

FLORESTA AMAZÔNICA

BIODIVERSIDADE E RESTAURAÇÃO
FLORESTAL EM PARAGOMINAS

ORGANIZAÇÃO

RAFAEL LEANDRO DE ASSIS
EMÍLIA ZOPPAS DE ALBUQUERQUE



FLORESTA AMAZÔNICA

BIODIVERSIDADE E RESTAURAÇÃO
FLORESTAL EM PARAGOMINAS

ORGANIZAÇÃO

RAFAEL LEANDRO DE ASSIS
EMÍLIA ZOPPAS DE ALBUQUERQUE

FLORESTA AMAZÔNICA

BIODIVERSIDADE E RESTAURAÇÃO
FLORESTAL EM PARAGOMINAS

ORGANIZAÇÃO

RAFAEL LEANDRO DE ASSIS
EMÍLIA ZOPPAS DE ALBUQUERQUE



Instituições Parceiras



Secretaria Executiva



Apoio Financeiro



FLORESTA AMAZÔNICA

BIODIVERSIDADE E RESTAURAÇÃO
FLORESTAL EM PARAGOMINAS

Organização

Rafael Leandro de Assis
Emília Zoppas de Albuquerque

Colaboração

Fridtjof Mehlum
Flora Bittencourt

Direção e Revisão Adriana Modesto Costa
Tradução Rafael Varjão

Edição e Design Mauro de Lima
Wellington Andrigues

Imagem da Capa João Ramid
Automação Mauro de Lima
Impressão Gráfica GCOM Ltda.

Realização

Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade
Brasil-Noruega (BRC)

Financiadora

Hydro

Contato adm@brcbn.org

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F634f
Floresta amazônica: biodiversidade e restauração florestal em Paragominas. Organização: Rafael Leandro de Assis e Emília Zoppas de Albuquerque. — Belém: Líquida: BRC, 2025. 201 p.

ISBN 978-65-01-70775-4

1. Florestas – Amazônia. 2. Biodiversidade – Amazônia. 3. Amazônia – Conservação da natureza. I. Assis, Rafael Leandro de, org. II. Albuquerque, Emília Zoppas de, org. III. Título.

CDD 23. ed. – 333.751609811

Elaborado por Rosemarie de Almeida Costa – CRB-2/726

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS.
Proibida a reprodução total ou parcial desta obra, por qualquer meio ou processo, sem a permissão expressa da editora.
© Copyright Editora Líquida, 2025.



Autores

Abel Bustamante Ferrada • Museu Paraense Emílio Goeldiz
Alberto Akama • Museu Paraense Emílio Goeldi
Alberto Bentes Brasil Neto • Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Alexandra Maria Ramos Bezerra • Museu Paraense Emílio Goeldi & Fundação Oswaldo Cruz/IOC
Amanda Matos Quadros • Universidade Federal do Pará
Ana Cristina Mendes-Oliveira • Universidade Federal do Pará
Ana Luísa Biondi Fares • Universidade Federal do Pará
Ana Luíza-Andrade • Universidade Federal de Rondônia
Angélico Fortunato Asenjo Flores • Universidade Nacional Maior de São Marcos
Beatriz Tavares Pinheiro • Universidade Federal do Pará
Beatriz Woiski Teixeira Coelho • Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo
Bruno Gouvea • Universidade Federal do Pará
Cláudia Inês da Silva • Universidade Federal da Bahia
Daniel Pereira da Silva Filho • Universidade do Estado de Santa Catarina
Denis Conrado da Cruz • Universidade Federal do Pará
Dimas Molina • Universidade Federal do Pará
Emília Zoppas de Albuquerque • Universidade Federal da Grande Dourados
Eric Barbosa • Universidade Federal do Pará
Erikson Bruno Loseiro Ferreira • Universidade Federal do Pará
Erlane José Rodrigues da Cunha • Instituto Tecnológico Vale
Fernanda Vieira • Universidade de Brasília
Fernando da Silva Carvalho-Filho • Museu Paraense Emílio Goeldi
Fernando Geraldo de Carvalho • Instituto Tecnológico Vale
Flávio Roberto de Albuquerque Almeida • Universidade Federal do Pará
Fridtjof Mehlum • Museu de História Natural, Universidade de Oslo
Gabriela Silva Ribeiro Gonçalves • Universidade Federal do Pará
Gilberto Nepomuceno Salvador • Universidade Federal de Minas Gerais
Gleomar Fabiano Maschio • Universidade Federal do Pará
Gracialda Costa Ferreira • Universidade Federal Rural da Amazônia
Grasiela Casas • Universidade Federal do Pará
Gustavo Costa Tavares • Universidade Federal do Pará
Gustavo Rodrigo Sanches Ruiz • Universidade Federal do Pará
Issac Leite de Araújo • Universidade Federal do Pará
João Batista Sena Costa • Universidade Federal do Pará
Joicilene da Silva Palheta • Universidade Federal do Pará
José Antônio Marin Fernandes • Universidade Federal do Pará
Kauê Felipe de Moraes • Universidade Federal do Pará
Laura Katherin Santacruz Reyes • Universidade Federal do Pará
Leandra de Paula Cardoso Pinheiro • Universidade Federal do Pará
Leandro Brasil • Universidade Federal de Mato Grosso
Leandro Juen • Universidade Federal do Pará
Lenize Batista Calvão • Universidade Federal do Pará
Leonardo Sena • Universidade Federal do Pará
Lilian Lund Amado • Universidade Federal do Pará
Luciano Fogaça de Assis Montag • Universidade Federal do Pará
Luiz Saturnino de Andrade • Universidade de Brasília
Marcos André Piedade Gama • Universidade Federal Rural da Amazônia
Marcos Pêrsio Dantas Santos • Universidade Federal do Pará
Maria Cristina dos Santos-Costa • Universidade Federal do Pará
Mariana Tolentino • Universidade Federal do Pará
Marina Barreira Mendonça • Universidade Federal do Pará
Marivana Borges Silva • Universidade Federal do Pará & Museu Paraense Emílio Goeldi
Marlúcia Bonifácio Martins • Museu Paraense Emílio Goeldi
Nayara Louback-Franco • Universidade Federal do Pará
Norberto Cornejo Noronha • Universidade Federal Rural da Amazônia
Orlando Tobias Silveira • Museu Paraense Emílio Goeldi
Øystein Wiig • Universidade de Oslo
Pablo Vieira Cerqueira • Instituto Tecnológico Vale
Patrick Brading • Norsk Hydro
Rafael Ferraz da Silva • Universidade Federal do Pará
Rafael Leandro de Assis • Instituto Tecnológico Vale
Raphael Ligeiro Barroso Santos • Universidade Federal do Pará
Rita de Cassia Oliveira dos Santos • Universidade Federal do Pará
Roberta de Melo Valente • Universidade Federal do Pará
Roberta Macedo Cerqueira • Universidade Federal do Pará
Rodrigo de Oliveira Brito • Museu Paraense Emílio Goeldi
Rodrigo de Souza Barbosa • Universidade Federal Rural da Amazônia
Rogerio Rosa da Silva • Museu Paraense Emílio Goeldi
Rony Peterson Santos Almeida • Museu Paraense Emílio Goeldi
Rosângela Santa-Brigida • Museu Paraense Emílio Goeldi
Sabrina Santos Ribeiro • Universidade Federal Rural da Amazônia
Sara Miranda Almeida • Universidade Federal do Pará
Thaísa Sala Michelin • Universidade Federal do Pará
Thiago Pereira Mendes • Universidade Federal do Pará
Tiago Begot • Universidade Federal do Pará
Valéria Juliete da Silva • Universidade do Estado do Pará
Walmer Bruno Rocha Martins • Universidade Federal Rural da Amazônia
Youszef Oliveira da Cunha Bitar • Universidade Federal do Pará

Apresentação

Estou feliz por apresentar este esplêndido livro, que é um produto do Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade Brasil-Noruega (BRC), uma cooperação de pesquisa entre quatro instituições acadêmicas no Brasil e na Noruega e a empresa de alumínio Hydro, que foi iniciada em 2013.

