of Guayas and El Oro, studies focus on cadmium contamination, considering edaphic factors and agronomic practices (Chavez et al., 2015; Argüello et al., 2019; Vanderschueren et al., 2021). In Bolivia, long-term experiments in the Alto Beni region examine the impacts of different cultivation models on soil quality (Morales-Belpaire et al., 2024). Research concentration in countries with strong cocoa traditions and specific challenges reveals notable patterns. In Brazil, studies are predominantly conducted within national research and academic institutions. In contrast, research in other African and South American countries is typically carried out in collaboration with institutions from the Global North, including France, Germany, Belgium, Switzerland, and the United States.

## Regional Application: Bahia, Brazil

In Brazil, selected studies focus on cocoa production with emphasis on Bahia, addressing topics such as soil fertility, productivity, climate zoning, and spatial variability (Santos et al., 2017; Almeida et al., 2020;

Medauar et al., 2018; Carvalho et al., 2016; Silva et al., 2021), as well as in the southern Amazon (Apuí and Manicoré), with attention to Indigenous Dark Earths (Gomes et al., 2017; Brito et al., 2018). Brazil also features in comparative studies on disease-related losses and cadmium content in cocoa beans.

According to the sources cited, research conducted in Bahia is predominantly concentrated in the southern region, especially in the municipality of Ilhéus, recognized as Brazil's principal cocoa-producing area. Many of these studies were carried out at the experimental site of the Cocoa Research Center, part of the Executive Commission of the Cocoa Farming Plan (CEPEC/CEPLAC), in collaboration with the State University of Santa Cruz (UESC) (Carvalho et al., 2016; Santos et al., 2017; Medauar et al., 2018; Silva et al., 2021). Key research themes and findings related to Bahia include delineating Management Zones and Soil Fertility Variability (Medauar et al., 2018; Silva et al., 2021).

Studies have shown that soil fertility in Bahia exhibits a positive spatial correlation with cocoa productivity, with a predominant effect on temporary and annual cocoa systems (Santos et al., 2017). The soils in the study area demonstrated medium to high potential for cocoa cultivation, except in the western region (Santos et al., 2017).

Its high rainfall uniformity explains the emphasis on southern Bahia, making it the most suitable region for cocoa cultivation. Other mesoregions have been classified as potential expansion areas despite greater climatic variability. Nevertheless, southern Bahia has faced a severe productivity crisis due to witches' broom disease (*Moniliophthora perniciosa*), significantly reducing dry bean yields (Carvalho et al., 2016; Santos et al., 2017). This issue has been addressed by introducing tolerant varieties and specific production systems, including applying soil amendments and fertilizers (Santos et al., 2017).

Bahia's prominence, as evidenced by the studies in this systematic review, can be attributed to several factors. First, the state has a substantial area dedicated to cocoa cultivation. Additionally, the long-term impact of witches' broom disease, which reduced plant density per hectare (Vidal, 2025), has driven the need for further research. Another key factor is the presence of institutions such as CEPLAC and UESC, along with

a network of researchers collaborating with peers from other Brazilian institutions. According to Vidal (2025), Bahia holds Brazil's largest cocoa cultivation area, accounting for 69.5% of the national total. However, Pará, with 26.4% of the planted area, was responsible for 46.8% of national production in 2023 due to its higher productivity. Despite this, since 2021, Bahia has shown recovery in cultivated area and yield per hectare, and by 2023, it once again surpassed Pará in total cocoa production volume (Vidal, 2025).

In general, southern Bahia is characterized by smallholder farmers with low technological adoption and limited influence over price formation (Vidal, 2025). According to the same author, Bahia hosts major cocoa processing industries and is responsible for nearly all cocoa and derivative exports from the Northeast region. It also leads national product exports, accounting for 68.3% of export value and 50.7% of export volume in 2024 (Vidal, 2025).

## Discussion

Geostatistics has emerged as a central approach for understanding spatial variability in agronomic and environmental studies related to cocoa cultivation. As a statistical method designed to analyze and predict values associated with spatial or spatio-temporal phenomena, geostatistics is essential for examining agricultural variables such as crop productivity, soil properties, and weed dynamics (Rodrigues et al., 2020). It is often complemented by descriptive statistics, fuzzy logic, and regression models to enable more comprehensive analyses.

According to Silva et al. (2023), geostatistics has been widely adopted in precision agriculture (PA) over recent decades, yielding highly promising results. This underscores its importance for the sustainable growth of agriculture in Brazil.

Several authors emphasize that understanding spatial variability is critical for optimizing agricultural management. Santos et al. (2017) note that "mapping homogeneous productivity zones can reduce losses and improve input use. Carvalho et al. (2016) add that "agroforestry systems require more refined spatial diagnostics to ensure ecological balance and economic performance. Overall, the studies reinforce that spatial analysis is not merely a complementary technique but



a core tool for interpreting productive patterns, mitigating risks, and guiding decision-making. As Morales-Belpaire et al. (2024) succinctly state: “the spatialization of agronomic knowledge is essential for building resilient and adaptive systems in the face of global change.”

Despite technical advances, many studies still operate in a fragmented manner. Mvondo et al. (2017) caution that isolated analysis of agronomic variables limits the understanding of agroforestry systems. As Ozsahin and Ozdes (2022) point out, integrating spatial, temporal, and socio-environmental dimensions is necessary for a truly systemic approach.

One notable methodological gap is the absence of Geographically Weighted Regression (GWR) in the reviewed literature. Although GWR is a powerful technique for examining spatially varying relationships, it was not identified in any of the selected studies. While many investigations address spatial variability and local relationships, they often rely on global methods, such as kriging, neural networks, and fuzzy logic. The lack of GWR suggests an opportunity to enhance spatial sensitivity in future regional studies.

The predominance of local and regional scales in cocoa-related spatial research has important implications. Most studies focus on plots, farms, or specific regions, offering detailed insights into agricultural practices, genetic variability, and edaphoclimatic conditions. However, this localized focus limits the generalizability of findings to other biomes, countries, or production systems.

The lack of global-scale approaches underscores a critical gap in understanding the broader dynamics of cocoa cultivation, particularly in climate change, market globalization, and the interdependence between producing and consuming countries. Without integrated global analyses, it becomes more difficult to compare patterns and trends across continents, formulate coordinated international policies, and anticipate the widespread effects of environmental or economic shocks.

Thus, combining analyses across multiple spatial and temporal scales represents a robust methodological approach. Local studies focus on physiological and edaphic attributes, while regional studies incorporate landscape modeling and spatial analysis.

The concentration of research within national institutions in Brazil may suggest a high level of

scientific autonomy in the cocoa sector. However, without integration into global research networks, this concentration could hinder the international circulation of knowledge. As noted by Chen et al. (2022), international collaborations are crucial for addressing complex challenges.

Moreover, there is a growing consensus on conceptualizing space as a dynamic factor. Medauar et al. (2018) argue that “pest distribution is not random, and its relationship with environmental variables requires precision tools.” This perspective supports the increasing use of geostatistics, interpolation, and fuzzy logic techniques.

Spatio-temporal analyses are also gaining prominence. Vanderschueren et al. (2021) demonstrate that “cadmium contamination varies according to management practices and soil conditions, requiring an approach that integrates time and space in risk modeling.” This insight highlights the complexity of production systems and the critical role of spatial analysis in addressing environmental and sanitary issues.

Consequently, integrated approaches are increasingly necessary. As Chen et al. (2022) emphasize, “the resilience of cocoa production in the face of climate change depends on the ability to connect ecological, economic, and social variables within spatially explicit models.” Such integration ensures sustainable and adaptable production systems, including consolidating global knowledge networks.

Although agroforestry-based cocoa cultivation offers clear advantages, Niether et al. (2020) recommend further research on enhancing productivity within these systems, particularly by breeding shade-tolerant varieties and adopting management practices to improve pollination rates.

## Conclusion

This systematic review reveals a critical methodological gap: the near-complete absence of spatial analyses at a global scale for cocoa cultivation. Although geostatistical methodologies are well-established in local and regional studies, the lack of a global perspective limits our ability to model complex phenomena, such as the impacts of climate change and market interdependence on a broader scale. The next frontier in spatial analysis of cocoa should be the

integration of data at multiple scales to create predictive models and resilience strategies that transcend geographical boundaries.

Spatial analysis has emerged as a strategic tool for managing cocoa cultivation, driven by advances in geotechnologies and the growing emphasis on sustainability within tropical agriculture. A marked increase in scientific output has been observed since the early 2000s. Brazil stands out as a leading contributor, reflecting the national significance of cocoa and consistent institutional engagement.

However, this geographic concentration underscores the need to broaden research diversity in African and Asian countries, where cocoa holds critical economic importance. Existing investigations are predominantly conducted at local and regional scales, focusing on edaphic factors, productivity, and phytosanitary conditions. Geostatistical methods, particularly kriging and semivariogram techniques, are frequently employed.

There has also been a discernible rise in the application of artificial intelligence, especially artificial neural networks, to predict soil attributes. Among the limitations identified, the insufficient integration of spatial, temporal, and socio-environmental variables stands out, constraining a holistic understanding of cocoa agroecosystems. Furthermore, the absence of global-scale analyses hampers the generalization of findings and the development of coordinated policy frameworks.

The study relied exclusively on digital databases such as Web of Science and Scopus, which may have excluded important studies, especially those from institutions focused on cocoa, like CEPLAC, which may not be fully digitized or indexed in these international databases. In this sense, it is recommended that future research consider conducting fieldwork, including interviews with researchers and consultations of physical collections, as a way to broaden the scope and deepen the understanding of national scientific production related to cocoa.

### Acknowledgments

The authors thank the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for the support.

### Literature Cited

- AKOUTOU MVONDO, E. et al. 2017. Assessment of the interaction between the spatial organization of citrus trees populations in cocoa agroforests and *Phytophthora* foot rot disease of citrus severity. *Agroforestry Systems* 93(2):493-502. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0140-3>.
- ALHO, L. C. et al. 2019. Rainfall zoning for cocoa growing in Bahia state (Brazil) using fuzzy logic. *Engenharia Agrícola*, 39:48-55, Nov. Available at: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v39nep48-55@2019>.
- ALMEIDA, S. L. H. de. et al. 2020. Fuzzy modeling of the risk of cacao *Moniliasis* occurrence in Bahia state, Brazil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 24(4): 225-230. Available at: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n4p225-230>.
- ARGÜELLO, D. et al. 2019. Soil properties and agronomic factors affecting cadmium concentrations in cacao beans: A nationwide survey in Ecuador. *Science of the Total Environment* 649: 120-127. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.292>.
- BRITO, W. B. M. et al. 2018. Spatial variability of soil physical properties in Archeological Dark Earths under different uses in southern Amazon. *Soil & Tillage Research* 182:103-111. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.05.008>.
- CARVALHO, P. S. M. et al. 2016. Cacao crop management zones determination based on soil properties and crop yield. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 40:e0150520. Available at: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20150520>.
- CESCO, S. et al. 2023. Smart agriculture and digital twins: Applications and challenges in a vision of sustainability. *European Journal of Agronomy* 146: 126809.
- CHAVEZ, E. et al. 2015. Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador. *Science of the Total Environment* 533: 205-214. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106>.

- CHEN, L.; WANG, H.; MENG, J. 2023. Image Analysis of Spatial Differentiation Characteristics of Rural Areas Based on GIS Statistical Analysis. *Electronics* 12(6):1414.
- CHEN, Z. et al. 2022. Exploring the drivers of green agricultural development (GAD) in China: A spatial association network structure approaches. *Land use policy* 112:105827.
- CILAS, C.; SOUNIGO, O.; BRUN, L. A. 2000. Analysis of genetic variability of cocoa (*Theobroma cacao* L.) susceptibility to mirids in progeny trials. *Euphytica* 111(3):193-200. Available at: <https://doi.org/10.1023/A:1002945712143>. Accessed on: May 10, 2024.
- DEHEUVELS, O. et al. 2012. Vegetation structure and productivity in cocoa-based agroforestry systems in Talamanca, Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 149:181-188. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.003>. Accessed on: May 10, 2024.
- FEITOSA JUNIOR, F. R. et al. 2024. Remote sensing applied to the study of fire in savannas: A literature review. *Ecological Informatics* 79:102448.
- GEETHA, K. 2022. An integrated approach for crop production analysis from geographic information system data using SqueezeNet. *Journal of Soft Computing Paradigm* 3(4):308-321.
- GIDOIN, C. et al. 2009. The spatial distribution of cocoa mirids is influenced by the canopy structure of cocoa agroforests in Cameroon. *Agricultural and Forest Entomology* 12(1): 69-79. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2009.00453.x>. Accessed on: May 10, 2024.
- GOMES, R. P. et al. 2017. Spatial variability of aggregates and organic carbon under three different uses of Indian Black Earth in southern Amazonas. *Bioscience Journal* 33(6): 1513-1522. Available at: <https://doi.org/10.14393/BJ-v33n6a2017-37142>. Accessed on: May 10, 2024.
- IGAWA, T. K.; TOLEDO, P. M. de; ANJOS, L. J. S. 2022. Climate change could reduce and spatially reconfigure cocoa cultivation in the Brazilian Amazon by 2050. *PLOS ONE*, [S. l.] 17(1): e0262729, Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0262729>.
- KONGOR, J. E.; OWUSU, M.; ODURO-YEBOAH, C. 2024. Cocoa production in the 2020s: challenges and solutions. *CABI Agriculture and Bioscience* 5:102. Available at: <https://doi.org/10.1186/s43170-024-00310-6>.
- KORALEWICZ, A. et al. 2025. Mapping the extent and exploring the drivers of cocoa agroforestry in Nigeria, insights into trends for climate change adaptation. *Agroforestry Systems* 99:38. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01126-z>. Accessed on: May 17, 2025.
- LINNENLUECKE, M. K.; MARRONE, M.; SINGH, A. K. 2020. Conducting systematic literature reviews and bibliometric analyses. *Australian Journal Management* 45(2):175-194. DOI: <https://doi.org/10.1177/031289621987767>.
- MEDAUAR, C. C. et al. 2018. Variabilidade espaço-temporal da clorofila foliar e sua relação com a produtividade do cacauzeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 22(3):164-169. Available at: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n3p164-169>.
- MORALES-BELPAIRE, I. et al. 2024. Long-term monitoring of soil biological quality in contrasting cocoa production systems. *Agroforestry Systems*, 98(6):2517-2532, Available at: <https://doi.org/10.1007/s10457-024-01048-w>.
- MVONDO, E. A. et al. 2017. Spatial analysis of *Phytophthora* pod rot epidemic development in cocoa agroforests in Cameroon. *European Journal of Plant Pathology*, 147(2):433-446. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10658-016-1027-2>.
- NDO, E. G. D. et al. Spatial distribution of citrus *Pseudocercospora* leaf and fruit spot disease and shade effect on disease intensity. *Crops* 3(1):11-23. Available at: <https://doi.org/10.3390/crops3010002>.
- NGO BIENG, M. A. et al. 2013. Diversity and spatial clustering of shade trees affect cacao yield and pathogen pressure in Costa Rican agroforests. *Basic and Applied Ecology* 14(4):329-336. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.baae.2013.03.003>. Accessed on: May 10, 2024.
- NIETHER, W. et al. 2018. Shade trees and tree pruning alter throughfall and microclimate in cocoa

- (*Theobroma cacao* L.) production systems. *Annals of Forest Science* 75:38. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0723-9>. Accessed on: May 10, 2024.
- NIETHER, W. et al. 2020. Cocoa agroforestry systems versus monocultures: a multi-dimensional meta-analysis. *Environmental Research Letters*, 15(10):104085. Available at: <http://10.1088/1748-9326/abb053>. Accessed on: September 25, 2025.
- NIETHER, W. et al. 2017. Spatial-temporal soil moisture dynamics under different cocoa production systems. *Catena* 158:340–349. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.07.011>. Accessed on: May 10, 2024.
- NOTARO, M. et al. 2021. The spatial distribution and height of associated crops influence cocoa tree productivity in complex agroforestry systems. *Agronomy for Sustainable Development* 41:60. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00716-w>. Accessed on: May 10, 2024.
- NYASSÉ, S. et al. 1999. Diversity of *Phytophthora megakarya* in Central and west Africa revealed by isozyme and RAPD markers. *Mycological Research* 103(10):1225–1234. Available at: <https://doi.org/10.1017/S0953756299008369>. Accessed on: May 10, 2024.
- OAKLEY, J. L.; BICKNELL, J. E. 2022. The impacts of tropical agriculture on biodiversity: A meta analysis. *Journal of Applied Ecology* 59(12):3072–3082.
- O'DEA, R. E. et al. 2021. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses in ecology and evolutionary biology: a PRISMA extension. *Biological Reviews* 96(5):1695–1722. <https://doi.org/10.1111/brv.12721>.
- OZSAHIN, E.; OZDES, M. 2022. Agricultural land suitability assessment for agricultural productivity based on GIS modeling and multi-criteria decision analysis: the case of Tekirdağ province. *Environmental Monitoring and Assessment* 194(1):41.
- PAUL, J.; BARARI, M. 2022. Meta analysis and traditional systematic literature reviews-What, why, when, where, and how? *Psychology & Marketing* 39(6):1099-1115.
- ROWLEY, C.; PAUL, J. 2021. Introduction: The role and relevance of literature reviews and research in the Asia Pacific. *Asia Pacific Business Review*, 27(2):145-149.
- RODRIGUES, M. S. et al. 2020. Geostatistics and its potential in Agriculture 4.0. *Revista Ciência Agrônômica* 51(spe): e20207691.
- SANTOS, R. O. D. et al. 2017. Variabilidade espacial da fertilidade do solo e sua relação com a produtividade do cacauero. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 21(2): 88-93. Available at: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n2p88-93>.
- SCHULZ, P. 2022. Popularization of science, tips from a short note. *Jornal da Unicamp*. Available at: <https://unicamp.br/en/unicamp/ju/artigos/peter-schulz/popularizacao-da-ciencia-dicas-de-uma-nota-curta/>. Accessed on: June 20, 2025.
- SCHROTH, G. et al. 2016. Vulnerability to climate change of cocoa in West Africa: patterns, opportunities and limits to adaptation. *Science of the Total Environment* 556:231–241. Available at: <https://www.iita.org/wp-content/uploads/2021/12/Vulnerability-to-climate-change-of-cocoa-in-West-Africa.pdf>. Accessed on: June 19, 2025.
- SILVA, D. M. P. da. et al. 2016. Spatial variability of soil properties in archeological Dark Earth sites under cacao cultivation. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 40: e0140816. Available at: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20140816>. Accessed on: May 10, 2024.
- SILVA, S. de A. et al. 2021. Apparent soil electrical conductivity in the delineation of management zones for cocoa cultivation. *Information Processing in Agriculture* 8(4):642–652. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2021.04.004>.
- SILVA, S. A. et al. 2021. Artificial neural networks in the prediction of soil chemical attributes using apparent electrical conductivity. *Spanish Journal of Agricultural Research* 19(3): e0208. Available at: <https://doi.org/10.5424/sjar/2021193-17600>.
- SILVA, C. de O. F. et al. 2023. Exploring 20-year applications of geostatistics in precision agriculture in Brazil: What's next? *Precision Agriculture* 24(6): 2293-2326.



- TEY, Y. S.; BRINDAL, M. 2022. A meta-analysis of factors driving the adoption of precision agriculture. *Precision Agriculture* 23(2): 353-372.
- TOTTI, C. 2024. Identificação de fatores determinantes no cultivo de cacau por meio de regressão espacial no Projeto de Assentamento Itatá, Pará. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Available at: [https://wiki.dpi.inpe.br/lib/exe/fetch.php?media=ser301-2024:ser301\\_camilatotti.pdf](https://wiki.dpi.inpe.br/lib/exe/fetch.php?media=ser301-2024:ser301_camilatotti.pdf).
- UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ (UESC). 2017. Cacau e chocolate ganham Centro de Inovação Tecnológica. *Jornal da Universidade Estadual de Santa Cruz* 262:1-12.
- VANDERSCHUEREN, R. et al. 2021. Mitigating the level of cadmium in cacao products: Reviewing the transfer of cadmium from soil to chocolate bar. *Science of the Total Environment*, 781:146779. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146779>.
- VISSCHER, A. M. et al. 2024. Agroforestry enhances biological activity, diversity and soil based ecosystem functions in mountain agroecosystems of Latin America: A meta analysis. *Global Change Biology* 30(1):e17036.
- VIDAL, M. F. 2025. Cacau. *Caderno Setorial Etene, Fortaleza*, v. 10, n. 389. Available at: <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/3211>. Accessed on: September 30, 2025.
- ZHAO, W.; WANG, M.; PHAM, V. T. 2023. Unmanned aerial vehicle and geospatial analysis in smart irrigation and crop monitoring on IoT platform. *Mobile Information Systems* 2023(1): 4213645.
- ZHU, J.; LIU, W. 2020. A tale of two databases: the use of Web of Science and Scopus in academic papers. *Scientometrics* 123(1): 321-335.



## HOSPEDABILIDADE DE CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR E SORGO SACARINO A *Pratylenchus zae* GRAHAM (NEMATODA)

*Rodrigo Souza Santos<sup>1\*</sup>, Paulo Roberto Pala Martinelli<sup>2</sup>, Cosme Rodrigues Lima<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Embrapa Acre, Rio Branco, Acre, Brasil. rodrigo.s.santos@embrapa.br. <sup>2</sup>Usina Santa Adélia, Jaboticabal, São Paulo, Brasil, prpmartinelli@yahoo.com.br. <sup>3</sup>Diretoria Agropecuária e Piscicultura, Novo Horizonte, São Paulo, Brasil, cosmerlima@gmail.com

\*Autor para correspondência: rodrigo.s.santos@embrapa.br

O presente trabalho visou verificar a hospedabilidade de oito cultivares de cana-de-açúcar e seis de sorgo sacarino ao nematoide *Pratylenchus zae* Graham. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no campo experimental do Instituto Taquaritinguense de Ensino Superior (ITES), Taquaritinga, SP, a partir de sementes e toletes transplantados para vasos de 5 L contendo substrato estéril, em um delineamento experimental inteiramente casualizado. Foram realizadas inoculações em cana-de-açúcar e sorgo sacarino, utilizando-se 4 mL da suspensão do inóculo (1.180 espécimes de *P. zae*/planta). Após 90 dias, foram avaliados os parâmetros: altura das plantas (cm) e peso das raízes (g). Conclui-se que as seis variedades de sorgo sacarino e cinco de cana-de-açúcar apresentaram resistência a *P. zae*, podendo ser recomendadas para uso em campo em áreas com alta prevalência desse nematoide.

**Palavras-chave:** Nematoide-das-lesões-radiculares, *Saccharum officinarum*, *Sorghum bicolor*, Pratylenchidae.

**Hospitability of sugarcane and sweet sorghum cultivars to *Pratylenchus zae* Graham (Nematoda).** The present study aimed to verify the hostability of eight sugarcane and six sweet sorghum cultivars to the nematode *Pratylenchus zae* Graham. The experiment was carried out in a greenhouse in the experimental field of the Instituto Taquaritinguense de Ensino Superior (ITES), municipality of Taquaritinga, state of São Paulo, Brazil, using seeds and stems transplanted into 5 L pots containing sterile substrate, in a completely randomized experimental design. Inoculations were performed on sugarcane and sweet sorghum, using 4 mL of the inoculum suspension (1,180 specimens of *P. zae*/plant). After 90 days, the following parameters were evaluated: plant height (cm) and root weight (g). It is concluded that the six varieties of sweet sorghum and five of sugar cane showed resistance to *P. zae*, and can be recommended for use in the field in areas with high prevalence of this nematode.

**Key words:** Root lesion nematode, *Saccharum officinarum*, *Sorghum bicolor*, Pratylenchidae.

## Introdução

Entre as alternativas para diversificação da matriz energética brasileira, o etanol é tido como um dos mais promissores. A indústria de etanol está alicerçada no plantio da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L., Poaceae) em sistema de monocultivo (Dajui, 1995). Estudos recentes indicam que 92% da produção adicional de etanol no Brasil resulta da expansão para novas áreas de cultivo, o que acarreta desafios ambientais e limitações regionais para o cultivo sustentável da cana-de-açúcar (FGV, 2024). Além da cana-de-açúcar, o sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* (L.) Moench, Poaceae) tem sido apontado como uma das matérias-primas renováveis capaz de contribuir para o aumento da competitividade do etanol brasileiro, podendo ser usado como cultura complementar à cana-de-açúcar, para áreas de reforma de canaviais e/ou para plantio em áreas consideradas marginais para a cana ou que não tenham sido contempladas no zoneamento de riscos climáticos para a cultura (Dajui, 1995; Prasad et al., 2007).

No entanto, esses dois cultivos estão sujeitos a problemas fitossanitários que restringem o aumento da área plantada no país. Dentre esses, destacam-se os fitonematoides (endo ou ectoparasitas) que invadem os tecidos radiculares causando lesões que interferem na fisiologia das plantas e, consequentemente reduzindo sua produção entre 10% a 50% no cultivo da cana-de-açúcar (Dinardo-Miranda e Fracasso, 2010; SGS, 2021; Pinheiro, 2022).

Dentre os nematoides que atacam a cana-de-açúcar e o sorgo sacarino destaca-se *Pratylenchus zae* Graham, 1951 (Nematoda: Pratylenchidae) como uma praga de importância econômica nesses cultivos (Dinardo-Miranda et al., 2019). Essa espécie é um nematoide com hábito endoparasito migrador que penetra e necrosa a região do córtex da raiz, preferencialmente as radículas. Migra inter e intracelularmente nos tecidos corticais causando galerias e necroses, assim abrindo portas de entrada para microrganismos oportunistas da rizosfera que invadem os tecidos feridos e aceleram o processo de depauperamento das raízes (Dinardo-Miranda et al., 2019; SGS, 2021).

Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi avaliar a hospedabilidade de oito cultivares de cana-de-açúcar e seis de sorgo sacarino a *P. zae*, nas condições edafoclimáticas de Taquaritinga, SP.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no campo experimental do Instituto Taquaritinguense de Ensino Superior (ITES) (21°25,0'0,1"S; 48°30,0'0,7"O), Taquaritinga - SP no período de novembro 2012 a abril 2013.

Os materiais selecionados para o estudo foram oito variedades de cana-de-açúcar (RB 85-5453, RB 86-7515, SP 81-3250, CVSP 07-6984, CV 7231, CV 6654, CVPR 07-7886 e CVSP 07-0470) e seis de sorgo sacarino (CVSW 80948, CVSW 80998, CVSW 82158, CVSW 82568, CVSW 81198 e CVSW 82168).

Inicialmente os toletes das variedades de cana-de-açúcar foram cortados para retirada das gemas, as quais foram inseridas em vasos de 5 L, contendo uma mistura esterilizada de solo e areia na proporção de 2:1. Para o sorgo sacarino, foram plantadas cinco sementes por vaso de mesma dimensão contendo o mesmo substrato. Utilizou-se das plantas de milho (*Zea mays* L., Poaceae) como testemunha do experimento. Após a emergência, foi realizado um desbaste, permanecendo apenas uma planta por vaso.

A população inicial de *P. zae* foi coletada a partir de raízes de plantas de milho mantidas em casa de vegetação da coleção de nematoides do ITES. O inóculo foi preparado segundo a técnica de Hussey & Barker (1973). Sessenta dias após o plantio, foram realizadas as inoculações da cana-de-açúcar e sorgo sacarino, utilizando-se 4 mL da suspensão do inóculo, resultando numa população inicial (PI) de 1.180 espécimes de *P. zae*/planta, o qual foi uniformemente distribuído em quatro orifícios de 4 cm de profundidade, ao lado do sistema radicular das plantas. Durante a condução do ensaio, as plantas foram regadas diariamente.

O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados (DIC), com cinco repetições e nove tratamentos para a cana-de-açúcar e três repetições e sete tratamentos para o sorgo sacarino (os tratamentos correspondem às variedades testadas de cana-de-açúcar e sorgo sacarino + milho como testemunha). Após 90 dias da inoculação, foram realizadas avaliações qualitativas: a medição da altura até a folha + 1 com auxílio de fita milimetrada e pesagem dos sistemas radiculares das plantas, com utilização de balança digital.

As raízes das plantas foram levadas ao laboratório para extração dos nematoides das raízes seguindo a metodologia proposta por Boneti e Ferraz (1981). As contagens das suspensões foram realizadas sob microscópio fotônico com auxílio da câmara de contagem de Peters (Southey, 1986), para determinação da População Final (PF). Em seguida, foi calculado o Fator de Reprodução ( $FR = n^{\circ}$  de ovos e J2 final/  $n^{\circ}$  de ovos e J2 inicial), sendo plantas com  $FR < 1$  consideradas resistentes (não são hospedeiras favoráveis), enquanto as que exibem  $FR > 1$  são consideradas suscetíveis (hospedeiras favoráveis) (Oostenbrink, 1966).

Os dados dos fatores biométricos foram submetidos à análise de variância e, quando não atingiram os pressupostos da ANOVA, foram transformados em  $X + 100$  para análise estatística. Posteriormente, as médias foram testadas pelo Duncan a 1% e 5% de probabilidade com auxílio do software Assistat 7.7 (Silva e Azevedo, 2016).

## Resultados e Discussão

Na Tabela 1 estão listados os dados dos fatores biométricos das seis cultivares de sorgo sacarino inoculadas com *P. zeae*. Para o dado de altura, apenas

a cultivar CVSW-80948 diferiu das demais, apresentando menor altura.

Para a variável ‘peso de raízes’, as variedades CVSW 80948, CVSW 80998, CVSW 82158, CVSW 82568, CVSW 81198 e CVSW 82168 não diferiram estatisticamente.

No presente estudo, todas as variedades de sorgo sacarino mostraram-se resistentes a *P. zeae*, apresentando  $FR < 1$ . Entretanto, no estudo conduzido por Silva et al. (2019), algumas cultivares de sorgo granífero se mostraram susceptíveis a *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey, 1929) (Nematoda: Pratylenchidae) (Silva et al., 2019).

Sharma e Medeiros (1982), testando 16 genótipos de sorgo granífero com *P. brachyurus* e *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood (Nematoda: Heteroderidae), observaram que as cultivares BR500, BR501, BR502, BR503 e BR602 apresentaram FR entre 7,2 e 26,17, sendo consideradas susceptíveis a algum desses nematoides. Por outro lado, Montalaote et al. (1987), testando 10 genótipos de sorgo granífero em casa de vegetação, observaram, após 56 a 70 dias, supressão de *P. brachyurus* em cinco genótipos com FR entre 0,3 e 0,8, provavelmente devido à grande diversidade genética existente nestes materiais.

Tabela 1. Hospedabilidade de variedades de sorgo sacarino inoculadas com *Pratylenchus zeae*: população inicial (PI), população final (PF), fator de reprodução (FR) de *P. zeae* e status do hospedeiro (SH) aos 120 dias após a inoculação. Taquaritinga, SP, novembro de 2012 a abril de 2013.

Tratamentos	Fatores biométricos de plantas de <i>S. bicolor</i> inoculadas com <i>Pratylenchus zeae</i>					
	Altura (cm)	Peso de raízes (g)	PI	PF	FR	SH
CVSW-80948	59,4 b	168,1	1,180	514,8	0,4	R
CVSW-80998	80,2 a	139,4		0,0	0,0	R
CVSW-82158	86,6 a	154,5		0,0	0,0	R
CVSW-82568	89,0 a	180,0		0,0	0,0	R
CVSW-81198	91,8 a	155,6		370,3	0,3	R
CVSW-82168	77,8 a	147,0		75,7	0,1	R
Milho (testemunha)	-	117,7		5.869,8	4,9	S
Teste F	6,14**	1,65 <sup>ns</sup>	-	-	-	-
CV (%)	13,10	16,14	-	-	-	-

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan, a 5% ou 1% de probabilidade. \*Significativo a 5% de probabilidade; \*\*significativo a 1% de probabilidade. Dados transformados em  $X+100$  para análise estatística. R = Resistente; S = Suscetível.



Entretanto, deve-se considerar a espécie de nematoide, a variabilidade espacial, a quantidade inicial de inóculo como fatores que influenciam diretamente a ação de fitonematoídeos em seus hospedeiros (Martinelli, 2011). Segundo Inomoto et al. (2005), há indícios de que os sorgos granífero, sacarino e forrageiro e o sorgo silageiro, embora pertencentes à mesma espécie botânica, apresentem reações distintas aos nematoídeos.