A ênfase principal do livro é nas florestas tropicais sujeitas a impactos por mineração de bauxita no município de Paragominas, nordeste do Pará. Ele representa o primeiro livro que descreve em detalhes a paisagem e a biodiversidade desta região, com foco em questões de conservação da biodiversidade relacionadas à supressão de áreas florestais por atividades de mineração de bauxita e restauração dessas florestas.

A restauração de grandes áreas de florestas suprimidas pela mineração a céu aberto é para todos um grande desafio. Um conhecimento detalhado sobre a biodiversidade e o funcionamento do ecossistema da floresta tropical é fundamental para uma restauração bem-sucedida do meio-ambiente. Exemplos são o conhecimento da estrutura e composição do solo ideais para a recuperação do substrato, bem como a tolerância e vulnerabilidade a mudanças de habitat por espécies-chave de plantas e animais da floresta tropical. Redes de interação saudáveis entre os diferentes tipos de organismos no ecossistema da floresta tropical são essenciais para manter a estrutura ecológica do sistema. Assim, o conhecimento das interações planta-herbívoro, interações planta-polinizador e dispersão de sementes por animais é essencial para projetar e aplicar programas de restauração eficientes.

A produção deste livro foi iniciada pelo Comitê Científico do Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade Brasil-Noruega. A comunidade científica associada ao BRC representa conhecimento vital sobre a floresta amazônica, que é relevante para a compreensão dos efeitos antropogênicos na integridade do ecossistema da floresta tropical e para a conservação da biodiversidade. Muito conhecimento novo foi adquirido pelos projetos de pesquisa do BRC durante os 10 anos de sua existência. O Comitê Científico pensou que produzir um livro seria um excelente veículo para disseminar o novo conhecimento adquirido pelos pesquisadores participantes da parceria entre a Hydro e as instituições acadêmicas parceiras nos últimos anos. O livro será uma parte importante para mostrar o sucesso da parceria entre a indústria e as instituições acadêmicas.

Recomendo este livro para estudantes e público em geral como fonte de informação sobre a biodiversidade e conservação da floresta amazônica. O livro também pode ser uma importante fonte de referência para pesquisadores, professores, gestores e outros interessados não apenas em aspectos biológicos locais, mas também em técnicas de recuperação florestal, monitoramento da fauna e métodos de mitigação de impactos florestais resultantes da atividade de mineração.

Fridtjof Mehlum, Membro do Comitê Científico
Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade Brasil-Noruega (BRC)

Prefácio

Este livro é um produto construído a muitas mãos, e visa apresentar quem são os elementos que compõem a biodiversidade em uma região bastante impactada da Amazônia, bioma mais rico do nosso planeta. Interessantemente, este livro aborda muitos aspectos dicotômicos da natureza desta região. Por exemplo, como o avanço das atividades econômicas transformou a região ao longo do tempo, mas ainda é capaz de manter muitos dos habitantes originais da região, aqui me referindo aos representantes da fauna e flora. Ao longo deste livro, tentamos dar o máximo destaque aos organismos que compõem a biodiversidade na região de Paragominas, que coexistem com atividades humanas bastante impactantes, em principal o agronegócio, a mineração e a expansão urbana. É de grande relevância conhecermos e preservarmos a Amazônia pristina, remota e quase intocada, mas também é muito importante dar visão à floresta amazônica que resiste bravamente às ameaças antrópicas. Essas florestas maduras alteradas, como é chamada boa parte da vegetação ao redor de Paragominas, representam hoje grande fração do bioma amazônico, e são cada vez mais símbolos desta Amazônia em constante transformação.

Além disso, este livro traz à tona como podemos fazer, coletivamente, para melhor entender estes impactos antrópicos ao meio ambiente, em especial relacionados à mineração, e colocar em prática o conhecimento científico para reduzir ou reparar os impactos da atividade mineradora na fauna e na flora da região de Paragominas.

Para isso, este livro conta com a ajuda de muitas pessoas apaixonadas pela natureza, que eventualmente trocam o conforto de seus lares para se embrenharem na floresta e desvendar os segredos de um meio ambiente em constante transformação, que resiste e regenera a todo tempo. Aqui me refiro aos cientistas, estudantes, acadêmicos e voluntários que conduzem experimentos e colocam em prática seus conhecimentos para melhor entender esse bioma único e tão belo que é a Amazônia.

Este livro é feito para aqueles que querem aprofundar seus conhecimentos sobre a fauna e a flora amazônicas, especialmente da região de Paragominas, no Nordeste do Estado do Pará. Sejam eles acadêmicos, trabalhadores rurais, operários, estudantes e professores, graduados ou leigos, amantes da vida selvagem ou simplesmente interessados na biodiversidade. Pesquisas, teses, dissertações e estudos em geral foram aqui reunidos para que o leitor possa viajar para a natureza da região, conhecer essa rica diversidade, e entender os esforços feitos para permitir melhor coexistência entre homem e o meio ambiente na Amazônia.

Iniciado em 2020, este livro teve o grande desafio de ser escrito durante tempos de pandemia, exigindo muita inspiração e lucidez quando estávamos em casa, esperando por dias melhores, preocupados conosco e com nossos entes queridos. Concluído em 2025, exatamente quando esse grande Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade Brasil Noruega (BRC) completa 11 anos, este livro é um grande marco para todos os envolvidos, e especialmente para esta parceria entre o Brasil e a Noruega. Parceria que tem sido fundamental para subsidiar a pesquisa na região e, acima de tudo, fomentar a amizade entre pessoas tão diferentes culturalmente, mas com tantos interesses em comum.

O Comitê Científico do BRC estabeleceu um comitê editorial para o livro. Os membros do comitê do livro foram Ana Cristina Mendes de Oliveira, Gracialda Costa Ferreira, Emília Zoppas de Albuquerque, Leonardo Sena, Norberto Cornejo e Rafael Leandro de Assis. O comitê interagiu com os autores dos capítulos e auxiliou a editora técnica, Adriana Costa, na revisão dos capítulos. Os secretários do BRC Rafael Assis e Emília Zoppas coordenaram o trabalho editorial. A Hydro financiou a editoração e a impressão deste livro. Agradecimentos especiais a Fridtjof Mehlum por ajudar com a proposta do livro e ao grande suporte ao longo de todo o processo.