Embora não tenham diferido entre si pelo teste de Duncan a 5%, as variedades de cana-de-açúcar CVSP07-0470, CV07-6984 e SP 81-3250 apresentaram o maior crescimento (Tabela 2). Quanto o peso das raízes, os melhores resultados foram observados nas variedades SP 81-3250, RB 86-7515 e CVSP07-0470, diferindo estatisticamente das demais. Segundo Marafon (2012) a dinâmica de crescimento dos colmos em cana-de-açúcar é a variável que apresenta maior correlação positiva com a produtividade. O ataque de *P. zeae* pode causar necrose em extensas áreas radiculares, dificultando a absorção de água e nutrientes pela planta (Dinardo-Miranda, 2018). Assim, cultivares

expostos a *P. zeae* que apresentem melhor desenvolvimento radicular, são preferíveis.

Analisando os dados verifica-se que três das oito variedades de cana-de-açúcar testadas apresentaram suscetibilidade a *P. zeae*. A variedade RB 85-5453 foi a que apresentou maior suscetibilidade, com o maior fator de reprodução entre as variedades analisadas (Tabela 2). Entretanto, os resultados obtidos em um estudo anterior, realizado por Silva (2011), mostraram que variedades SP 81-3250 e RB 86-7515, apresentaram suscetibilidade a *P. zeae*.

## Conclusões

Baseado nos resultados obtidos, conclui-se que as seis variedades de sorgo sacarino apresentaram resistência a *P. zeae*. Quanto às variedades de cana-de-açúcar testadas, as variedades SP 81-3250, CV6654, CVSP07-7886, RB 86-7515 e CVSP07-0470, apresentam resistência, com destaque às duas últimas, as quais apresentaram fatores biométricos superiores às demais.

Tabela 2. Hospedabilidade de variedades de cana-de-açúcar inoculadas com *Pratylenchus zeae*: população inicial (PI), população final (PF), fator de reprodução (FR) de *P. zeae* e status do hospedeiro (SH) aos 120 dias após a inoculação. Taquaritinga, SP, novembro de 2012 a abril de 2013.

Tratamentos	Fatores biométricos de plantas de <i>S.officinarum</i> inoculadas com <i>P. zeae</i>					
	Altura (cm)	Peso de raízes (g)	PI	PF	FR	SH
RB 85-5453	53,6	124,6 bc	1,180	5.107,3 a	4,2	S
SP 81-3250	67,4	227,2 a		1.129,8 b	0,9	R
RB 86-7515	52,0	131,3 b		123,7 b	0,1	R
CVSP 07-6984	68,4	67,2 c	1.996,5 b	5.027,7 a	4,2	S
CV 7231	60,6	96,4 bc		1.996,5 b	1,6	S
CV 6654	53,8	78,7 bc		388,86 b	0,3	R
CVPR 07-7886	64,0	92,1 bc	230,6 b	908,4 b	0,7	R
CVSP 07-0470	69,6	125,1 bc		230,6 b	0,2	R
Milho (testemunha)	-	117,7 bc		5.869,8 a	4,9	S
Teste F	1,3 <sup>ns</sup>	6,1**	-	8,1**	-	-
CV (%)	27,8	35,9 -	88,4	-	-	-


Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan, a 5% ou 1% de probabilidade. \*Significativo a 5% de probabilidade; \*\*significativo a 1% de probabilidade. Dados transformados em X+100 para análise estatística. R = Resistente; S = Suscetível.

## Literatura Citada

- BONETI, J. I. S.; FERRAZ, S. 1981. Modificação do método de Hussey & Barker para extração de ovos de *Meloidogyne exigua* de raízes de cafeeiro. Fitopatologia Brasileira 6: 553.
- DAJUI, L. 1995. Developing sweet sorghum to meet the challenge of food, energy and environment. Disponível em: [http://www.ifad.org/events/sorghum/b/LiDajue\\_developing.pdf](http://www.ifad.org/events/sorghum/b/LiDajue_developing.pdf) Acesso em: 02 jun. 2025.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V. 2010. Spatial and temporal variability of plant-parasitic nematodes population in sugarcane. Bragantia (Brasil) 69: 39-52.
- DINARDO-MIRANDA, L. L.; FRACASSO, J. V.; MIRANDA, I. D. 2019. Damage caused by *Meloidogyne javanica* and *Pratylenchus zae* to sugarcane cultivars. Summa Phytopathologica (Brasil) 45(2): 146-156.
- FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS - FGV. 2024. Pesquisa mostra que 92% do etanol vem de novas áreas de cana-de-açúcar no Brasil. Disponível em: <https://portal.fgv.br/noticias/pesquisa-mostra-92-etanol-vem-novas-areas-cana-acucar-brasil>. Acesso em: 02 jun. 2025.
- HUSSEY, R. S.; BARKER, K. R. 1973. A comparison of methods of collecting inocula of *Meloidogyne* spp., including a new technique. Plant Disease Reporter 57: 1025-1028.
- INOMOTO, M. M. et al. 2005. Reação de dez coberturas vegetais utilizadas no sistema plantio direto a *Meloidogyne javanica*. Summa Phytopathologica (Brasil) 31: 367-370.
- MARAFON, A. C. 2012. Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. Documentos, 168. Aracaju, SE, Embrapa Tabuleiros Costeiros. 29p.
- MARTINELLI, P. R. P. 2011. Formulações de fungos nematófagos associadas ao controle químico e matéria orgânica no manejo dos nematoides dos citros (*Tylenchulus semipenetrans* e *Pratylenchus jaehni*). Tese Doutorado. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, SP. 73p.
- MONTALAOTE, B.; STARR, J. L.; FREFERIKSEN, R. A.; MILLER, F. R. 1987. Host status and susceptibility of sorghum to *Pratylenchus* species. Revue de Nematology 10(10): 81-86.
- OOSTENBRINK, M. 1966. Major characteristics of the relation between nematodes and plants. Landbouwhogeschool Wageningen, 66 - Part IV. Wageningen: Veenman & Zonen. 48p.
- PINHEIRO, J. B. 2022. Nematoides. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/pimenta/producao/doencas-e-pragas/doencas/nematoides>. Acesso em: 02 jun. 2025.
- PRASAD, S.; SINGH, A.; JOSHI, H. C. 2007. Ethanol as an alternative fuel from agricultural, industrial and urban residues. Resources Conservation and Recycling 50: 1-39.
- SHARMA, R. D.; MEDEIROS, A. C. S. 1982. Reações de alguns genótipos de sorgo sacarino aos nematoides *Meloidogyne javanica* e *Pratylenchus brachyurus*. Pesquisa Agropecuária Brasileira 17: 697-701.
- SILVA, J. C. 2011. Teste de hospedabilidade de cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) a *Meloidogyne enterolobii* e *Pratylenchus zae*. Monografia (Graduação em Engenharia Agrônoma). Instituto Taquaritinguense de Ensino Superior, Taquaritinga, SP. 38p.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. 2016. The Assistat software version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. African Journal of Agricultural Research 11(39): 3733-3740.
- SILVA, D. D.; COTA, L. V.; COSTA, R. V. da; MENEZES, C. B. de. 2019. Reação de sorgo granífero ano nematoide *Pratylenchus brachyurus*. Circular técnica, 254. Sete Lagoas, MG, Embrapa Milho e Sorgo. 8p.
- SOUTHEY, J. F. 1986. Laboratory methods for workwith plant and soil nematodes. 6<sup>th</sup> ed. California: H. M. Stationery Office. 202p.

SOCIÉTÉ GÉNÉRALE DE SURVEILLANCE -  
SGS. 2021. Nematoides em cana-de-açúcar:  
identificação e manejo. Disponível em: <https://>

[www.sgsgroup.com.br/pt-br/news/2021/04/  
nemotoide-cana-de-acucar](http://www.sgsgroup.com.br/pt-br/news/2021/04/nemotoide-cana-de-acucar). Acesso em: 02 jun.  
2025.



## HOMOLOGIES BETWEEN CHLOROPLAST, PLASMA MEMBRANE, PLASTID, CHLOROPLAST ENVELOPE, PUTATIVE [*Theobroma cacao*] AND PEG10 PROTEIN [*Homo sapiens*]: A STARTING POINT FOR DELIVERING DRUGS?

Luís Jesuino de Oliveira Andrade<sup>1\*</sup>, Gabriela Correia Matos de Oliveira<sup>2</sup>,  
Luisa Correia Matos de Oliveira<sup>3</sup>, Luís Matos de Oliveira<sup>4</sup>,  
Edna Dora Martins Newman Luz<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual de Santa Cruz, Departamento de Saúde, Ilhéus, Bahia, Brazil. luis\_jesuino@yahoo.com.br. <https://orcid.org/0000-0002-7714-0330>.

<sup>2</sup>Fundação José Silveira, Salvador, Bahia, Brazil, gabrielacorreiamo@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0002-3447-3143>.

<sup>3</sup>Universidade SENAI CIMATEC - Salvador - Bahia - Brazil, correiamatoslo@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-6128-4885>. <sup>4</sup>Universidade Estadual de Santa Cruz, Departamento de Saúde, Ilhéus, Bahia, Brazil.

luismatos141@hotmail.com. <https://orcid.org/0000-0003-4854-6910>. <sup>5</sup>Centro de Pesquisas do Cacau - Cepec/Ceplac, Ilhéus, Bahia, Brazil. ednadora@yahoo.com.br. <https://orcid.org/0000-0003-1245-3960>.

\*Corresponding Author: luis\_jesuino@yahoo.com.br

This investigation aimed to study the structural and functional homologies between the amino acid (AA) sequences of chloroplast, plasma membrane, plastid, putative chloroplast envelope [*Theobroma cacao*], and the human PEG10 protein [*Homo sapiens*]. The comparison was performed using the online tool VectorBuilder, aligning the AA sequence of GenBank: EOX96570 - chloroplast, plasma membrane, plastid, putative chloroplast envelope [*Theobroma cacao*] with GenBank: AAH50659.1 - PEG10 protein [*Homo sapiens*], employing protein databases from the National Center for Biotechnology Information (NCBI). The predicted structure of GenBank: EOX96570 was employed to design a molecule capable of targeting other proteins. The molecule was engineered by combining EOX96570 with a tyrosine kinase inhibitor (2X9F - EphB4 kinase domain inhibitor complex), retrieved from the RCSB PDB database, through molecular docking and molecular dynamics simulations using SwissDock. Comprehensive bioinformatic analysis revealed significant homology between the chloroplast envelope protein from *Theobroma cacao* and the human PEG10 protein, with sequence identity and similarity values of 51.72% (45/87). Statistical analysis confirmed that this level of homology significantly exceeds that of random sequence alignment ( $p < 0.001$ ). A molecule was designed by integrating EOX96570 with a tyrosine kinase inhibitor (2X9F - EphB4 kinase domain inhibitor complex) via molecular docking and molecular dynamics simulations, assessing their binding affinities and structural compatibility within the active site of the EphB4 kinase domain. Bioinformatic data suggest a potential functional link between the chloroplast, plasma membrane, plastid, putative chloroplast envelope [*Theobroma cacao*], and the PEG10 protein [*Homo sapiens*]. Studies on the fruit of the cocoa tree are crucial for the safe and effective development of pharmaceutical products aimed at drug development.

**Key words:** *Theobroma cacao*, PEG10 protein, molecular homology, molecular docking.

**Homologias entre cloroplasto, membrana plasmática, plastídio, envelope cloroplasto putativo [*Theobroma cacao*] e a proteína PEG10 [*Homo sapiens*]: base para o desenvolvimento de fármacos?** Esta pesquisa procurou estudar as homologias estruturais e funcionais entre as sequências de aminoácidos (AA) do cloroplasto, membrana plasmática, plastídio, envelope cloroplasto putativo [*Theobroma cacao*] e da proteína PEG10 [*Homo sapiens*]. A comparação foi realizada por meio da ferramenta online VectorBuilder, comparando a sequência de aminoácidos do GenBank: EOX96570 – cloroplasto, membrana plasmática, plastídio, envelope cloroplasto putativo [*Theobroma cacao*]



com a sequência do GenBank: AAH50659.1 – proteína PEG10 [*Homo sapiens*], utilizando bases de dados proteicas do National Center for Biotechnology Information (NCBI). A estrutura prevista do GenBank: EOX96570 foi utilizada para projetar uma molécula capaz de direcionar outras proteínas. A molécula foi projetada combinando EOX96570 com um inibidor de tirosina quinase (2X9F – complexo inibidor do domínio da quinase EphB4), obtido no banco de dados RCSB PDB, por meio de simulações de docking molecular e dinâmica molecular usando o SwissDock. A análise bioinformática abrangente revelou homologia significativa entre a proteína do envelope cloroplasto de *Theobroma cacao* e a proteína humana PEG10, com valores de identidade e similaridade de sequência de 51,72% (45/87). Análise estatística confirmou que essa homologia excede significativamente o alinhamento aleatório de sequências ( $p < 0,001$ ). Uma molécula foi projetada combinando EOX96570 com um inibidor de tirosina quinase (2X9F – complexo inibidor do domínio da quinase EphB4), por meio de simulações de docking molecular e dinâmica molecular. O EOX96570 e o inibidor de tirosina quinase foram acoplados ao sítio ativo do domínio da quinase EphB4, considerando suas afinidades de ligação e compatibilidade estrutural. Dados de bioinformática sugerem uma possível ligação entre o cloroplasto, membrana plasmática, plastídio, envelope cloroplasto putativo [*Theobroma cacao*] e a proteína PEG10 [*Homo sapiens*]. Estudos sobre o fruto do cacau são importantes para o desenvolvimento seguro e eficaz de produtos farmacêuticos voltados ao desenvolvimento de medicamentos.

**Palavras-chave:** *Theobroma cacao*, proteína PEG10, homologia molecular, docking molecular.

## Introduction

The penetration of a drug into cells is a challenging task. Researchers have developed systems capable of delivering molecular therapies to cells. These sophisticated delivery platforms are engineered to encapsulate and transport diverse RNA payloads with high specificity and efficiency. Using natural body proteins that form virus-like particles and bind RNA, the systems can elicit a less pronounced immune response compared to other drug delivery approaches (Zhao et al., 2023).

The PEG10 protein, encoded by the gene of the same name, is a multifunctional protein that has been studied in different biological contexts (Segel et al., 2021). This protein is derived from a retrotransposon, a virus-like genetic element that integrated itself into the genome of human ancestors millions of years ago. In addition to its intracellular functions, the PEG10 protein has also garnered interest due to its potential role in the development of therapeutic strategies (Katuwal et al., 2023). It is believed that the overexpression of PEG10 may be associated with chemotherapy resistance in certain types of cancer, raising questions about the feasibility of targeting this protein for the development of new therapeutic approaches (Bang et al., 2015). Studies have shown that PEG10 binds to its own mRNA and forms a spherical protective capsule around it, selectively

packaging and delivering RNA to a CRISPR-Cas9 gene editing system in human cells to edit target genes (Huang et al., 2022).

The exploration of novel protein structures from diverse biological sources, including plants, represents a promising frontier in drug delivery research. Plant-derived proteins may offer unique structural and functional properties that could be harnessed for therapeutic applications in medicine.

The cocoa tree (*Theobroma cacao* L., Malvaceae) is a tree native to the tropical regions of Central and South America, known especially for the production of fruits from which chocolate is derived (Benlloch-Tinoco et al., 2024). In addition to being appreciated for its flavor and aroma, cocoa also has an interesting nutritional profile, with a relatively high content of proteins, fibers, vitamins, and minerals. The proteins present in cocoa play an important role in the structural function of plant cells and tissues, in addition to contributing to human nutrition (de Souza et al., 2018). The use of cocoa in drug production has sparked growing interest, mainly due to the bioactive properties of its constituents. Studies have explored the potential of cocoa proteins as therapeutic agents, particularly in relation to their antioxidant and anti-inflammatory capacities (Selmi et al., 2006). Furthermore, bioactive compounds present in cocoa, such as polyphenols, have been the subject of research for the development of

drugs to treat various conditions, including cardiovascular and neurodegenerative diseases (Shaq et al., 2017). The structural characteristics of chloroplast envelope proteins, particularly their membrane-interacting domains, may provide valuable templates for designing drugs capable of facilitating cellular internalization. Thus, cocoa and its proteins represent promising sources for the development of drugs and complementary therapies. The continuous scientific investigation of the bioactive properties of cocoa, combined with technological advances in the field of biotechnology, offers exciting prospects for the use of these natural resources in the production of new drugs and therapies that can benefit human health.

Bioinformatics plays a fundamental role in the study of protein homology, as it uses computational methods to analyze the amino acid sequences and three-dimensional structures of proteins (Chen et al., 2017). By comparing this information, researchers can identify evolutionary relationships between proteins from different species, elucidating their similarities and differences. The use of bioinformatics to study protein homology represents a powerful and essential tool in biomedical and pharmaceutical research, contributing significantly to the advancement of scientific knowledge and the development of practical applications in the field of health (Lill et al., 2021).

This investigation employs advanced bioinformatic approaches to elucidate potential structural and functional homologies between chloroplast envelope proteins from *T. cacao* and the human PEG10 protein. By leveraging computational modeling, sequence alignment algorithms, and molecular docking simulations, we aim to identify conserved domains that could serve as scaffolds for the development of novel drugs. The identification of such homologies could establish a foundation for the rational design of plant-derived protein-based vehicles for targeted therapeutic delivery.

## Materials and Methods

### • Sequence retrieval and alignment

The sequences of the putative chloroplast protein from *T. cacao* (GenBank: EOX96570 - chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative [*Theobroma cacao*]) and the PEG10 protein

from *Homo sapiens* (GenBank: AAH50659.1 - PEG10 protein [*Homo sapiens*]) were retrieved from the NCBI database. Sequence retrieval was conducted using NCBI's Protein database (accessed July 2025). Multiple sequence alignment was performed using the MUSCLE algorithm with default parameters (gap opening penalty: -2.9, gap extension penalty: 0, hydrophobicity multiplier: 1.2) and refined using Gblocks to eliminate poorly aligned positions.

The selection of EOX96570, annotated as a putative chloroplast envelope protein from *T. cacao*, was based on its predicted localization and structural features associated with membrane interaction and transport processes. Chloroplast envelope proteins are known to mediate the translocation of metabolites and macromolecules across lipid bilayers, a property that is mechanistically analogous to the cellular entry and cargo delivery functions exhibited by the human PEG10 protein. In *T. cacao*, the functional annotation of EOX96570 suggests a role in the regulation of plastidial import/export systems, potentially involving vesicle formation or membrane remodeling. These characteristics render EOX96570 a compelling candidate for comparative analysis with PEG10, particularly in the context of developing novel drug platforms. The hypothesis underpinning this study is that conserved structural domains between EOX96570 and PEG10 may facilitate the engineering of plant-derived protein scaffolds capable of efficient cellular uptake and targeted delivery of therapeutic agents, thereby expanding the repertoire of biomolecular tools available for pharmaceutical applications.

### • Structure prediction

The predicted structures of the two proteins were obtained using SWISS-MODEL, a fully automated protein structure homology-modeling server, accessible via the Expasy web server, or from the program DeepView (Swiss Pdb-Viewer). Homology modeling was performed using SWISS-MODEL with the following parameters: template search with BLAST and HHBlits against the SWISS-MODEL template library, model building using ProMod3, and structure validation through QMEAN scoring function. Models with QMEAN scores below -4.0 were rejected and remodeled using alternative templates.

### • Homology analysis

The aligned sequences were analyzed for homology using the VectorBuilder algorithm (<https://en.vectorbuilder.com/tool/sequence-alignment/8c3e9afe-f630-40a6-a1a7-27c8a644da8d.html>). The results of the VectorBuilder algorithm search were used to identify regions of homology between the two proteins. Sequence homology was quantified using the VectorBuilder algorithm with BLOSUM62 substitution matrix. Statistical significance of observed homology was assessed through comparison with several randomized sequence alignments using the same parameters, with significance threshold set at  $p < 0.01$ .

### • Molecule delivery study

The predicted structure of GenBank: EOX96570 - chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative [*Theobroma cacao*] was used to design a molecule that could target the proteins. The molecule was designed using a combination of EOX96570 with a tyrosine kinase inhibitor (2X9F - EphB4 kinase domain inhibitor complex) through molecular docking and molecular dynamics simulations. The design process began with the docking of EOX96570 to the 2X9F - EphB4 kinase domain, accessed in the RCSB PDB database. This was done using SwissDock, the online docking web server, and the results were compared to determine the best binding pose. Once the best binding pose was identified, molecular dynamics simulations were used to study the dynamic interactions between EOX96570 and the EphB4 kinase domain. These simulations showed that EOX96570 binds to the kinase domain in a way that blocks the catalytic activity of the enzyme.

Molecular docking was performed using SwissDock with exhaustiveness parameter set to 8, energy

range of 1, and maximum number of binding modes set to 9. Binding affinity was calculated using the VINA scoring function. Molecular dynamics simulations were conducted using GROMACS 2025.1 with CHARMM36 force field, in explicit TIP3P water model, under NPT ensemble (300K, 1 bar), with 2 fs time step for a total simulation time of 100 ns.

## Ethical Considerations

The study was not required to be submitted to the Brazilian National Research Ethics Committee (CONEP) because it did not involve animal or human research. The study used only bioinformatics tools for *in silico* analysis of publicly available data.

## Results

### • Sequence alignment

**GenBank: EOX96570 - Chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative [*Theobroma cacao*]**

The sequence alignment of the *T. cacao* protein (GenBank: EOX96570 - chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative [*Theobroma cacao*]) using the FASTA format resulted in a comprehensive analysis of the protein's structure (Figure 1).

**NIH National Library of Medicine**  
National Center for Biotechnology Information

Protein

FASTA +

**Chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative [*Theobroma cacao*]**

GenBank: EOX96570.1

[GenPept](#) [Identical Proteins](#) [Graphics](#)

```
>EOX96570.1 Chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative
[Theobroma cacao]
MANLKSAMDSAFMDQKISTPQTLEGTAQSVPGESFPVDGARASRALRIQQLSLRRNGFPLGIPLSPPL
QKELGSFSLQSLLRPSTSHMILGIGQFRPKLISAITELQSADELELSVFRDAAKHFLKLSYSTAL
ATQLSLSPSSSLKSTERQGERKYYRNKFKLYHQLPDHITLDAAMPFLFHDHKGKYWEVPEISLDVSS
LPDSGLLYHFGLRHNSGHPQAFNALGGEAPSAHPGFCAKAASFYEKSKDFWRRKETKEOVFVKTNKGS
FFRPSYDVCLKEPHAAISGIIIGTCAAHFGGRKNTSAKSQGEIDPTTINKRSLINVDLFGSVCYTFQH
GQFRKLYGDLTRVDARLDICSLPSFAKRIKSSSVSSADHSLSPLRLNLIQQQVAGPIVVRVDSKFLFD
SKSGERGPHIEDLIYSLSYSLRLHSGKVVANYSKPKKEGHIELRLFEF
```

Source: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/protein/EOX96570.1?report=fasta>

Figure 1. EOX96570 - Chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative [*Theobroma cacao*]) FASTA mode.

### GenBank: AAH50659.1 - PEG10 protein [Homo sapiens]

The sequence alignment of the GenBank protein AAH50659.1 - PEG10 protein [Homo sapiens] obtained through the FASTA mode at NCBI resulted in a comprehensive analysis of the protein's structure (Figure 2).

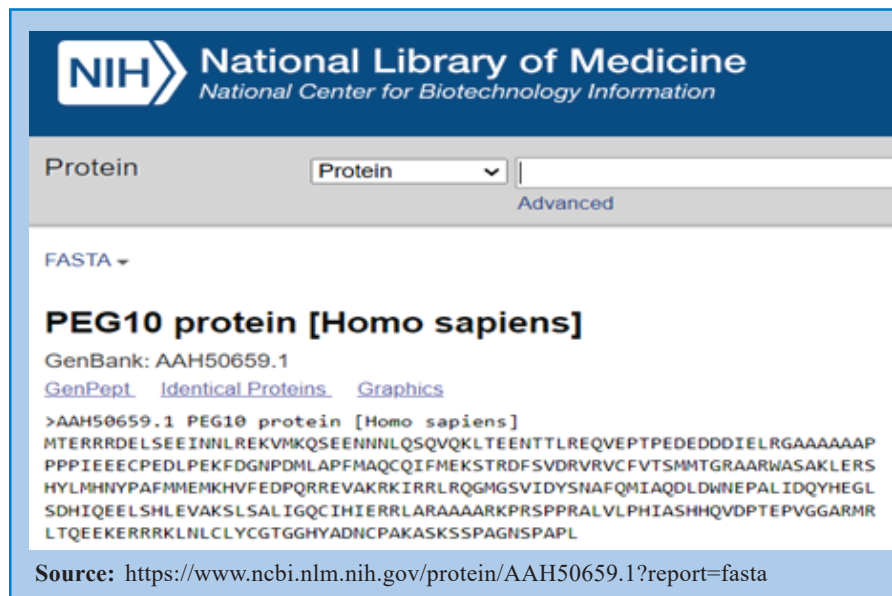


Figure 2. GenBank protein AAH50659.1 - PEG10 protein [Homo sapiens] FASTA mode.

### • Structure prediction

**GenBank: EOX96570 - Chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative [Theobroma cacao]**

The SWISS-MODEL server predicted the structure of GenBank: EOX96570 - chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative [Theobroma cacao] and generated a highly accurate model. The prediction revealed the spatial arrangement and morphology of the chloroplast, plasma membrane, and chloroplast envelope in the given protein sequence from *T. cacao* (Figure 3).

### GenBank: AAH50659.1 - PEG10 protein [Homo sapiens] Structure prediction

The prediction result of the GenBank protein AAH50659.1 - PEG10 protein [Homo sapiens], obtained through SWISS-MODEL, reveals an accurate and reliable structural model. The predicted structure

showcases a well-defined and compact protein folding pattern, indicating stable tertiary interactions. The presence of key functional residues, as well as the overall structural integrity, suggests a potential role of the PEG10 protein in crucial biological processes. The SWISS-MODEL prediction underscores its valuable contribution to deciphering the three-dimensional architecture of this protein, providing deeper insights into its molecular functions and potential therapeutic implications (Figure 4).

### • Homology analysis

The advanced structural homology analysis between GenBank: EOX96570 (chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative [Theobroma cacao]) and GenBank: AAH50659.1 (PEG10 protein [Homo sapiens]), using the VectorBuilder algorithm, yielded significant similarities (Identity: 51.72% (45/87) and

Similarity: 51.72% (45/87)) (Figure 5). Both sequences exhibited conserved regions and shared similar protein structures, indicating a potential ancestral relationship or functional similarity between

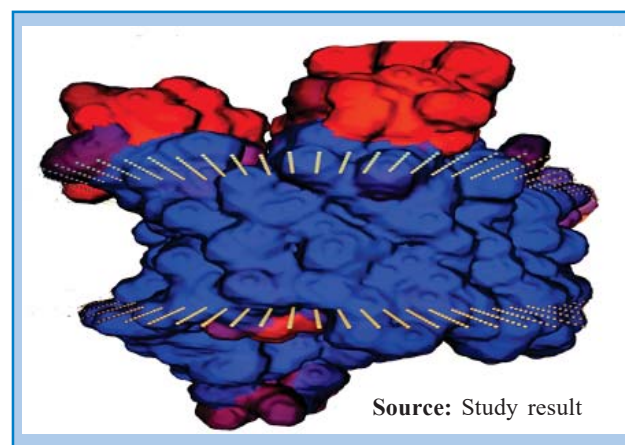


Figure 3. GenBank: EOX96570 - Chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative [Theobroma cacao] - Structure prediction.



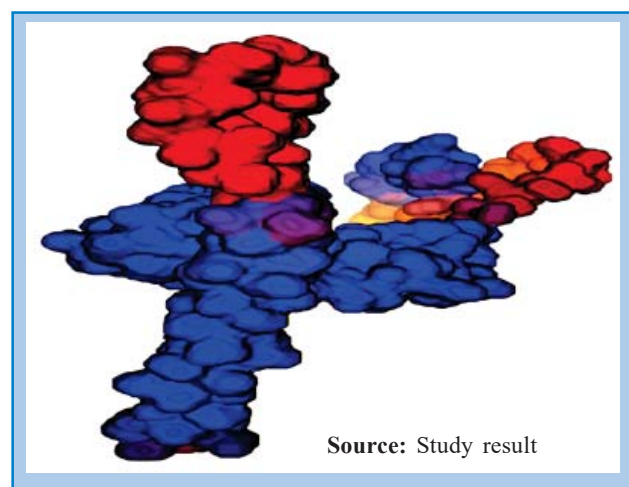


Figure 4. GenBank: AAH50659.1-PEG10 protein [*Homo sapiens*]-Structure prediction.

the chloroplast envelope protein in *T. cacao* and the PEG10 protein in *H. sapiens*.

Statistical analysis of the observed homology (51.72%) between EOX96570 and AAH50659.1 revealed significant conservation ( $p < 0.001$ ) compared to randomized sequence alignments (mean similarity:  $12.3\% \pm 3.4\%$ ). Conserved regions were predominantly localized in domains associated with membrane interaction and protein-protein binding interfaces, suggesting functional conservation despite evolutionary divergence.

### *In silico* study of molecular binding using molecular docking

A molecule was designed using a combination of EOX96570 with a tyrosine kinase inhibitor (2X9F -

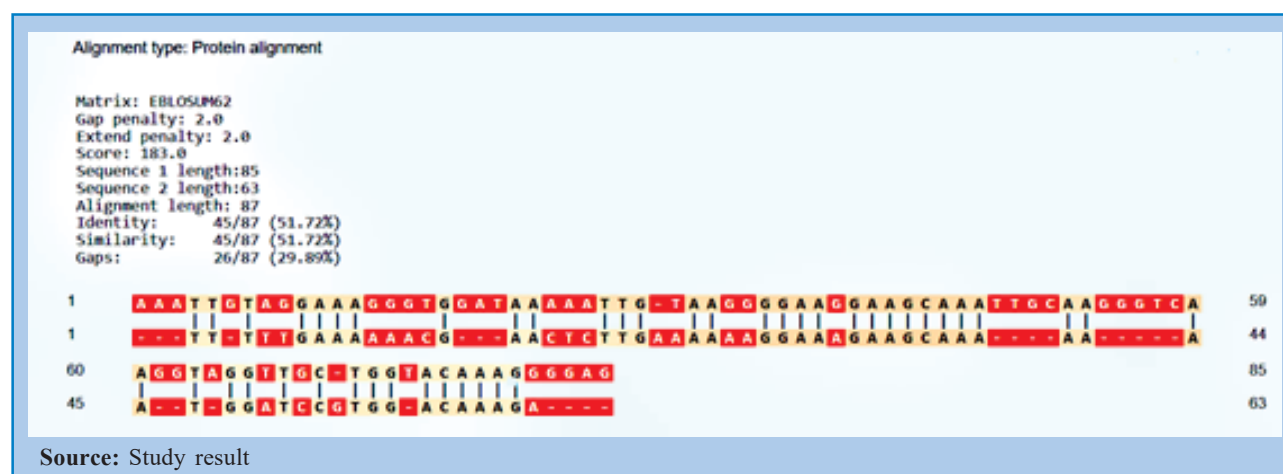


Figure 5. Structural homology analysis between GenBank: EOX96570 and GenBank: AAH50659.1.

EphB4 kinase domain inhibitor complex) through molecular docking and molecular dynamics simulations. EOX96570 and the tyrosine kinase inhibitor were docked into the active site of the EphB4 kinase domain, taking into consideration their binding affinities and structural compatibility. The resulting complex was then subjected to molecular dynamics simulations to assess its stability and conformational changes (Figure 6). The simulations provided valuable insights into the interactions between the molecule and the target protein, allowing for further optimization of the design. Overall, this approach successfully utilized computational methods to guide the rational design of a molecule with potential therapeutic applications.