Rafael Leandro de Assis e Emília Zoppas de Albuquerque

Índice

SEÇÃO I - A AMAZÔNIA E O HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO HUMANA

Capítulo 1: Florestas Tropicais e Amazônia	16
O que é uma floresta tropical?	16
A floresta amazônica	22
Breve histórico do homem na Amazônia	24
Principais ameaças atuais à floresta amazônica brasileira	28
Distúrbios, sucessão ecológica e regeneração florestal	30
Florestas secundárias e fragmentadas na Amazônia	32

SEÇÃO II - ALAVANCANDO A PESQUISA EM BIODIVERSIDADE: UMA INICIATIVA COPARTICIPATIVA

Capítulo 2: Uma Breve História de Paragominas e do Consórcio BRC	38
O município de Paragominas no Pará	38
História das paisagens em Paragominas	43
Mineração em Paragominas	45
A empresa Hydro e as iniciativas para minimizar a pegada ambiental	48
Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade Brasil-Noruega (BRC)	52
Capítulo 3: O Solo e a Vegetação no Contexto da Mineração	56
A evolução, constituição e a importância do solo	56
Sistemas de classificação do solo e os principais solos de Paragominas	60
O solo e a floresta	60
Uso, vulnerabilidade e degradação do solo	62
Alterações e recuperação do solo no contexto da mineração de bauxita	64
A vegetação e flora em Paragominas	66
A vegetação em áreas de mineração em Paragominas	68
Considerações finais	74

SEÇÃO III - BIODIVERSIDADE E SUAS CONEXÕES

Capítulo 4: O Componente Aquático	76
Aspectos gerais	76
Qualidade da água	79
Habitat físico dos igarapés	79
Macrófitas aquáticas	82
Macroinvertebrados aquáticos	86
Peixes	91
Avanços e desafios futuros	95



Capítulo 5: Artrópodes Terrestres	100
Aspectos gerais dos artrópodes na Amazônia	100
Diversidade de artrópodes em Paragominas	102
Aranhas (Ordem Araneae)	103
Ortópteros (Ordem Orthoptera)	105
Cigarrinhas, perceijos, pulgões e cochonilhas (Ordem Hemiptera)	106
Besouros (Ordem Coleoptera)	110
Vespas, formigas e abelhas (Ordem Hymenoptera)	114
Moscas (Ordem Diptera)	119
Capítulo 6: Vertebrados Terrestres	126
Anfíbios e Répteis	126
Aves	144
Mamíferos	154
Capítulo 7: Um Mundo de Conexões	182
Interações biológicas	182
O papel das interações nos serviços ambientais	182
Conservar as interações biológicas para manter os serviços ambientais	184
Algumas das interações mais interessantes da Amazônia	184

SEÇÃO IV - LIÇÕES APRENDIDAS E PRÓXIMOS PASSOS

Capítulo 8: Legado do BRC e Lições Aprendidas	196
O legado do Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade Brasil-Noruega (BRC)	196
Capítulo 9: Próximos Passos	200
Olhando para o futuro - Uma perspectiva da indústria	200



Capítulo 1: Florestas Tropicais e Amazônia

Rafael Leandro de Assis

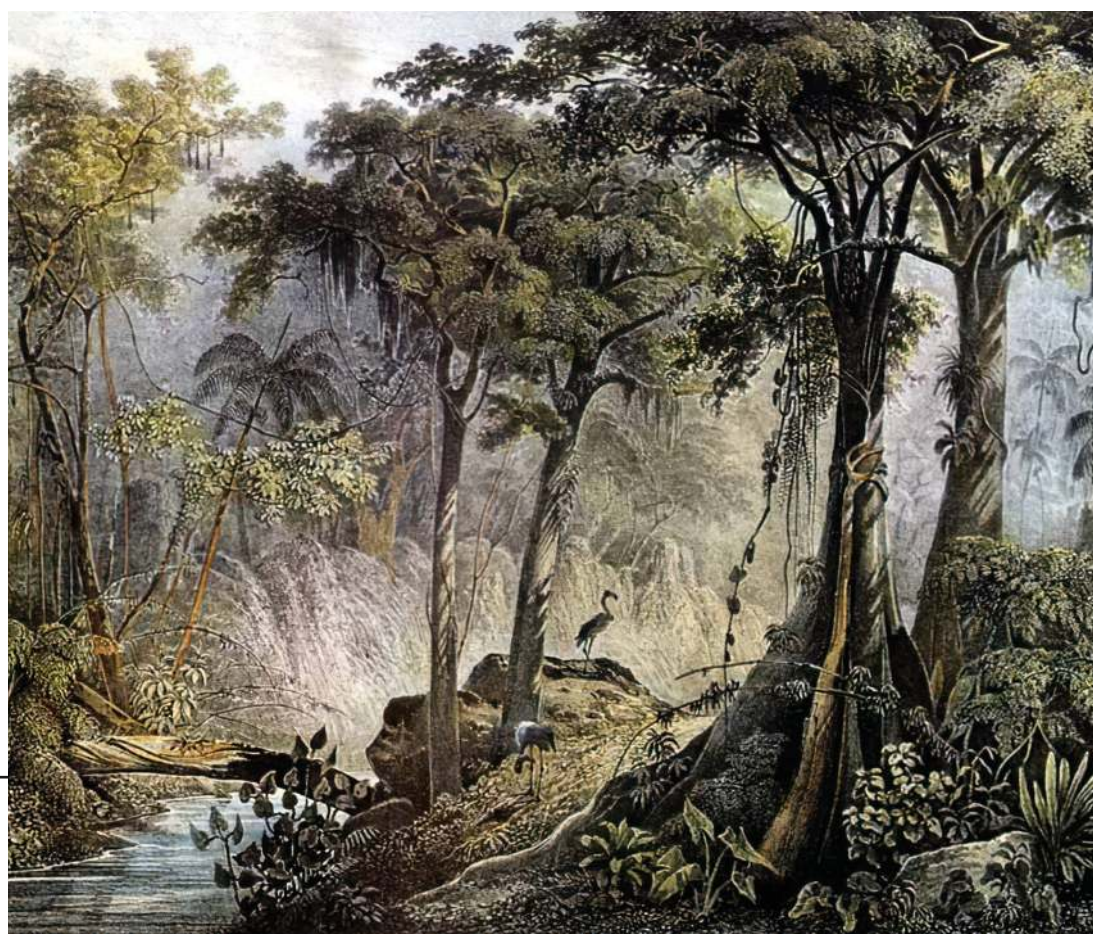
O que é uma floresta tropical?

"The luxuriance and beauty of Tropical Nature is a well-worn theme, and there is little new to say about it. The traveler and the naturalist have combined to praise, and not unfrequently to exaggerate the charms of tropical life – its heat and light, its superb vegetable forms, its brilliant tints of flower and bird and insect. Each strange and beautiful object has been described in detail; and both the scenery and the natural phenomena of the tropics have been depicted by master hands and with glowing colours."

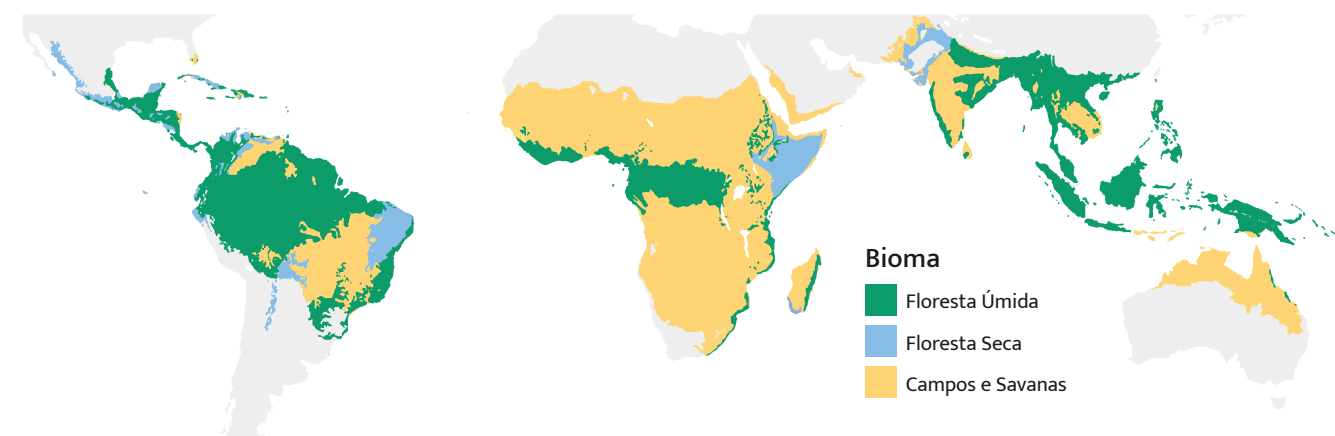
Este trecho do livro *"Tropical Nature and Other Essays"* foi escrito em abril de 1878 por Alfred Russel Wallace após sua longa viagem pelas florestas tropicais da Amazônia brasileira. Suas palavras transmitem grande admiração pela beleza e diversidade das florestas tropicais e pelo esplendor das cores e diversidade de suas formas de vida. Wallace também se mostra fascinado com a complexidade destes ecossistemas, confessando que os "fenômenos" envolvidos na configuração de tal "beleza" ainda estavam muito além de sua compreensão (Figura 1).

Até o século 19, a maioria da população humana ainda habitava áreas distantes dos trópicos, e

suas visões dessas paisagens eram baseadas nas escassas pinturas e desenhos de livros da época. Termos como "ecologia" ainda não eram comuns, e aqueles que tinham sua vida dedicada à botânica ou zoologia não eram cientistas, mas entusiastas da natureza. Hoje, a maioria de nós pode se deslumbrar com uma floresta tropical, seja visitando-a no conforto de barcos a motor, veículos traçados, hidroaviões, ou através das telas de TV ou *streaming*. Porém, ainda hoje essas paisagens maravilhosas continuam a influenciar as percepções de todos, e também os cientistas não estão imunes aos seus encantos. Principalmente por sua característica mais exuberante: a imensa diversidade de formas de vida.



► Figura 1 - Obra Mantiqueira de Johann Moritz Rugendas (1835). Bodleian Library, Universidade de Oxford, Inglaterra.



▲ Figura 2 - Mapa com distribuição das florestas tropicais do planeta, incluindo os diferentes biomas. Mapa baseado em Olson *et al.* 2001.

As regiões tropicais abrigam os biomas mais ricos da Terra, com mais de 50% das espécies em apenas 7% da superfície terrestre do planeta¹ (Figura 2). Para se ter uma ideia, 90% dos primatas habitam regiões tropicais e cerca de 80% de todos os insetos conhecidos são encontrados em florestas tropicais². Quando as espécies de plantas entram em cena, os números são ainda mais impressionantes: grande parte das 300.000 a 500.000 espécies de vegetais superiores existentes no planeta habitam os trópicos úmidos, e nós sabemos pouco sobre a maioria². Um hectare de floresta nos Neotrópicos pode ter até 300 espécies de árvores, enquanto uma área equivalente em floresta temperada normalmente apresenta menos de 10 espécies³.

Embora quando imaginamos uma floresta tropical, geralmente o que nos vem à mente são as luxuriosas florestas perenes e úmidas, na verdade apenas cerca de 60% da floresta tropical pode ser classificada como "floresta tropical com elevada e ininterrupta precipitação" (estação seca curta ou ausente)⁴. As florestas tropicais restantes são um mosaico de muitos tipos de ambientes diferentes, que incluem as florestas tropicais de coníferas, florestas montanas ou nebulosas, manguezais e florestas inundáveis (como as várzeas

amazônicas), savanas (incluindo Cerrado e Pantanal), florestas secas (por exemplo, a Caatinga), e outras⁴ (Figura 3). No entanto, é nas florestas tropicais úmidas que a maior parte das espécies de plantas e animais do mundo são encontradas. Elas são o lar de uma imensa variedade de espécimes da fauna, tais como mamíferos, répteis, pássaros e invertebrados, assim como de milhares de espécies de plantas e fungos, que desempenham um papel importante ao se alimentar dos restos em decomposição de plantas e animais.

Mas afinal, qual a receita do sucesso? Por que as florestas tropicais abrigam tantas diferentes formas de vida? Principalmente devido ao clima. As temperaturas nos trópicos estão atualmente na faixa média de 23 - 27 °C, onde geralmente a variação diária é maior do que a mensal (maior amplitude térmica entre dia e noite, do que ao longo dos meses do ano). Isso significa que não há grande sazonalidade de temperatura, ao contrário do que ocorre na Noruega por exemplo, onde a média climática no inverno é drasticamente menor do que a do verão. Assim como as médias de temperatura, também a precipitação tende a ser mais alta conforme nos aproximamos dos trópicos, devido principalmente à maior evapotranspiração nas regiões de baixa latitude. As

regiões tropicais úmidas, portanto, se beneficiam do fato de que a chuva é relativamente bem distribuída ao longo de todo o ano, com poucos meses de estação mais seca. Consequentemente, as espécies podem crescer e se reproduzir durante um período muito maior do ano quando comparadas a outros tipos florestais. Só para se ter ideia de como a sazonalidade da precipitação (ou a ausência desta) é importante para a paisagem florestal, savanas muitas vezes localizadas na mesma latitude de florestas úmidas podem apresentar muitos meses com precipitação média inferior a 60 mm, dando, portanto, lugar a uma floresta menos densa, e com formas vegetais predominantemente arbustivas⁵.

Além de apresentar um clima mais propício à proliferação de diversas formas de vida, as zonas tropicais também apresentam um histórico menos severo em relação às mudanças climáticas que ocorreram ao longo das últimas centenas de milhares de anos. Enquanto regiões temperadas sofreram longos períodos de temperaturas congelantes durante as eras glaciais (última teria sido no Pleistoceno e durou mais de 100 mil anos!), as regiões tropicais foram relativamente menos impactadas. Dessa maneira, os trópicos foram capazes de manter maior diversidade de espécies durante esses períodos de



▲ Figura 3 - Diferentes tipologias de florestas tropicais. Da esquerda para a direita, acima: floresta úmida, floresta sazonal alagável, floresta de montanha; abaixo: mangue, Cerrado e floresta seca.

glaciação, além de ainda apresentarem alta migração de espécies fugindo do clima severo das altas latitudes. Portanto, maior estabilidade climática nos trópicos ao longo do tempo teve alta contribuição não só para manutenção de elevado número de espécies, mas também permitiu processos contínuos de aumento de diversidade via especiação⁶.

Outra razão é que as florestas tropicais compreendem ecossistemas altamente produtivos. Se medirmos a fotossíntese, ou contabilizarmos a quantidade de folhas, galhos, frutos e outras partes de plantas que caem e cobrem o solo florestal, será possível observar que a produção