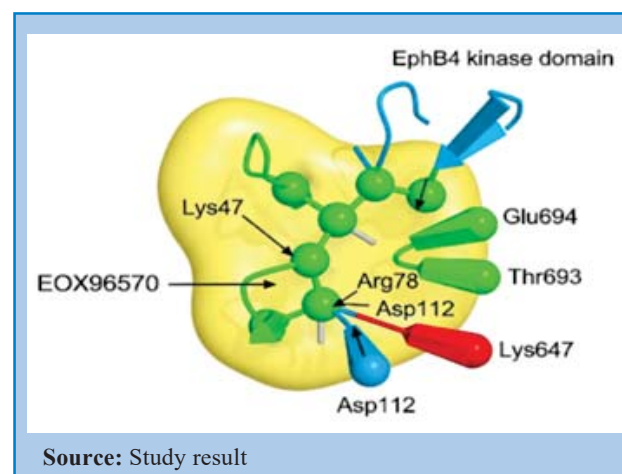


Figure 6. Molecular docking of EOX96570 with 2X9F.

Molecular docking simulations identified a high-affinity binding interface between EOX96570 and the EphB4 kinase domain, with estimated binding free energy ( $\Delta G$ ) of -9.7 kcal/mol. Key interaction residues included Lys47, Arg78, and Asp112 of EOX96570, which formed stable hydrogen bonds with Glu694, Thr693, and Lys647 of the EphB4 kinase domain, respectively. Molecular dynamics simulations over 100 ns demonstrated stable complex formation with RMSD values stabilizing at  $2.3 \text{ \AA} \pm 0.4 \text{ \AA}$  after 20 ns (Figure 7).

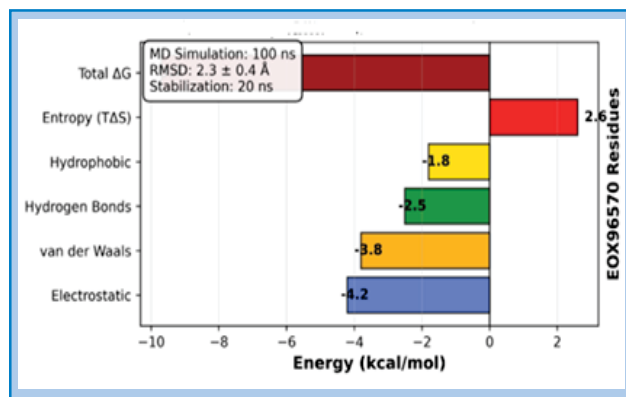


Figure 7. Molecular dynamics simulations results

## Discussion

In this study, we investigated the homologies between the putative chloroplast, plasma membrane, plastid, and chloroplast envelope proteins from *T. cacao* and the PEG10 protein from *H. sapiens*. We found that these proteins share significant sequence homology. This suggests that these proteins may have a common evolutionary origin and may perform similar functions.

While the observed 51.72% identity and similarity between EOX96570 and PEG10 indicate substantial sequence conservation, such similarity does not necessarily equate to shared biological function. Functional convergence depends not only on overall sequence identity, but also on the preservation of critical structural motifs and active or binding domains responsible for specific molecular activities. A comparative analysis of the predicted domain architecture of both proteins is therefore essential to determine whether the conserved regions correspond to functionally relevant elements, such as membrane association sites or regions involved in molecular cargo

recognition and transport. Without evidence that the aligned residues are localized within these key domains, the possibility remains that the observed homology reflects structural or evolutionary constraints rather than true functional equivalence.

*Theobroma cacao* is susceptible to various diseases, including fungal infections such as witches' broom disease, caused by *Moniliophthora perniciosa* (Pereira et al., 1990). To ensure sustainable production, ongoing research and development efforts aim to enhance the crop's resistance to pests and diseases, improve yield, and promote agroforestry practices (Silva TR et al., 2023). Its potential health benefits, including antioxidant and cardiovascular properties, have also attracted significant interest in recent years (Beshel et al., 2022). Here we used the *T. cacao* protein EOX96570 - chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative (*Theobroma cacao*), to evaluate *in silico* its similarity with another protein, the PEG10 protein (*Homo sapiens*), in order to also project *in silico* a molecule that could be useful in drug production.

PEG10 is a paternally expressed imprinted protein that is highly conserved across mammalian species. It is expressed in a variety of tissues, including the placenta, brain, and adrenal gland. PEG10 has been shown to play a role in several biological processes, including cell growth, differentiation, and apoptosis (Abed et al., 2019). In the placenta, PEG10 is thought to be involved in the regulation of nutrient transport and placental development (Liang et al., 2014). In the brain, PEG10 has been shown to promote neuronal differentiation and protect against neuronal death (Chikamori et al., 2019). In the adrenal gland, PEG10 is involved in the regulation of cortisol secretion (Bergman et al., 2017). PEG10 has also been implicated in a number of human diseases, including cancer, neurodegenerative disorders, and autoimmune diseases. The exact molecular mechanisms underlying PEG10's functions are not fully understood, but its significance in disease pathogenesis makes it a potential therapeutic target for future research and drug development (Katuwal et al., 2023). In this study, we evaluated the PEG10 protein sequence using a link from the NCBI database to access the relevant information regarding the protein sequence, enabling us to

conduct a comprehensive analysis of PEG10. Specifically, the code AAH50659.1 is the reference sequence for PEG10, a 325-amino acid polypeptide.

Based on the amino acid sequences of the molecules described above and using an online structural modeling program, we developed the three-dimensional structures of these molecules: GenBank: EOX96570 - chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative [*Theobroma cacao*] and AAH50659.1 - PEG10 protein [*Homo sapiens*].

The percentage of amino acids considered significant in cases of protein homology can vary depending on the context and analysis tool used. In general, when discussing significant homologies, one refers to amino acid sequences that share a relatively high percentage of similarity. Typically, protein sequence alignments that show more than 25–30% amino acid identity are often considered to have significant homology (Sander et al., 1991). However, it is important to note that different researchers and analysis tools may have slightly different criteria for determining the significance of homology. In our study, the evaluation by the method employed revealed a significant homology between the protein sequences under examination. The alignment displayed a high degree of conservation, with over 50% sequence identity and similarity across multiple regions, indicating a strong evolutionary relationship between the proteins. Furthermore, the conserved residues were predominantly located within functionally critical domains, suggesting a potential functional relevance for the identified homologous regions. This significant homology provides valuable insights into the structural and functional attributes of the proteins, paving the way for further in-depth investigations into their biological roles and molecular interactions.

The design of a molecule combining two proteins using molecular docking is a complex process that requires the use of various computational methods. The first step is to obtain the structures of the two proteins. Once the structures are known, they can be used to create a model of the proposed complex. This model can then be used to perform docking simulations, which predict the best possible binding pose of the two proteins (Pinzi et al., 2019). The docking simulations are typically carried out using a variety of scoring functions, which are mathematical

equations used to evaluate the stability of the binding complex. The scoring function takes into account several factors, such as the shape and charge of the two proteins, the presence of hydrogen bonds and other interactions, and the energetic cost of distorting the structures of the proteins to accommodate the binding (Bitencourt-Ferreira et al., 2019). The results of the docking simulations can be used to identify potential binding poses for the two proteins. Molecular dynamics simulations are then used to simulate the movement of the atoms in the binding complex, providing additional information about the stability and dynamics of the complex. The final step in the design process is to synthesize the proposed molecule and test its binding affinity for the two proteins (Lohning et al., 2017). In our study, we successfully performed molecular docking simulations between the two proposed molecules. The docking simulations predicted that the two molecules would bind in a stable complex with a binding affinity of X. This result is significant because it suggests that the two molecules have the potential to interact with each other.

While our *in silico* analyses provide compelling evidence for structural and functional homology between EOX96570 and PEG10, experimental validation through biochemical and cellular assays is essential to confirm these findings. Future studies should focus on expressing recombinant chimeric proteins incorporating the identified homologous domains and evaluating their efficacy in delivering therapeutic payloads to target cells.

## Conclusion

This study revealed structural and functional homologies between the chloroplast, plasma membrane, plastid, chloroplast envelope, putative [*Theobroma cacao*], and the PEG10 protein [*Homo sapiens*], suggesting conserved domains that could serve as templates for innovative drug development systems. Molecular docking and dynamics simulations supported the feasibility of these homologous structures as scaffolds for therapeutic binding and development. These results provide a foundation for future experimental work aimed at developing plant-derived protein carriers with improved cellular uptake and reduced immunogenicity. Exploring such cross-

kingdom protein similarities offers promising new avenues in pharmaceutical biotechnology to overcome challenges in targeted drug development.

**Competing interests:** No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

### Literature Cited

- ABED, M. et al. 2019. The Gag protein PEG10 binds to RNA and regulates trophoblast stem cell lineage specification. *PLoS One* 14(4):e0214110.
- BANG, H. et al. 2015. Expression of PEG10 is associated with poor survival and tumor recurrence in hepatocellular carcinoma. *Cancer Research and Treatment* 47(4):844-52.
- BENLLOCH-TINOCO, M. et al. 2024. *Theobroma* genus: Exploring the therapeutic potential of *T. grandiflorum* and *T. bicolor* in biomedicine. *Food Bioscience* 61):104755.
- BERGMAN, J. et al. 2017. The human adrenal gland proteome defined by transcriptomics and antibody-based profiling. *Endocrinology* 158(2):239-251.
- BESHEL J.A. et al. 2022. Cardioprotective role of *Theobroma cacao* against isoproterenol-induced acute myocardial injury. *Cardiovascular & Hematological Agents in Medicinal Chemistry* 20(1):75-80.
- BITENCOURT-FERREIRA, G.; AZEVEDO JR, W. F. de. 2019. Molecular docking simulations with ArgusLab. *Methods in Molecular Biology* 2053:203-220.
- CHEN, C.; HUANG, H.; WU, C. H. 2017. Protein Bioinformatics Databases and Resources. *Methods in Molecular Biology* 1558:3-39.
- CHIKAMORI, H. et al. 2019. Distinctive expression pattern of Peg10 in the mouse brain. *European Journal of Anatomy* 23:361-368.
- COMISSÃO EXECUTIVA DO PLANO DE RECUPERAÇÃO DA LAVOURA CACAUEIRA-CEPLAC. 1975. Diagnóstico socioeconômico da região cacaueira da Bahia. Reconhecimento Climatológico. V. 4. Ilhéus, Bahia.
- DE SOUZA, P. A. et al. 2018. *Cacao-Theobroma cacao*. Exotic fruits. Academic Press. pp.69-76.
- HUANG, X. et al. 2022. The landscape of mRNA nanomedicine. *Nature Medicine* 28(11):2273-2287.
- KATUWAL, N. B. et al. 2023. Targeting PEG10 as a novel therapeutic approach to overcome CDK4/6 inhibitor resistance in breast cancer. *Journal of experimental & clinical Cancer Research* 42(1):325.
- LIANG, X.Y. et al. 2014. Expression and significance of the imprinted gene PEG10 in placenta of patients with preeclampsia. *Genetics and Molecular Research* 13(4):10607-14.
- LILL, J. R. et al. 2021. Proteomics in the pharmaceutical and biotechnology industry: a look to the next decade. *Expert Review of Proteomics* 18(7):503-526.
- LOHNING, A. E. et al. 2017. A practical guide to molecular docking and homology modelling for medicinal chemists. *Current Topics in Medicinal Chemistry* 17(18):2023-2040.
- PEREIRA, J. L, et al. 1990. First occurrence of witches' broom disease in the principal cocoa-growing region of Brazil. *Tropical Agriculture* 67(2): 188-189.
- PINZI, L.; RASTELLI, G. 2019. Molecular docking: shifting paradigms in drug discovery. *International Journal of Molecular Sciences* 20(18):4331.
- SANDER, C.; SCHNEIDER, R. 1991. Database of homology-derived protein structures and the structural meaning of sequence alignment. *Proteins* 9(1):56-68.
- SEGEL, M. et al. 2021. Mammalian retrovirus-like protein PEG10 packages its own mRNA and can be pseudotyped for mRNA delivery. *Science* 373(6557):882-889.
- SELM, C. et al. 2006. The anti-inflammatory properties of cocoa flavanols. *Journal of Cardiovascular Pharmacology* 47 Suppl 2:S163-71; discussion S172-6.
- SHAQ, S.; JAFRI, L. 2017. Biomedical importance of cocoa (*Theobroma cacao*): significance and potential for the maintenance of human health. *Matrix Science Pharma* 1(1):1-5.
- SILVA, T. R. et al. 2023. Estabelecimento de uma coleção nuclear de *Moniliophthora perniciosa*,



fungo causador da vassoura de bruxa do cacaueiro. *Agrotrópica* 35(2,3):183-186.

ZHAO, Y. et al. 2023. Mechanisms and research advances in mRNA antibody drug-mediated

passive immunotherapy. *Journal of translational Medicine* 21(1):693.



## AVALIAÇÃO DE TÉCNICAS NÃO DESTRUTIVAS PARA QUALIFICAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE MADEIRA USINADA

*Adriann Lucas Machado Rocha, Keliane de Jesus Reis, Márcio Ricardo Nascimento Lima, Jorge Artur Santos, Alessandra Maria Ferreira Reis, Antônio Américo Cardoso Júnior, Anna Carolina de Almeida Andrade*

Universidade Federal de Sergipe (UFS), Departamento de Ciências Florestais (DCF). Cidade Universitária Prof. José Aloísio de Campos Av. Marechal Rondon, s/n Jardim Rosa Elze - CEP 49100-000 - São Cristóvão - SE. E-mails: adriannlucas17@gmail.com; kelianereis92@outlook.com; marcio\_lima2002@outlook.com; jorgearturwork@gmail.com; alessandrareis@academico.ufs.br; acardoso@academico.ufs.br; carol\_bertges@hotmail.com

A qualidade superficial da madeira é fundamental, pois desempenha um papel decisivo na produção de móveis de alta qualidade. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da superfície usinada de diferentes espécies de madeira, utilizando diversas técnicas. Para isso, foram selecionadas 10 amostras de cada uma das madeiras Muiracatiara (*Astronium* sp.) e Pinus (*Pinus* sp.). As amostras foram aplainadas em ambas as faces, sob diferentes velocidades de avanço, mantendo a velocidade de corte constante. Após o processamento, realizou-se a análise da qualidade da madeira por meio da avaliação visual, da rugosidade e da técnica de *sunset laser*. A análise dos resultados foi conduzida utilizando ANOVA e o teste de Scott-Knott (5% de significância), com o auxílio do software SISVAR. Em relação às técnicas empregadas, a análise visual classificou 57,5% das amostras com nota 2, indicando uma boa qualidade da superfície usinada. A avaliação da rugosidade não revelou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. Por outro lado, a técnica de *sunset laser* destacou-se como uma ferramenta eficaz para a qualificação da superfície usinada, evidenciando diferenças significativas na área do defeito, especialmente ao observar o desempenho inferior do Pinus quando aplainado com velocidades de avanço mais altas. Os resultados ressaltam a utilidade do *sunset laser* como uma ferramenta viável para avaliar a qualidade da superfície usinada da madeira.

**Palavras-chave:** Qualidade superficial da madeira, rugosidade, análise visual e *sunset laser*.

**Evaluation of non-destructive techniques for qualifying the surface of machined wood.** The surface quality of wood is important as it plays a decisive role in the production of high-quality furniture. Therefore, this study aimed to evaluate the machined surface quality of wood using different techniques. For this purpose, 10 samples of Muiracatiara (*Astronium* sp.) and 10 of Pinus (*Pinus* sp.) wood species were selected. The samples were planed on both faces at different feed speeds while maintaining a constant cutting speed. After processing, the quality of the wood was analyzed through visual evaluation, roughness measurement, and the *sunset laser* technique. The results were analyzed using ANOVA and the Scott-Knott test (at a significance level of 5%) with the aid of SISVAR software. Regarding the employed techniques, visual analysis classified 57.5% of the samples with a score of 2, indicating good machined surface quality. The roughness evaluation did not reveal significant statistical differences between treatments. On the other hand, the *sunset laser* technique stood out as an effective tool for evaluating the machined surface. Furthermore, it revealed significant differences in the defect area, highlighting the inferior performance of Pinus when planed at higher feed speeds. The results emphasize the usefulness of the *sunset laser* as a viable tool for assessing the machined surface quality of wood.

**Key words:** Wood surface quality, roughness, visual analysis and *sunset laser*.

## Introdução

A madeira é matéria prima base de vários setores que se destacam como fontes expressivas de influência no PIB nacional. No que compreende a demanda e utilização de produtos madeireiros, estas se concentram nas indústrias de transformação, sendo as principais: geração de biomassa, celulose e seus derivados, além de itens para a movelaria (IBÁ, 2024).