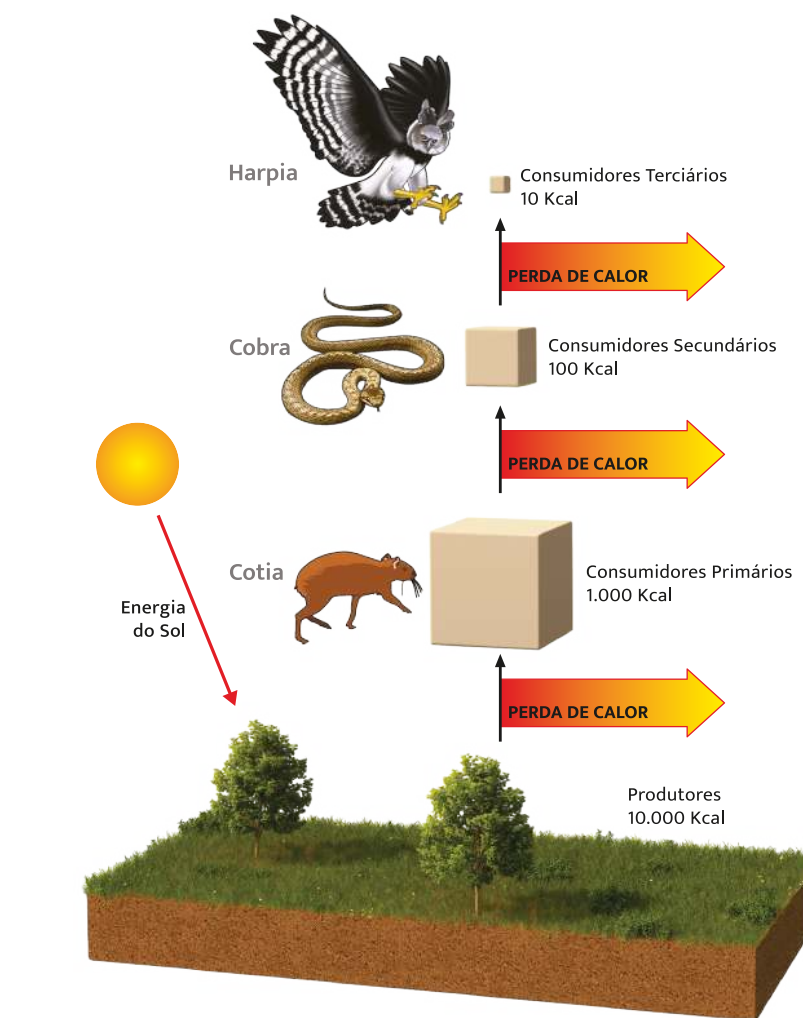
das florestas tropicais não-sazonais é quase o dobro da produção das florestas temperadas. Isso se deve graças à sua localização geográfica. Por estarem mais próximas a regiões equatoriais, recebem alta intensidade de luz solar, que por sua vez é convertida em energia pelas plantas através da fotossíntese. Como há muita luz solar, há muita energia na floresta tropical. Essa energia é armazenada na vegetação, proporcionando por sua vez mais recurso a toda a cadeia trófica, incluindo animais, fungos e micro-organismos^{7,8} (Figura 4).

Por fim e não menos importante, as florestas tropicais abrigam uma grande variedade de habitats, como matas de galerias e paludo-

sas, baixios e platôs, florestas dominadas por bambus, em solos arenosos ou encharcados, entre muitas outras. Para se adaptarem a esta diversidade de habitats, espécies foram desenvolvendo especializações ecológicas que aceleraram os processos de especiação nos trópicos. Portanto, numa perspectiva evolutiva, essa alta diversidade de espécies estaria relacionada aos muitos nichos presentes nos incontáveis habitats de florestas tropicais⁹.

Além de ser o lar de grande parte dos organismos do planeta, as florestas tropicais ainda desempenham papel importante para os estoques de carbono, sendo responsáveis por cerca de metade de todo

o carbono armazenado em florestas ao redor do mundo¹⁰. Este carbono está estocado principalmente nos componentes vegetacionais da floresta, sendo absorvidos em forma de CO₂ da atmosfera quando as plantas realizam a fotossíntese - processo em que as plantas absorvem CO₂ para construir novas partes vegetais, como brotos, raízes e folhas. Isso significa que, cada vez que uma nova folha é produzida, que uma nova plântula se estabelece na floresta, assim como no contínuo crescimento das árvores, parte do carbono da atmosfera é transformado em biomassa. Dessa maneira, as florestas tropicais podem atuar como "sumidouros" de carbono da atmosfera a longo prazo, atenuando, portanto, os



▲ Figura 4 - Fluxo de energia e níveis tróficos na floresta tropical. Kcal = quilocaloria.

impactos do efeito estufa no globo. Para isso, tanto a cobertura florestal no mundo quanto o clima global não podem sofrer grandes alterações, já que as condições climáticas (principalmente chuva e temperatura) adequadas são cruciais para o bom crescimento e desenvolvimento dos organismos¹¹. Nesse contexto, hoje sabemos que o clima na Terra e as florestas tropicais estão muito mais relacionados do que antes se acreditava.

Uma área tão vasta como a floresta amazônica recicla uma grande quantidade de chuva de volta para a atmosfera por transpiração; em outras palavras, a Amazônia cria seu próprio clima (Figura 5). Dessa maneira, as florestas tropicais

desempenham importante papel regulatório para o clima em escalas locais a continentais. Isso porque a evapotranspiração das árvores tem papel crucial para a formação de nuvens e consequentemente chuva sobre as florestas. Se a floresta for removida, a evapotranspiração é reduzida, assim como o papel regulatório da floresta na precipitação. Menos chuva significa menos floresta, que por consequência causa uma diminuição ainda maior no regime de chuvas. É uma interdependência que conecta diretamente o regime de chuvas e a floresta preservada logo abaixo, onde o distúrbio de um afeta diretamente o outro¹².



Níveis de CO₂ na Atmosfera

O Dióxido de Carbono (CO₂) é um gás abundante na atmosfera e importante para a realização de fotossíntese, onde as plantas absorvem o CO₂ e água do ar e do solo, e o transformam em oxigênio (O₂) e glicose, que é a fonte de energia para as plantas.

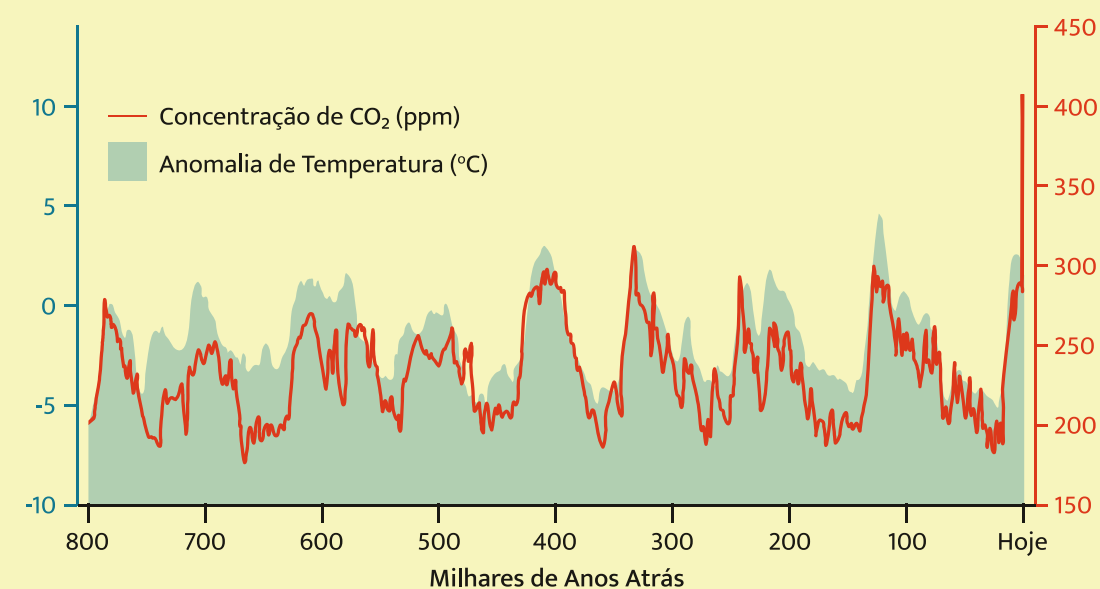
O CO₂ na atmosfera ainda tem um papel crucial na manutenção da temperatura na Terra, por meio de um fenômeno chamado de “efeito estufa”. Ele ocorre quando os gases de efeito estufa na atmosfera retêm parte do calor irradiado pelo Sol na superfície do planeta, aumentando sua temperatura. Graças ao efeito estufa, as temperaturas na Terra se mantêm adequadas às diversas formas de vida. Também o Metano (CH₄) e os Clorofluorcarbonetos (CFCs) são gases de efeito estufa, além de outros.

Apesar da importância dos gases de efeito estufa para o planeta, suas emissões têm aumentado muito recentemente.

As emissões estão bastante relacionadas às atividades humanas, como queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), além do desmatamento e outras mudanças no uso da terra (como agricultura e pecuária)⁵². O aumento das emissões ocorreu a partir da Revolução Industrial (final século 19), devido às expansões contínuas na população global e na atividade econômica. Em 2021, as concentrações atmosféricas medidas de CO₂ eram quase 50% superiores aos níveis pré-industriais (Figura S1). Esse aumento tem efeito direto no aumento das temperaturas globais. Dados mostram um aquecimento de cerca de 1,2 °C desde a Revolução Industrial, atingindo uma taxa de aumento de 0,18 °C por década desde 1981. Nesse ritmo, prevê-se que a temperatura global aumente cerca de 1,5 °C até 2030, e até 4 °C em 2100.^{53,54}

Por ser a maior floresta tropical do mundo, a Amazônia desempenha um

papel fundamental para o balanço de CO₂ na atmosfera, tanto por meio dos estoques de carbono retido na biomassa florestal, quanto através da absorção via fotossíntese. Mas esse papel é ameaçado pelo contínuo desmatamento e pelo aquecimento climático. Mudanças na temperatura global devem causar diminuição nos regimes de chuva na Amazônia. Uma Amazônia menos úmida pode sofrer um processo conhecido como “savanização”, quando a exuberante floresta tropical dá lugar a uma paisagem mais seca e aberta que se assemelha a uma savana, mas na verdade é uma floresta degradada⁵⁵. O desmatamento local e as mudanças climáticas globais de temperatura e precipitação favorecem essa conversão. Esse processo pode ser irreversível a longo prazo, causando um impacto incalculável para as milhões de formas de vida amazônicas, inclusive humana.



Níveis médios globais de CO₂ na atmosfera. Dados extraídos de Parrenin *et al.* 2013; Snyder *et al.* 2016; Bereiter *et al.* 2015. Imagem: Ben Henley and Nerilie Abram - The Conversation.

◀ Figura 5 - A Amazônia úmida apresenta as maiores taxas pluviométricas entre todos os ecossistemas tropicais do planeta.

A Imensidão Amazônica

- A Amazônia Legal abrange 59% do território brasileiro, distribuído por 775 municípios, e representa 67% das florestas tropicais do mundo. Se fosse um país, a Amazônia Legal seria o 6º maior do mundo em extensão territorial.

- Embora a Amazônia cubra apenas 4% da superfície da Terra, ela contém um terço de todas as plantas, animais e espécies de insetos terrestres conhecidas¹⁷.

- As últimas estimativas são de que as florestas pluviais do mundo podem ter até 30 milhões de espécies de insetos. Em uma única planta na Amazônia foi encontrada mais de 80 espécies de formigas, o que representa o dobro das espécies de formigas encontradas nas Ilhas Britânicas.

- Só entre 2014 e 2015, 381 novas espécies de vertebrados e plantas foram descobertas na Amazônia. Dentre elas, 20 novas espécies de mamíferos e 93 novas espécies de peixes foram descritas. Ou seja, é como se a cada dois dias um novo tipo de animal ou árvore tivesse sido registrado por um cientista.

- O gigante rio Amazonas possui cerca de 6.400 km de extensão e mais de 1.100 afluentes. Representa em torno de 20% de toda a água doce que flui na Terra. A descarga do rio Amazonas é 5 vezes maior do que a do rio Congo e 12 vezes maior do que a do Mississippi¹⁴.

- A floresta produz mais de 50% de toda a chuva que cai na região amazônica e tem influência direta nos padrões de chuva em todo o continente sul-americano¹⁵.

- A floresta amazônica contém 10% de toda a biomassa da Terra. Isso significa que, quando ocorre o desmatamento, as grandes quantidades de carbono que a floresta armazena são liberadas na atmosfera como dióxido de carbono, um gás de efeito estufa que contribui significativamente para o aquecimento global¹⁶.

A floresta amazônica

A mais representativa de todas as florestas tropicais é a Amazônia. Ela cobre grande parte da porção noroeste do Brasil e estende-se para a Colômbia, Peru, Bolívia, Equador, Venezuela e Guianas (Figura 6). Possui uma bacia hidrográfica que abrange 7.000.000 km², dos quais 5.500.000 km² são cobertos por floresta úmida, representando mais de 60% das florestas tropicais remanescentes do mundo¹³. Isso representa uma área muito maior do que todos os países da União Europeia somados, e mais da metade dos EUA. Só para se ter uma ideia, essa área é aproximadamente igual a totalidade de 15 Noruegas somadas em extensão.

Portanto, não é à toa que a Amazônia compreende a mais biodiversa floresta tropical do planeta. Para se ter uma ideia, mais de 430 espécies de mamíferos são encontradas na Amazônia¹⁸, sendo

a maioria morcegos e roedores; cerca de 1.500 espécies de aves são encontradas no bioma¹⁹; com mais de 2.200 espécies de peixes, é mais rica que todo o Oceano Atlântico; é o lar de quase 2,5 milhões de espécies de insetos²⁰ e 40.000 espécies de plantas, sendo 16.000 espécies de árvores²¹. Apesar do número surpreendente de espécies de todos os tipos, vários novos táxons têm sido descritos a cada ano e o número real ainda está longe de ser inteiramente mensurado (Figura 7).

Uma das razões para a imensa diversidade de organismos se deve ao fato de que a Amazônia é complexa, dinâmica e altamente heterogênea. Como resposta às variações ambientais, como regime de chuva, topografia e tipologia de solos que ocorrem ao longo da bacia, a Amazônia é composta de um mosaico de ecossistemas e

tipos de vegetação, incluindo florestas de terra firme, florestas inundáveis, savanas, florestas montanas, campinas e campinaranas, entre outras.

As florestas inundáveis representam entre 3-4% da área da Bacia Amazônica e são áreas ao longo dos principais rios que sofrem inundações periódicas durante a estação chuvosa. Existem três tipos principais de florestas inundadas: as florestas de várzea são influenciadas por rios de água branca (originário de regiões andinas e ricos em nutrientes, como o rio Amazonas ou o rio Madeira); as florestas de igapó ocorrem ao longo de afluentes de águas pretas ou de águas claras (originários de formações geológicas mais antigas e relativamente pobres em nutrientes, como os rios Negro e Tapajós); e as florestas costeiras localizadas no estuário amazônico (também conhecidas como restingas ou manguezais)²².

As savanas amazônicas são formações vegetais abertas, com um estrato herbáceo bastante presente, estratos arbustivos e/ou arbóreos mais ou menos desenvolvidos, sujeitas a queimadas. Aproximadamente 90% da savana amazônica se encontra na Bolívia e no Brasil (especialmente no estado de Roraima), com pequenas áreas na Venezuela, Guiana e Suriname. Têm como característica principal a existência de uma estação seca com duração de pelo menos três meses ao ano, ainda que a maioria dessas savanas experimenta alguma forma de alagamento durante a estação chuvosa²³.

As florestas montanas (incluindo tepuis) ocorrem em áreas com altura superior a 1.000 m, com temperaturas médias anuais mais baixas quando comparadas às outras florestas amazônicas.



▲ Figura 7 - Representantes da flora e fauna amazônica.

Embora chova menos que em áreas mais baixas, têm alta umidade devido a constante presença de nuvens e neblinas. Dos 1.000 m até os 1.700 m, há árvores de médio e pequeno porte, onde a vegetação é mais aberta, e a partir dos 1.700 m só há vegetação rasteira (vegetação de altitude). É muito comum a ocorrência de espécies endêmicas²².