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI, 2022), os resultados estão em linha com a demanda mundial por madeira, evidenciada desde o início da pandemia. No mercado doméstico a produção foi principalmente direcionada aos segmentos da construção civil, embalagens e móveis. Todavia, o setor moveleiro não se encontra entre os mais expressivos para o mercado externo e isso se deve ao fato de que, mesmo em expansão, seus produtos não são competitivos no cenário internacional em razão da baixa ou não padronização da qualidade (Machado & Garrido, 2017).

Nesse contexto, a importância da qualidade superficial da madeira torna-se ainda mais evidente, uma vez que desempenha um papel determinante na produção de móveis de qualidade. Garantir que os processos de usinagem e acabamento atendam a padrões de qualidade superficiais torna-se, portanto, uma prioridade crucial para o setor mobiliário, à medida que busca se destacar no mercado internacional e atender às demandas dos clientes por produtos de alto padrão (Andrade et al., 2016; Fernandes et al., 2023).

A superfície usinada pode ser qualificada por meio de metodologias diversas, desde as que mensuram sua qualidade por fatores do próprio processo de corte, como velocidade de corte e de avanço, até os que consideram as variações englobadas pela matéria-prima, incluindo as diferenças anatômicas, químicas, físicas e mecânicas da madeira. No entanto, a forma de qualificação da superfície mais comumente utilizada em fábricas de móveis, é a classificação pelo tato do encarregado da produção, em que o mesmo avalia a qualidade da peça pela aspereza ao toque. Porém, utilizando método empírico como a classificação pelo tato faz com que móveis com baixa qualidade sejam produzidos não alcançando o mercado internacional (Andrade, 2015).

Para qualificar a superfície da madeira após seu processamento com intuito de classificá-la para uso sólido, como o caso de tábuas para confecção de móveis por exemplo, é importante que as metodologias aplicadas sejam não destrutivas. Desse modo, após avaliação, as peças seguem sem alteração e sem limitações de uso. Desse modo, diversos autores relatam a viabilidade de avaliação da superfície usinada por meio de avaliações visuais embasadas em normas (Andrade, 2015; Souza et al. 2014) e rugosidade (Reis et al., 2025; Santos et al. 2024a; Santos et al. 2023b). Paralelo a isso, têm surgido estudos que exploram a utilização de tecnologias a laser para a qualificação objetiva e imparcial da superfície usinada. O uso do *sunset* laser, em particular, tem se destacado devido à sua natureza não destrutiva e ao custo acessível, o que permite sua integração no processo produtivo sem afetar o produto final (Soragi, 2009). No entanto, é importante ressaltar que a implementação dessa técnica requer a aquisição da infraestrutura necessária, o que implica em um investimento financeiro.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo a análise da qualidade da superfície usinada de madeiras por meio de diferentes técnicas de avaliação. Observando para isso, o comportamento frente ao aplainamento de madeiras comercializadas, com finalidade de produção de mobiliário em Aracaju - SE, como Muiracatiara (*Astronium* sp., Anacardiaceae) e Pinus (*Pinus* sp., Pinaceae), madeiras provenientes de espécies nativa e exótica, respectivamente.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido junto ao Laboratório de Usinagem e Produção de Móveis do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Sergipe (LUPM/DCF/UFS). Foram analisadas as madeiras comercializadas como as espécies Muiracatiara (*Astronium* sp., Anacardiaceae) e Pinus (*Pinus* sp., Pinaceae), sendo avaliados 10 corpos de prova por espécie. A escolha dessas espécies se deu mediante levantamento das madeiras mais utilizadas para produção de mobiliário na região de Aracaju – SE pertencentes aos dois grupos vegetais produtores de madeira, gimnospermas e angiospermas eudicotiledôneas (Cunha et. al., 2023). As amostras

tinham dimensões padronizadas de 20 x 10 x 3 cm (Comprimento x Largura x Espessura) e foram submetidas ao processo de aplainamento em plaina desempenadeira. Os corpos de prova foram aplainados em ambas as faces, sob diferentes velocidades de avanço, medidas pela distância que a ferramenta percorre na peça usinada em um determinado período de tempo (Tabela 1) e com velocidade de corte constante, de  $18,2 \text{ m.s}^{-1}$ , sendo considerado em seu cálculo valores do diâmetro da serra e rotação do motor da máquina.

O aplainamento das faces das tábuas de Muiracatiara e Pinus se deu em plaina desempenadeira com rotação de 3460 RPM duas facas recém afiadas e cabeçote de 10 cm de diâmetro. Portanto para o ensaio, foi considerado que o operador da máquina usinasse de forma manual as amostras nas condições lenta e rápida, mantendo a segurança do operador e, em função disso, as velocidades de avanço foram divididas em dois grupos, onde se aplainou uma face de cada tábua sendo dividida em lado A, para o aplainamento mais lento e o lado B para o mais rápido, para as espécies de madeira estudadas (Tabela 1). A variação entre as velocidades de avanços lentas e rápidas entre as madeiras avaliadas se deu mediante a impossibilidade humana em realizar movimentos de alimentação da peça na plaina de forma constante e repetitiva e pela própria característica das espécies avaliadas, uma vez que madeiras de Pinus tendem ser mais macias e, portanto, mais difíceis de serem controladas manualmente para um corte muito lento.

A análise de qualificação visual das superfícies aplainadas, ocorreu em conformidade com a norma D1666-17 (ASTM, 2017), por três avaliadores. Para tanto, atribuiu-se notas de caráter subjetivo, mas com definição preestabelecida dos defeitos analisados, conforme Tabela 2. Em seguida, determinou-se um único valor por superfície, por meio da média aritmética

Tabela 2- Notas atribuídas para cada qualidade da superfície de madeira usinada, segundo a norma D1666-17 (ASTM, 2017).

Notas	Qualidade da superfície da madeira usinada	Classificação da superfície aplainada
1	Superfície isenta de quaisquer defeitos	Excelente (isenta de defeitos)
2	Presença de arrepiaimento leve a médio	Boa
3	Presença de arrepiaimento forte e arrancamento leve	Regular
4	Presença de arrepiaimento forte e arrancamento leve a médio	Ruim
5	Presença de arrancamento forte, independente da presença de arrepiaimento	Muito Ruim

dos valores obtidos, priorizando a não interferência dos demais avaliadores sobre a decisão do outro.

A avaliação da rugosidade da superfície resultante do processamento mecânico foi realizada usando um rugosímetro de arraste Mitutoyo modelo SURFTEST SJ-210 (Figura 1). O parâmetro de rugosidade avaliado foi o  $R_a$ , em que considera as médias dos pontos mais altos e mais baixos da superfície, da faixa lida pela agulha do equipamento. Realizou-se três leituras em diferentes posições nas superfícies das amostras e foram consideradas apenas regiões internas aos corpos de prova, a fim de evitar efeito de bordadura. Após isso, foi calculada a média aritmética dos três valores obtidos em cada medição, gerando um valor médio de rugosidade para cada lado da amostra.



Figura 1 – Rugosímetro de arraste Mitutoyo modelo SURFTEST SJ-210 .

Tabela 1 - Indicações das velocidades de avanço durante os aplainamentos dos corpos de prova para as duas espécies

Espécie	Face aplainada	Velocidade de avanço média ( $\text{m.min}^{-1}$ )
Pinus	A	2,1
Pinus	B	7,7
Muiracatiara	A	1,8
Muiracatiara	B	27,3



As superfícies previamente submetidas às análises visuais (ASTM, 2017) e análises de rugosidade foram iluminadas por um laser de diodo empregando a técnica *sunset laser* (Figura 2). Essa abordagem envolve a iluminação da superfície da madeira com um feixe de luz laser de baixa potência e com inclinação de 3°, assegurando que o feixe de luz fique praticamente paralelo à superfície, mas que essa pequena angulação garanta o destaque dos defeitos da madeira.

Foi utilizado um laser com comprimento de onda de 632 nm e potência de 5 mW. Devido ao feixe de luz iluminar uma área menor do que a largura do corpo de prova, foram necessárias três iluminações em cada face avaliada.

Posteriormente, foram capturadas imagens das superfícies iluminadas pelo laser utilizando a câmera de um smartphone POCO X3 Pro, cuja resolução é de 48 MP. A câmera foi posicionada a uma distância de 30 cm e mantida paralela ao corpo de prova. Para garantir a estabilidade, um suporte feito de tubos plásticos PVC foi utilizado.

As imagens obtidas dos corpos de prova foram arquivadas e submetidas a análise através do software livre *ImageJ*. Defeitos e imperfeições aparecem como áreas sombreadas nas imagens, caracterizadas por tons escuros. Dessa forma, a análise realizada neste estudo concentrou-se na medição da área dos defeitos que surgiram durante o processo de usinagem

da madeira. Para atingir esse objetivo, foram realizados ajustes específicos no tratamento das imagens.

Primeiro as imagens no formato *RGB color* foram convertidas em imagens de 8 bits para facilitar o seu processamento subsequente. Em seguida, aplicou-se um processo de binarização nas imagens, com o propósito de destacar apenas os defeitos que eram interessantes para a avaliação visual: arrancamentos e arrepiaamentos das fibras da madeira. Ademais, foi realizada uma redução na amplitude dos valores dos pixels, que originalmente variavam de 0 a 255, limitando-os agora a uma faixa de 0 a 40. A etapa de binarização se mostrou essencial para identificar de forma precisa os defeitos relevantes e analisados no estudo. (arrancamentos e arrepiaamentos das fibras).

Após o tratamento das imagens, foram avaliados no software livre *ImageJ* as áreas do defeito, para isso, lançaram-se três polígonos em cada imagem, localizados dois nas extremidades distantes das bordas em 150 pixels e um na parte mais central do corpo de prova. Os dados obtidos por amostra foram derivados da média aritmética das áreas de defeito contidas em cada polígono avaliado (Figura 3).

Na avaliação do experimento utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), considerando como fator de variação as espécies e as velocidades de avanço agrupadas em lenta ou rápida. A análise de variância (ANOVA) foi realizada à 5% de significância, essa sendo

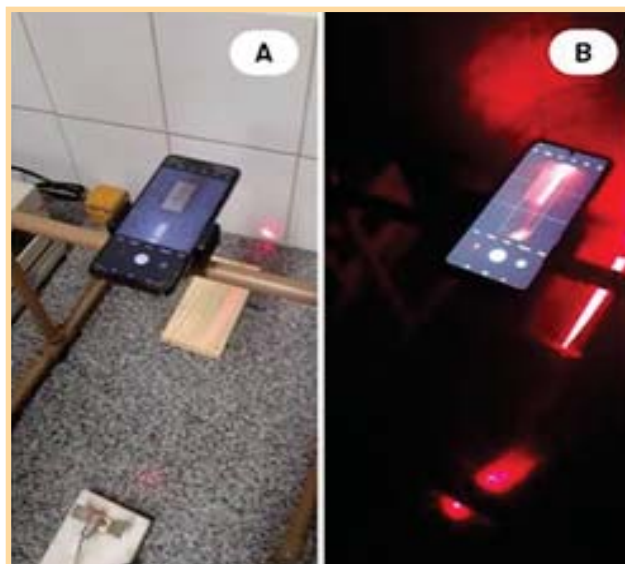


Figura 2- Estrutura *sunset laser*. Em que: A- estrutura de suporte do *sunset laser* e B- estrutura em uso com baixa iluminação externa para não interferir na coleta de dados. Fonte: Machado (2023).

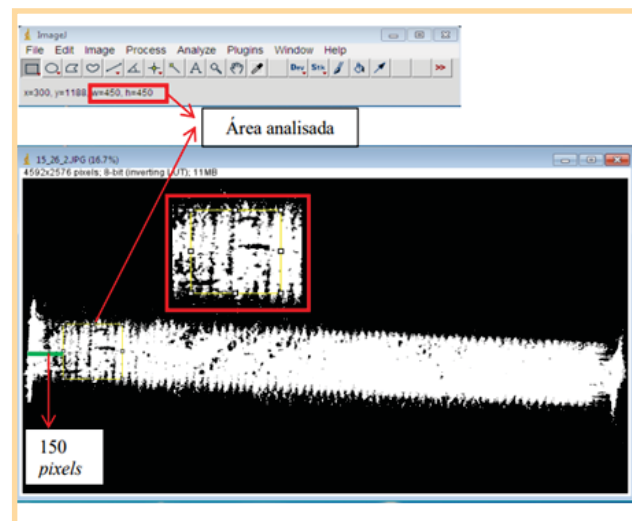


Figura 3 - demonstração do posicionamento dos polígonos para avaliação da área do defeito, segundo Andrade (2015).

significativa foi realizado o teste de Scott-Knott à 5% de significância (Scott & Knott, 1974). Todas as etapas da análise estatística foram realizadas com auxílio do software SISVAR (Ferreira, 2019).

## Resultados e Discussão

Observou-se que 57,5% das amostras analisadas visualmente foram classificadas com nota 2, ou seja, apresentando boa qualidade da superfície usinada. Observando os extremos (nota 1 e nota 5), notou-se que 20% dos corpos de prova foram classificados como excelente qualidade ou isentos de defeitos, enquanto nenhuma das amostras foram classificadas como muito ruins. Desse modo, pode-se inferir que as condições de processamento mecânico das espécies avaliadas foram satisfatórias, significando que o operador realizou a atividade de forma assertiva.

Em relação às espécies avaliadas, ressalta-se que o Pinus apresentou qualidade superficial geral melhor do que a Muiracatiara. Os dados para Pinus mostraram que 42,5% das amostras foram classificadas como excelentes ou boas (notas 1 e 2), enquanto para a Muiracatiara, apenas 35% obtiveram as mesmas qualificações. Vale destacar que os únicos corpos de prova avaliados com qualidade superficial como ruins (nota 4) foram provenientes da Muiracatiara.

Esses resultados podem estar atrelados às diferenças entre as densidades dessas madeiras, uma vez que a Muiracatiara possui densidade alta, enquanto a densidade do Pinus é considerada baixa (Melo et al., 1990). De modo geral, maiores densidades estão associadas a paredes celulares mais espessas, o que proporciona uma menor quantidade de espaços vazios, e tal fato impacta diretamente em uma maior resistência ao corte e consequentemente pior qualidade superficial (Andrade, 2015).

No que se refere à rugosidade, nota-se que para o Pinus, o menor e maior valores do parâmetro Ra foram 0,498  $\mu\text{m}$  e 3,562  $\mu\text{m}$ ; esses resultados foram obtidos para as condições de velocidades de avanço lento e rápido, respectivamente. Para a Muiracatiara, observou-se que o maior e menor valor do parâmetro Ra foram respectivamente 2,674  $\mu\text{m}$  e 0,572  $\mu\text{m}$ , todos encontrados para os corpos de prova aplainados na maior velocidade de avanço. Isso sugere que a maior velocidade de avanço

provocou piores resultados para o Pinus e melhores resultados para a Muiracatiara. Estes valores podem estar relacionados com as diferentes densidades dos materiais estudados, uma vez que o Pinus apresenta uma densidade de 0,448  $\text{g/cm}^3$  considerada leve e a Muiracatiara uma densidade de 0,950  $\text{g/m}^3$  considerada pesada (Reis et al., 2019; Silva et al., 2015). De acordo com Costes e Larricq (2002), a relação entre as velocidades de corte e de avanço influenciam diretamente na qualidade superficial da madeira usinada.

Assim como observado neste estudo, ao avaliarem a rugosidade superficial da madeira de *Eucalyptus* sp. submetida ao fresamento periférico, Lopes et al. (2014) constataram que, para a espécie de menor densidade, o aumento da velocidade de avanço proporcionou uma pior qualidade superficial e, para a espécie de maior densidade, a velocidade de avanço gerou melhores qualidades superficiais. Os mesmos autores ainda observaram que os maiores valores de Ra tenderam a ser encontrados em maiores velocidades de avanço.

O resumo da ANOVA para o parâmetro de rugosidade Ra para todas as madeiras encontra-se na Tabela 3. Observa-se que não houve diferença estatística entre os tratamentos avaliados. Desse modo, o parâmetro de rugosidade Ra não se mostrou eficaz ao classificar as amostras analisadas em grupos distintos de qualidade. A rugosidade da superfície usinada é uma resposta à interação da matéria prima, dos parâmetros de corte e da habilidade do operador (Guedes, 2020). Nesse caso, a variação do parâmetro de corte e da velocidade de avanço não foram suficientes para refletir em uma baixa qualidade superficial, sendo essa variação explicada devido a experiência do operador.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância da rugosidade Ra.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio
Tratamento (2 espécies x 2 velocidades de avanço)	3	0.291150 <sup>ns</sup>
Repetição	9	0.450334
Resíduo	27	0.388580
Total	39	
CV (%)	52,45	

<sup>ns</sup> não significativo à 5% de significância.