Campinas e campinaranas são fitofisionomias associadas a solos pobres, ácidos e arenosos, frequentemente sujeitos ao alagamento periódico consequente da flutuação do lençol freático. As campinas são fitofisionomias abertas, normalmente com uma matriz herbácea, apresentando arbustos isolados variando entre um e cinco metros de altura (embora alguns indivíduos possam atingir até dez metros). Já as campinaranas são fisionomias florestais caracterizadas por apresentar sub-bosque relativamente aberto e escassez de cipós e lianas, com indivíduos arbóreos podendo atingir 30 metros. Esses ecossistemas podem cobrir vários milhares de quilômetros quadrados, e são encontradas na região de transição entre o Escudo das Guianas e a bacia amazônica²⁴.

E, finalmente, as florestas de terra firme, que são as mais preeminentes entre todos os tipos vegetacionais na Amazônia e ocupam cerca de 80% da área total do bioma. São vegetações pertencentes à categoria de florestas ombrófilas densas e se desenvolvem em regiões mais elevadas, com solos secos e bem drenados e que não inundam ao longo do ano. Nessa fitofisionomia são encontradas árvores de grande porte que podem alcançar 50 metros de altura. A copa desse tipo de vegetação é entrelaçada, de modo que dificulta a entrada de luz solar em seu interior, dificultando o desenvolvimento de grande quantidade de plantas rasteiras. É caracterizada por espécies como castanheiras, seringueiras, angelins e muitas árvores de grande interesse madeireiro²⁵.

Essa grande diversidade de habitats, imersa numa espantosa imensidão verde, e cortada pelos maiores rios do planeta explica a incontável quantidade de organismos que vivem e dependem dessa magnífica floresta. Mas também para uma outra espécie animal muito particular a floresta amazônica tem sido extremamente importante: o ser humano.



◀ Figura 6 - Mapa da América do Sul destacando a região amazônica (contornada em preto). Fonte: adaptado de Simmons (2006).

Breve histórico do homem na Amazônia

Existem evidências dos primeiros indícios de assentamentos humanos na região amazônica há pelo menos 11.000 anos²⁶. Durante milhares de anos, várias partes da Amazônia foram continuamente ocupadas por populações humanas, principalmente aquelas com solos mais férteis. Essas populações desenvolveram uma rica diversidade cultural que incluía desde grupos nômades de caçadores-coletores até grandes aldeias de

povos que praticavam agricultura, pesca de larga escala e caça intensiva. Entre os povos que formavam grandes aldeias estavam os tuxauas, guerreiros do rio Tapajós²⁷. Essas sociedades indígenas mais complexas conseguiram se adaptar à vida em cada um dos habitats amazônicos, não só ao longo das planícies inundáveis, mas também ocuparam grandes extensões ao longo das florestas de terra firme. Há relatos de assentamentos indígenas com

milhares de habitantes no vale do rio Amazonas. Para isso, desenvolveram diversas técnicas de uso da terra e de enriquecimento do solo compatíveis com as condições naturais da Amazônia, transformando a paisagem através da construção de rotas de comércio, uso do fogo e da agricultura, e principalmente, através da domesticação de plantas de interesse²⁸. A floresta sempre foi crucial para esses povos não só como fonte de

alimento, mas também purificação da água e do ar, manutenção do habitat da vida selvagem, além de benefícios sociais e culturais como recreação e espiritualidade. Essa relação relativamente harmoniosa com a natureza foi possível porque as populações tribais nativas da Amazônia, apesar de numerosas e complexas, usaram e administraram de forma sustentável seus habitats e, assim, mantiveram a floresta amazônica exuberante e produtiva antes da chegada dos conquistadores portugueses^{13,29}. No entanto, desde o estabelecimento do modo europeu de uso dos recursos naturais, a floresta amazônica passou a ser severamente afetada pela exploração excessiva (Figura 8).

Ao longo de cerca de 250 anos de conquista e colonização portuguesa, muitos povos indígenas foram mortos pela arma de fogo dos conquistadores e sobretudo foram dizimados pelas doenças infecciosas trazidas pelos europeus (particularmente, varíola, sarampo, catapora, gripe e tuberculose). Assim, as populações indígenas na Amazônia foram reduzidas de maneira drástica. À época do primeiro contato europeu havia aproximadamente 5 milhões de

indígenas na Bacia Amazônica, dos quais 3 milhões viviam no Brasil³⁰. Atualmente há apenas cerca de 430 mil indígenas na Amazônia.

Durante três séculos, a ocupação europeia na Amazônia se resumiu basicamente a missões jesuíticas para catequização dos indígenas e uma economia baseada na extração de produtos naturais da floresta. Entre elas estavam cravo, canela, salsaparrilha, castanhas, cacau, tinturas, fibras, ervas medicinais, peles de felinos, de jacarés e de lontras, animais vivos como papagaios e araras, ovos de tartaruga, gordura de peixe-boi etc. (Figura 9). Além disso, extraíam-se madeiras valiosas, as chamadas madeiras de lei. Durante esse período houve pouco interesse no maior desenvolvimento econômico da Amazônia, principalmente após a queda no preço do cacau e redução nas exportações de peles e couro. A única exceção positiva foi o aumento do interesse pela borracha da Amazônia a partir de 1840, quando começou a se tornar um produto de destaque na economia da Amazônia e do Brasil^{27,29}.

O ciclo da borracha é o primeiro grande ciclo econômico da

Amazônia, que teve o seu auge entre 1879 e 1912. Embora o produto já fosse bem conhecido pelos indígenas e pelos primeiros europeus a ocuparem a região (usavam o látex da seringueira como impermeabilizante e, a partir desse produto endurecido, fabricavam utensílios domésticos, seringas, botas, sapatos, chapéus, jaquetas, bolas etc.), é a partir do século 19 que se tem a produção em larga escala da borracha²⁷.

Esse período é marcado pela intensa e rápida ocupação da Amazônia: cerca de sessenta mil nordestinos migraram para a região em busca do “ouro branco”. Assim, a exploração de látex fez surgir inúmeras vilas ao longo dos rios onde a seringueira era mais abundante. Empresas estrangeiras instalaram-se em Belém e Manaus para controlar o seu comércio. A população de Manaus cresceu no auge do ciclo, passando de 10 mil pessoas em 1890, para 50 mil habitantes em 1900. A cidade era considerada a “Paris dos Trópicos” por causa dos seus bares, cabarés e casas noturnas. Durante os primeiros anos do século 20, as exportações anuais de borracha na Amazônia alcançaram em média 34 mil toneladas. Em 1909, uma