O resumo da ANOVA para a área de defeito de todas as madeiras e velocidades de avanço encontra-se na Tabela 4. Observa-se que para essa análise houve diferença estatística ao nível de 5% de significância, e essa técnica de qualificação da superfície usinada se mostrou eficiente em categorizar diferentes grupos de qualidade, mesmo quando os demais métodos não foram eficazes.

Devido a significância dos dados foi aplicado o teste de médias de Scott-Knott à 5% de significância (Tabela 5) em que foi possível separar em dois grupos distintos de qualidade superficial quanto à área do defeito. Médias seguidas por letras iguais significam que não diferiram estatisticamente entre si, desse modo observa-se que para os processamentos realizados com as velocidades de avanço categorizadas como lenta e rápida para a madeira de Muiracatiara e lenta para a madeira de Pinus não apresentaram diferença significativa entre si, mas diferiram do processo rápido para a madeira de Pinus. Nesse sentido, pode-se afirmar que para a condição de aplainamento de tábuas de madeiras de Pinus em maiores velocidades de avanço a área do defeito decorrente do arrancamento dos elementos anatômicos será maior e consequentemente o tempo gasto em retrabalho

visando a uniformização da superfície será maior, tornando o processo de produção de móveis mais oneroso e demorado.

Ao utilizarem a técnica do *sunset laser* para avaliar a zona de fratura de um ensaio de flexão, Souza et al. (2014) observaram que as fraturas produzidas na amostra eram mais perceptíveis quando o laser era aplicado, apesar do experimento ser distinto do realizado neste trabalho, pode-se observar que a técnica não destrutiva se mostrou eficaz para diferentes áreas de estudo.

Observa-se que apenas o Pinus, quando aplainado com maiores velocidades de avanço, obteve baixa qualidade quanto à área do defeito obtido pelo método *sunset laser*. Isso se deve por se tratar de uma gimnosperma e seus elementos anatômicos serem facilmente arrancados ou arrepiados quando processados mecanicamente em condições não favoráveis ao corte, como acontece em velocidades de avanço maiores. Andrade et al. (2016) observaram uma menor resistência ao corte na madeira de *Cryptomeria japonica* (Cupressaceae), que é também uma gimnosperma, quando comparada com madeiras de angiospermas eudicotiledôneas.

Tabela 4 - Resumo da análise de variância da área do defeito.

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio
Tratamento (2 espécies x 2 velocidades de avanço)	3	3.818927*
Repetição	9	0.765938
Resíduo	27	0.921675
Total	39	
CV (%)	196.73	

\*Significativo à 5% de significância.

Tabela 5- Comparação das médias da área do defeito.

Tratamento	Área do defeito
Muiracatiara Lento	0,033 A
Muiracatiara Rápido	0,088 A
Pinus Lento	0,461 A
Pinus Rápido	1,370 B

Médias seguidas de, pelo menos uma mesma letra, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste de Scott-Knott

## Conclusões

- A análise visual mostrou que a maioria das amostras apresentava boa qualidade de superfície usinada;
- A análise visual não se mostrou eficiente em separar grupos de qualidade, pois a análise estatística não conseguiu distinguir diferenças significativas entre as superfícies das duas espécies;
- A ANOVA da rugosidade não demonstrou diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos, sugerindo que o parâmetro de rugosidade Ra não foi eficaz na classificação das amostras em grupos distintos
- A técnica *sunset laser* mostrou-se eficaz na qualificação da superfície usinada, sendo uma ferramenta importante na avaliação da qualidade da superfície usinada, oferecendo uma abordagem confiável e eficaz para a qualificação das amostras.

### Literatura Citada

- ANDRADE, A. C. de A. et al. 2016. Utilização da técnica *sunset laser* para distinguir superfícies usinadas de madeira com qualidades similares. *Cerne* 22(2):159-162.
- ANDRADE, A. C. A. 2015. *Sunset laser* na análise de defeitos em madeiras usinadas. Dissertação Mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI. ABIMCI lança Estudo Setorial 2022. Curitiba: Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. Disponível em: <https://abimci.com.br/abimci-lanca-estudo-setorial-2022/>.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. 2017. ASTM D1666-17: Standard method for conducting machining tests of wood and wood base materials (20 p.). Philadelphia, PA.
- COSTES, J. P.; LARRICQ, P. 2002. Towards high cutting speed in wood milling. *Annals of Forest science*, v. 59, n. 8, p. 857-865.
- CUNHA, S. C. A. et al. 2023. Qualidade superficial e custo-benefício de madeiras utilizadas na fabricação de móveis em Aracaju/SE. *Research Society and Development* 12:13. e147121344430-e147121344430.
- FERREIRA, D. F. 2019. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, [S.l.], 37 (4): 529-535. ISSN 1983-0823.
- FERNANDES, F. L. S. et al. 2023. Evaluation of the surface quality of reused woods from Maçaranduba (*Manilkara* sp.) and Sucupira (*Pterodon* sp.). *Research, Society and Development* 12(6), e27912642357. <https://doi.org/10.33448/rsd-v12i6.42357>.
- GUEDES, T. O. 2020. Análise da energia específica de corte e qualidade da superfície no aplainamento de madeiras. Dissertação Mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 65p.
- Indústria Brasileira de Árvores. 2024. Relatório anual 2024, 10ª ed. Brasília, DF. 120p.
- LOPES, C. S. D. et al. 2014. Avaliação da rugosidade superficial da madeira de *Eucalyptus* sp. submetida ao fresamento periférico. *Cerne* 20: 471-476.
- MACHADO, M. A.; GARRIDO, I. L. 2017. Exportar é o que importa! O caso de uma associação brasileira de fabricantes de móveis. *Revista de Administração Contemporânea* 21(4):585-604.
- MELO, J. D.; CORADIN, V. T. R.; MENDES, J. C. 1990. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: *Anais do Congresso Florestal Brasileiro* v. 6, pp. 695-699.
- REIS, K.de J. et al. 2025. Qualidade superficial da madeira de massaranduba após lixamento com diferentes granulometrias. *Research, Society and Development* 14(3), e6214348468-e6214348468.
- REIS, G. M. P. et al. 2019. Obtenção da densidade básica da madeira de *Pinus* sp. Seminário de Iniciação Científica-Planeta inovação.
- SANTOS, J. A. et al. 2023a. Evaluation of the effect of finishing on the surface roughness of Paricá wood (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). *Research, Society and Development*. 12(10), e95121043479. DOI: 10.33448/rsd-v12i10.43479.
- SANTOS, L. S. R. et al. 2023b. Determinação da sequência de lixamento ideal para a madeira do Freijó (*Cordia goeldiana* Huber) com finalidade de obter a melhor rugosidade superficial para fins de movelaria. *Research, Society and Development*, 13(2), e12313223561. <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i2.323561>.
- SILVA, C. J.; DO VALE, A. T.; MIGUEL, E. P. 2015. Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. *Pesquisa Florestal Brasileira* 35(82): 63-75.



- SORAGI, L. C. 2009. Qualidade de superfícies usinadas em madeira de *Toona ciliata* M. Roem. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras. Repositório Institucional da UFLA. Lavras, MG, UFLA. 61p.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. 1974. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics* 30(2): 507- 512.
-

## SCIENTIFIC NOTE

### NEW ANT RECORDS (HYMENOPTERA: FORMICIDAE) FOR THE SEMI-ARID REGION OF THE STATE OF ALAGOAS, NORTHEASTERN BRAZIL

*Joshua Pablo Cavalcanti*<sup>1,\*</sup>, *Ayane Suênia-Bastos*<sup>1,2</sup>, *Jefferson Duarte de Melo*<sup>1,3</sup>,  
*Suianne Cajé*<sup>1,4</sup>, *Daniela Cubillos*<sup>1,5</sup>, *Adalberto Dantas de Medeiros*<sup>1,6</sup>,  
*Emanoel Pereira Gualberto*<sup>1,7</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brazil. <sup>2</sup>ayanebastos8@gmail.com, <sup>3</sup>jeffersonduartedemelo@gmail.com, <sup>4</sup>suinnecaje@yahoo.com, <sup>5</sup>danielaccc.55@gmail.com, <sup>6</sup>adalberto.dantasufpr@gmail.com, <sup>7</sup>pgmanol.lep@gmail.com.

\*Corresponding author: joshuapablo2015@gmail.com

The Alagoas myrmecofauna is considered under-sampled, likely due to the limited number of collecting expeditions in the State. Thus, the present study contributes to the knowledge of ant fauna in the Caatinga biome of Alagoas by reporting the following species: *Cardiocondyla emeryi* Forel, 1881, *Cephalotes depressus* (Klug, 1824), *Cephalotes minutus* (Fabricius, 1804), *Dorymyrmex pyramicus* (Roger, 1863), *Ectatomma tuberculatum* (Olivier, 1792), *Monomorium floricola* (Jerdon, 1851), *Pseudomyrmex elongatus* (Mayr, 1870), and *Pseudomyrmex tenuissimus* (Emery, 1906). This research has doubled the number of known species in the Caatinga of Alagoas, bringing the total to sixteen species. Finally, the potential for new species records in future ant inventories in the region was highlighted.

**Key words:** Caatinga, first records, myrmecofauna.

**Novos registros de formigas (Hymenoptera: Formicidae) para a região do semiárido do estado de Alagoas, Nordeste do Brasil.** A mirmecofauna alagoana é considerada subamostrada, provavelmente, devido ao baixo número de expedições de coleta no Estado. Assim, o presente estudo contribui para o conhecimento da fauna de formigas na Caatinga alagoana, reportando as seguintes espécies: *Cardiocondyla emeryi* Forel, 1881; *Cephalotes depressus* (Klug, 1824); *Cephalotes minutus* (Fabricius, 1804); *Dorymyrmex pyramicus* (Roger, 1863); *Ectatomma tuberculatum* (Olivier, 1792); *Monomorium floricola* (Jerdon, 1851); *Pseudomyrmex elongatus* (Mayr, 1870); e *Pseudomyrmex tenuissimus* (Emery, 1906). Com este estudo, o número de espécies conhecido para a Caatinga de Alagoas duplicou, aumentando para dezesseis. Por fim, destaca-se o potencial para novos registros em futuros inventários de formigas na região.

**Palavras-chave:** Caatinga, primeiros registros, mirmecofauna.

Caatinga dominates the semi-arid region of Northeastern Brazil. This biome exhibits 13 distinct phytophysognomies, ranging from a mosaic of areas with sparse, low-growing shrubs, xerophytic traits, and prolonged dry seasons, to regions dominated by tall trees with deep root systems that shed their leaves during drought periods (Andrade-Lima, 1981; Prado, 2003). Few studies have been conducted on faunal biodiversity in the state of Alagoas, and even fewer have focused on its semi-arid region, which covers approximately 44% of the state's territory (IMA-AL, 2024). Consequently, knowledge of Alagoas' fauna remains superficial for many invertebrate groups, including one of the most abundant, diverse, and widely distributed taxa across multiple biomes, the ants, with current understanding largely derived from sporadic sampling efforts.

Currently, there are over 14,200 described species of ants (Hymenoptera: Formicidae) in the world (Bolton, 2025). Their ecological significance stems from numerical dominance and key functional roles in nutrient cycling, seed dispersal, plant defense against herbivores, and predation, solidifying their recognition as both ecosystem engineers and bioindicators (Del Toro et al., 2012). In the Caatinga biome, current records document 276 ant species; however, estimates indicate the actual diversity may exceed 400 species, underscoring substantial gaps in sampling and taxonomic knowledge (Silva et al., 2017).

Systematic efforts to document ant diversity in the Caatinga have intensified in the past decade, though most studies remain limited to a handful of specific localities (Silva et al., 2017). In the state of Alagoas, ant inventories have been conducted in four Caatinga municipalities: Arapiraca (Santos et al., 2021), Olho d'Água do Casado, Piranhas, and

Delmiro Gouveia (Ulysséa & Brandão, 2013). Thus, the present study expands the number of sampled municipalities and provides the first record of eight ant species in the semi-arid region of Alagoas, Northeastern Brazil.

The specimens were collected manually during three field expeditions. The first two sampling efforts were conducted in June 2024: **1-** by ASB in a rural area of the Coité do Nóia municipality (-9.651389, -36.579722, 229 m a.s.l.); and **2-** by JDM and SC in an urban area of the Jacaré dos Homens municipality (-9.636411, -37.206625, 130 m a.s.l.). A subsequent collection was performed by JPC in January 2025 within the urban area of Arapiraca municipality (-9.752901, -36.673547, 240 m a.s.l.). All municipalities are located in the mid-western region of Alagoas, Northeastern Brazil (Figure 1), characterized by a hot semi-arid climate (BSH) according to the Köppen-Geiger climate classification (Kottek et al., 2006). Although Arapiraca and Coité do Nóia lie within an ecotonal zone between the Atlantic Forest and Caatinga biomes, their prevailing climate and vegetation patterns show stronger Caatinga influences (Barros et al., 2012).

The specimens were identified using the following keys: Feitosa & Dias (2024) for subfamily and genera; Fernández & Serna (2019) for *Cardiocondyla* Emery, 1869; Oliveira et al. (2021) for *Cephalotes* Latreille, 1802; Guerrero (2019) for *Dorymyrmex* Mayr, 1866;

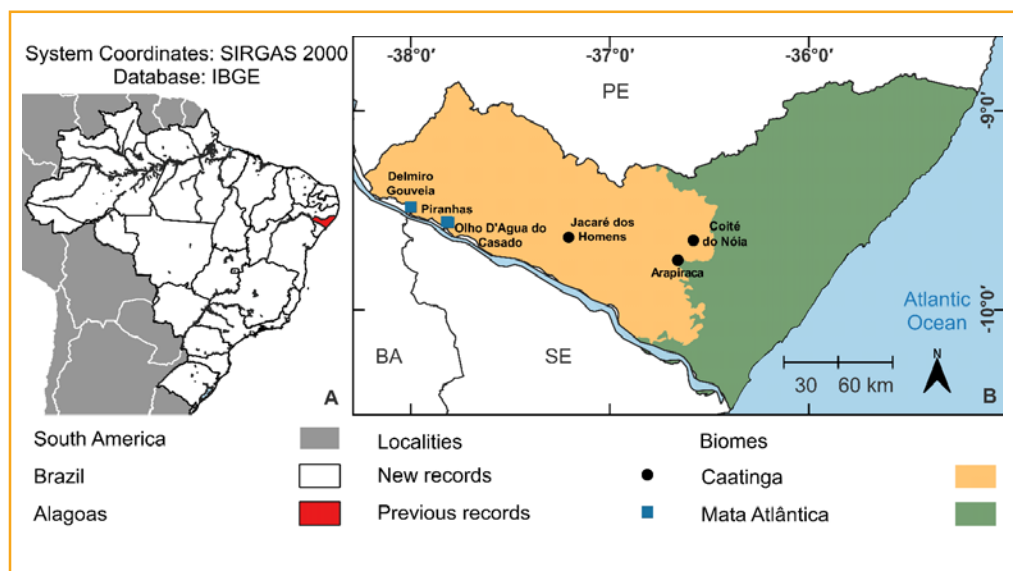


Figure 1. Sites sampled for ants in the Caatinga of Alagoas State. State abbreviations: PE - Pernambuco, BA - Bahia, and SE - Sergipe. Previous records were based on Ulysséa & Brandão (2013).

Arias-Penna (2008) for *Ectatomma* Smith, 1858; Fernández & Serna (2019) for *Monomorium* Mayr, 1855; and Ward (1989, 2017) for *Pseudomyrmex* Lund, 1831. The material was point-mounted and deposited in the Coleção Entomológica Padre Jesus Santiago Moure (DZUP), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brazil. Data from Ulysséa & Brandão (2013) and Santos et al. (2021) were consulted to complete the summary of ant occurrence in the Caatinga region of Alagoas.

This study compiles the currently known ant fauna of the Caatinga region of Alagoas (Table 1). For the first time, *Cardiocondyla emeryi* Forel, 1881 (DZUP518686) (Figure 2A, B) and *Monomorium floricola* (Jerdon, 1851) (DZUP519155) (Figure 2C, D) are reported in the semi-arid region of Alagoas. Both species are considered exotic to the American continent (Fernández & Serna, 2019) and have become widely distributed throughout the Neotropics, including Brazil (Feitosa & Dias, 2024). Notably, despite their

Table 1. Ant species of the Caatinga biome in Alagoas State.

Subfamily	Species	Municipality	Origin	Data Source
Dolichoderinae	<i>Dorymyrmex pyramicus</i> (Roger, 1863)	CN, JH	Native	<b>Present work</b>
	<i>Tapinoma melanocephalum</i> (Fabricius, 1793)	DG, OC, PI	Introduced	Ulysséa & Brandão (2013)
Ectatomminae	<i>Ectatomma muticum</i> Mayr, 1870	DG, OC, PI	Native	Ulysséa & Brandão (2013)
	<i>Ectatomma tuberculatum</i> (Olivier, 1792)	CN	Native	<b>Present work</b>
Formicinae	<i>Camponotus pallescens</i> (Mayr, 1887)	DG, OC, PI	Native	Ulysséa & Brandão (2013)
	<i>Paratrechina longicornis</i> (Latreille, 1802)	AR	Introduced	Santos et al. (2021)
Myrmicinae	<i>Atta cephalotes</i> (Linnaeus, 1758)	AR	Native	Santos et al. (2021)
	<i>Atta laevigata</i> (F. Smith, 1858)	DG, OC, PI	Native	Ulysséa & Brandão (2013)
	<i>Cardiocondyla emeryi</i> (Forel, 1881)	AR	Introduced	<b>Present work</b>
	<i>Cephalotes depressus</i> (Klug, 1824)	JH	Native	<b>Present work</b>
	<i>Cephalotes minutus</i> (Fabricius, 1804)	AR	Native	<b>Present work</b>
	<i>Monomorium floricola</i> (Jerdon, 1851)	CN	Introduced	<b>Present work</b>
	<i>Solenopsis invicta</i> (Buren, 1972)	AR	Native	Santos et al. (2021)
Pseudomyrmecinae	<i>Pseudomyrmex elongatus</i> (Mayr, 1870)	AR	Native	<b>Present work</b>
	<i>Pseudomyrmex termitarius</i> (F. Smith, 1855)	CN, DG, OC, PI	Native	Ulysséa & Brandão (2013)
	<i>Pseudomyrmex tenuissimus</i> (Emery, 1906)	AR	Native	<b>Present work</b>

List based on Ulysséa & Brandão (2013), Santos et al. (2021), and present work records, totaling six sampled areas in the Alagoas State (Fig. 1). Legend for sampling municipality code: AR – Arapiraca; CN – Coité do Nória; DG – Delmiro Gouveia; JH – Jacaré dos Homens; OC – Olho d'Água do Casado; PI – Piranhas.



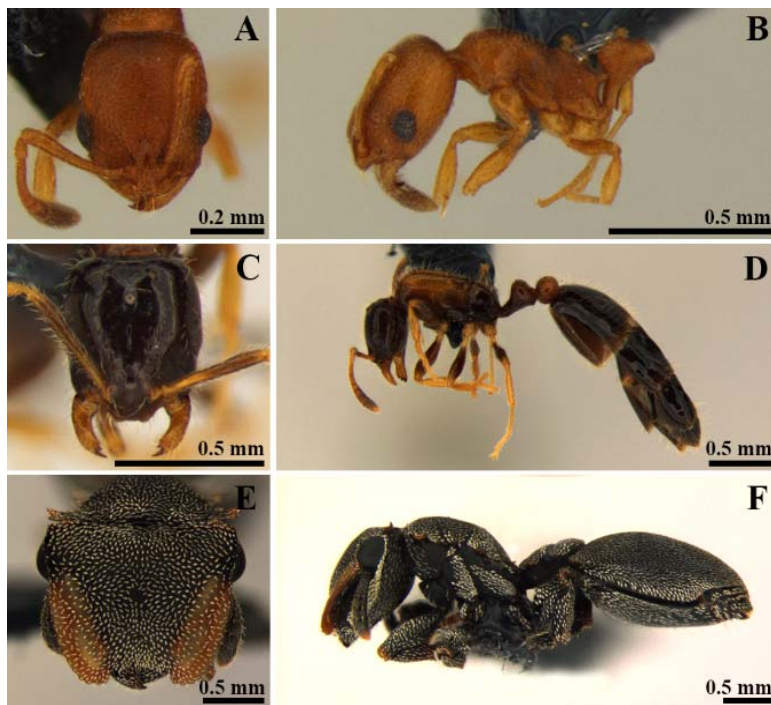


Figure 2. The species first recorded for the Alagoas State are illustrated. **A, B:** *Cadiocondyla emeryi* worker (DZUP518686); **C, D:** *Monomorium floricola* queen (DZUP519155); **E, F:** *Cephalotes depressus* worker (DZUP519106).

broad distribution in the country, these represent the first records of both species in Alagoas, where they currently constitute the sole representatives of their respective genera in the state.

Four arboreal ant species from the commonly collected genera *Cephalotes* and *Pseudomyrmex* are recorded in the Caatinga biome: *Ce. depressus* (Klug, 1824) (DZUP519106) (Figure 2E, F), *Ce. minutus* (Fabricius, 1804) (DZUP518434, DZUP518896), *P. elongatus* (Mayr, 1870) (DZUP519127) (Figure 3A, B), and *P. tenuissimus* (Emery, 1906) (DZUP518959) (Figure 3C, D). Of these, only *Ce. minutus* had been previously recorded in Alagoas, specifically in Atlantic Forest habitats (Oliveira et al., 2021).

Additionally, two generalist species with opportunistic foraging behaviors are documented: *Dorymyrmex pyramicus* (Roger, 1863) (DZUP518436) (Figure 3E, F) and *Ectatomma tuberculatum* (Olivier, 1792) (DZUP518457). While both species

are widely distributed across Brazil (Feitosa & Prada-Achiardi, 2019; Guerrero, 2019), neither had been previously recorded in Alagoas' Caatinga biome. Notably, the latter has only been reported from coastal areas of the State (Araújo et al., 2009).

The literature includes records of *Crematogaster peringueyi* Emery, 1895 and *Lasius niger* (Linnaeus, 1758) (Table 1) from the municipality of Arapiraca, as reported by Santos et al. (2021). However, these identifications likely represent errors and require verification, given the absence of supporting images for species recognition and the lack of corroborating records of these species existing elsewhere in South America. While *L. niger* is a well-documented invasive species in the Northern Hemisphere (Schär et al., 2022), its occurrence in tropical regions, particularly in arid ecosystems like the Caatinga, remains poorly documented.



Figure 3. The species first recorded for the Alagoas State are illustrated. **A, B:** *Pseudomyrmex elongatus* worker (DZUP519127); **C, D:** *Pseudomyrmex tenuissimus* worker (DZUP518959); **E, F:** *Dorymyrmex pyramicus* worker (DZUP518436).

Finally, adding the new records to those of previous works, the number of species increased from eight to sixteen. While this represents progress, the actual diversity remains undoubtedly underestimated. This study not only expands knowledge of Alagoas' ant fauna but also underscores the critical need for additional surveys in the region. Such efforts are crucial for advancing the knowledge of both local ant biodiversity and the broader entomofauna of the Caatinga biome.

### Acknowledgments

The authors are grateful to Dr. Mirna Martins Casagrande for allowing the use of the Laboratório de Estudos de Lepidoptera Neotropical, Universidade Federal do Paraná (UFPR), to take the high-resolution photographs. The first author would like to thank Dr. John E. Lattke for his suggestions, and Vitória Brunetta for confirming the *Cardiocondyla* species. Also, the authors are grateful to the Editor and the anonymous reviewers for their valuable suggestions, which greatly enhanced the work. We thank the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) for the research fellowships to JPC (88887.132404/2025-00), ASB (88887.949958/2024-00), JDM (88887.931875/2024-00), SC (88887.931876/2024-00), ADM (88887.941144/2024-00), and DC (88887.910734/2023-00). We also thank the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) for the following research fellowship: EPG (132047/2024-1).

### Literature Cited

- ANDRADE-LIMA, D. D. 1981. The caatingas dominium. *Revista brasileira de Botânica*, 4(2): 149 - 153.
- ARAÚJO, A. M. N. et al. 2009. Mirmecofauna em Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth) (Fabaceae) em Rio Largo, Estado de Alagoas. *Revista Caatinga*, 22(3): 220 - 223.
- ARIAS-PENNA, T. M. 2008. Capítulo 3 - Subfamília Ectatomminae. In: Lozano-Zambrano, F.; Fernández, F.; Jiménez, E.; and Arias, T. Sistemática, biogeografía y conservación de las hormigas cazadoras de Colombia. Bogotá, Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. pp.53-108.
- BARROS, A. H. C. et al. 2012. Climatologia do estado de Alagoas. Embrapa Solos – Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 211: 1 - 33.
- BOLTON, B. 2025. An online catalog of the ants of the world. Available in: <<https://antcat.org>> Accessed in: March 20, 2025.
- DEL-TORO, I.; RIBBONS, R. R.; PELINI, S. L. 2012. The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News* 17(0): 133-146.
- DRUMMOND, J. A.; FRANCO, J. L. A.; OLIVEIRA, D. 2010. Uma análise sobre a história e a situação das unidades de conservação no Brasil. In: Ganem, R. S. Conservação da biodiversidade: legislação e políticas públicas. Câmara dos Deputados, Brasília, DF. pp.341-385.
- FEITOSA, R. M.; DIAS, A. M. 2024. An illustrated guide for the identification of ant subfamilies and genera in Brazil. *Insect Systematics & Evolution*, 55(5): 451 - 571.
- FERNÁNDEZ, F.; SERNA, F. J. 2019. Capítulo 27 - Subfamilia Myrmicinae. In: Fernández, F.; Guerrero, R. J.; Delsinne, T. Hormigas de Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. pp. 791-888.
- FEITOSA, R. M.; PRADA-ACHIARDI, F. C. 2019. Capítulo 22 - Subfamilia Ectatomminae. In: Fernández, F.; Guerrero, R. J.; Delsinne, T. Hormigas de Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. pp. 693-720.
- GUERRERO, R. J. 2019. Capítulo 24 - Subfamilia Dolichoderinae. In: Fernández, F.; Guerrero, R. J.; Delsinne, T. Hormigas de Colombia. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. pp. 693-720.
- INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE DE ALAGOAS - IMA-AL. 2024. No dia da Caatinga, IMA alerta para a importância da preservação do bioma. Available in: <<https://alagoas.al.gov.br/noticia/no-dia-da-caatinga-ima>>

- alerta-para-a-importancia-da-preservacao-do-bioma> Accessed in: March 17, 2025.
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. 2006. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15: 259 - 263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- OLIVEIRA, A. M.; POWELL, S.; FEITOSA, R. M. 2021. A taxonomic study of the Brazilian turtle ants (Formicidae: Myrmicinae: Cephalotes). *Revista Brasileira de Entomologia* 65, e20210028. <https://doi.org/10.1590/1806-9665-RBENT-2021-0028>
- PRADO, D. 2003. Capítulo 1 - As caatingas da América do Sul. In: Leal, I.R.; Tabarelli, M.; Silva, J.M.C. *Ecologia e Conservação da Caatinga*. Editora Universitária da UFPE, Recife, PE. pp3-3.
- SANTOS, T. C. et al. 2021. Diversidade biológica animal presente na serrapilheira da “Área Verde Dom Constantino Luers” localizada em Arapiraca-AL. *Revista Ambientale*, 13(2):86- 94. <https://doi.org/10.48180/ambientale.v13i2.298>
- SCHÄR, S. et al. 2022. Integrative taxonomy reveals cryptic diversity in North American *Lasius* ants, and an overlooked introduced species. *Scientific Reports* 12(1): 5970.
- SILVA, J. D.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. 2017. Caatinga: the Largest Tropical Dry Forest Region in South America. Springer, pp.1 - 475.
- ULYSSÉA, M. A.; BRANDÃO, C. R. 2013. Ant species (Hymenoptera, Formicidae) from the seasonally dry tropical forest of northeastern Brazil: a compilation from field surveys in Bahia and literature records. *Revista Brasileira de Entomologia*, 57: 217 - 224. <https://doi.org/10.1590/S0085-56262013005000002>
- WARD, P. S. 1989. Systematic studies on pseudomyrmecine ants: revision of the *Pseudomyrmex oculatus* and *P. subtilissimus* species groups, with taxonomic comments on other species. *Quaestiones Entomologicae* 25(4): 393 - 468.
- WARD, P. S. 2017. A review of the *Pseudomyrmex ferrugineus* and *Pseudomyrmex goeldii* species groups: acacia-ants and relatives (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa* 4227(4): 524 - 542. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4227.4.3>



## NOTA DO EDITOR

### **A Cacaucultura em Transição: Ciência, Estratégia e Conservação Produtiva**

A cacaucultura brasileira está passando por uma transição estrutural, marcada pela necessidade de superar um modelo produtivo esgotado e de desenvolver mecanismos que valorizem os serviços ambientais prestados pelos produtores. Atualmente, na Região Cacaueira da Bahia, por exemplo, o agricultor que preserva a cabruca ainda não recebe a recompensa adequada por essa contribuição, o que limita a sustentabilidade econômica e ecológica do setor.

Em consonância com a nova visão institucional da CEPLAC, a revista *Agrotrópica* reafirma seu papel como um instrumento de integração do conhecimento e de difusão de inovações voltadas para a conservação produtiva. Este princípio busca harmonizar o uso racional dos recursos naturais com a geração de renda e inclusão social.

Nesse contexto, conceitos como o **Sistema Agroflorestal Hídrico (SAAF)** e a **Cadeia Produtiva de Cacau Sustentável (CPCS)** apontam caminhos para uma sustentabilidade operacional e mensurável, onde ciência e políticas públicas convergem para regenerar o bioma e fortalecer as bases produtivas. Por meio da revista *Agrotrópica*, a CEPLAC renova seu compromisso com o desenvolvimento regional e com a construção de um futuro sustentável para a cacaucultura brasileira.

**Jacques Hubert Charles Delabie**

Editor-en-chefe de *Agrotrópica*



## POLÍTICA EDITORIAL

A Revista Agrotrópica foi criada em 1971, sendo originalmente conhecida como Revista Theobroma. Por ter um caráter interdisciplinar, constitui-se em um veículo de comunicação científica em várias áreas, como: Biodiversidade, Ciências Agrárias, Ciências Ambientais, Veterinária, Zootecnia, Tecnologia de Alimentos, Geografia, Geociências, Socioeconomia, entre outras. A revista é publicada quadrimestralmente e destina-se à divulgação de trabalhos originais que contribuem de forma significativa para o desenvolvimento agroecológico, ambiental e socioeconômico das Regiões Tropicais Úmidas.

A Revista Agrotrópica publica não apenas artigos científicos, mas também notas científicas ou técnicas, revisões bibliográficas relevantes e de natureza crítica, nos seguintes idiomas: Português, Inglês e Espanhol. Além disso, aceita cartas endereçadas ao editor sobre trabalhos publicados.

Os autores são os responsáveis exclusivos pelo conteúdo dos trabalhos; todavia, o editor, com a assessoria científica do Conselho Editorial, reserva-se o direito de sugerir ou solicitar modificações que considerar necessárias.

Editor Chefe

## EDITORIAL POLICY

The Agrotrópica Journal was established in 1971 and was formerly known as Theobroma Journal. With its interdisciplinary focus, it serves as a platform for scientific communication across various fields, including Biodiversity, Agricultural Sciences, Environmental Science, Veterinary Medicine, Animal Science, Food Technology, Geography, Geosciences, and Socioeconomics. The journal is published quarterly and aims to disseminate original scientific research that contributes to the agroecological, environmental, and socioeconomic development of tropical rainforest regions.

Agrotrópica publishes not only scientific articles but also technical notes, relevant bibliographical reviews, and critical analyses in Portuguese, English, and Spanish.

Additionally, it welcomes letters to the editor regarding published works. While authors are solely responsible for the content of their submissions, the editor, with input from the Editorial Board, reserves the right to suggest or request necessary changes.

Editor in Chief



MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA  
E PECUÁRIA