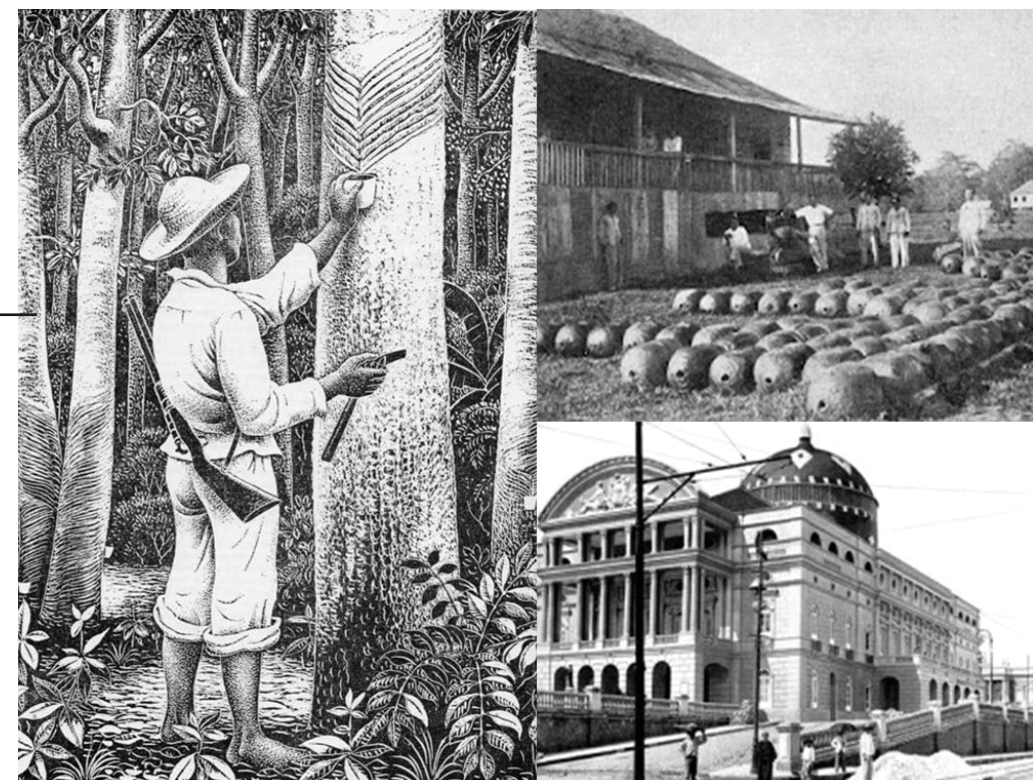


▲ Figura 8 - "Conquista do Amazonas" (1907), pintura de Antônio Parreiras (1860-1937) representando a chegada dos conquistadores portugueses na Amazônia brasileira. Óleo sobre tela, Museu Histórico do Estado do Pará, Belém.



► Figura 9 - Peles de animais oriundas de extrativismo animal (caça) em um curtume de Manaus na década de 1950. Crédito: Biblioteca Virtual do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

► Figura 10 - À esquerda, o método tradicional de extração do látex da seringueira (*Hevea brasiliensis*); à direita: borracha vulcanizada pronta para ser comercializada, e a construção do Teatro Amazonas em Manaus, que marca o auge do ciclo da borracha. Imagens: acervo histórico do Arquivo Municipal de Manaus.



produção de 42 mil toneladas atingiu 24,6 milhões de libras. Foi o período áureo da região³⁰ (Figura 10).

No entanto, este ciclo de grandes riquezas começou a sofrer declínio quando as plantações de seringueiras foram estabelecidas no Sudeste Asiático, capazes de produzir látex de melhor qualidade, em quantidades maiores e por um preço mais acessível. Dessa forma, o Brasil deixou de ser competitivo no mercado internacional da borracha, marcando o fim do ciclo do “ouro branco” na Amazônia³⁰.

Esse período marca um êxodo de famílias que deixam a região da Amazônia, e aquelas que são obrigadas a ficar têm de lidar com uma drástica diminuição em suas fontes de renda. Belém e Manaus entraram em colapso econômico e social no início do século 20. Os palacetes foram abandonados, os seringueiros estavam à deriva, o governo já não conseguia pagar mais os funcionários públicos e a classe média havia perdido emprego e estava empobrecida.

Com o fim do ciclo da borracha, a região se volta novamente ao extrativismo da floresta e à agricultura de subsistência, com pequenas propriedades rurais utilizando o método de corte e queima da floresta para criação de gado. Essa atividade se torna mais preeminente a partir da década de 1960, quando a Amazônia passa a ser prioridade para o governo militar da época. As principais iniciativas

de ocupação empregadas foram: atrair agricultores do Centro-Sul e do Nordeste para ocupar grandes extensões de florestas da região, extrair riquezas minerais e iniciar o aproveitamento do seu potencial hidrelétrico. A partir de então, os chamados “grandes projetos”

começam a ser implementados na Amazônia, como o incentivo para pecuária bovina de grande escala, construção das hidrelétricas de Tucuruí e Balbina, atividades de mineração de Carajás e do rio Trombetas, construção de estradas como a Transamazônica e a BR-319 (que liga Manaus a Porto Velho), e a instalação da Zona Franca de Manaus (Figura 11). Essa segunda e maior onda de ocupação da Amazônia causou um aumento expressivo na população – passando de 11,2 milhões de pessoas, em 1980, para 24 milhões

em 2010. A migração desordenada e em massa de pessoas vindas de várias partes do Brasil transformou a Amazônia em um palco de conflitos de terras e domínio predatório dos recursos naturais³¹. O modelo de uso não-sustentável incentivado para a Amazônia a partir de

então, causou um rápido processo de degradação e perda de cobertura florestal, que foi intensificada principalmente na segunda metade do século 20³².



► Figura 11 - "Grandes Projetos Amazônicos" implementados nas décadas de 1960/1970. À direita: Usina Hidrelétrica de Balbina no Amazonas, e Rodovia BR-319 que liga Manaus (AM) a Porto Velho (RO); à esquerda: mineração de ferro em Carajás, Pará. Fotos: agência Cenarium, 2022; Gonçalves, 2021.

Principais ameaças atuais à floresta amazônica brasileira

O avanço da fronteira agrícola na Amazônia resultou na abertura de uma extensa malha viária a partir da década de 70, muitas destas, estradas ilegais ou clandestinas. Isso permitiu o acesso a áreas do interior da floresta de terra firme antes intocadas. Junto com as estradas, intensificaram-se as atividades econômicas que demandam a degradação e desmatamento da floresta, especialmente a exploração madeireira, porta de entrada para atividades ainda mais devastadoras: a agricultura e a pecuária.

Hoje, os dados são alarmantes: cerca de 70 a 80% da extração de madeira no Brasil é ilegal. No passado, este número era ainda muito maior. O impacto dessas atividades na floresta desde então tem sido avassalador. Isso

porque, madeiras maciças como o ipê, mogno e castanheira são espécies muito valorizadas no mercado e podem ser vendidas com grandes margens de lucro³³ (Figura 12). No entanto, geralmente ocorrem apenas duas ou três árvores comercialmente viáveis em uma área de floresta do tamanho de dois campos de futebol e, para acessar essas árvores valiosas, muitas outras acabam sendo removidas juntas, além dos danos causados à estrutura da floresta na busca e retirada das árvores³⁴. O desmatamento para uso do solo na Amazônia sempre esteve atrelado ao fogo, uma vez que a floresta, por ser muito densa e robusta, necessita do fogo para ser limpa. Desta forma, o avanço da fronteira amazônica até a década de 1980 se deu, de forma geral, seguindo um rastro de destruição da floresta,

envolvendo a atividade madeireira ilegal, derrubada e queima para agricultura e pastagem.

Após uma queda de 83,4% nas taxas de desmatamento na Amazônia brasileira, entre 2005 e 2012, a floresta voltou a experimentar o crescimento dos índices de devastação a partir de 2013. Só em 2019 e 2020, estas taxas cresceram cerca de 34%, representando uma área de 21.118 km² de desmatamento apenas nestes dois anos, o que equivale à metade de um país do tamanho da Holanda, por exemplo³⁵. A redução da taxa em períodos anteriores se deu por alguns motivos, incluindo o aumento da demanda de exportação de gado e soja produzidos na Amazônia e uma grande pressão do mercado internacional sobre uma produção mais sustentável destes produtos. A dependência do Brasil ao mercado internacional incentivou mudanças de paradigmas na produção de gado e soja no país, além de proporcionar um aumento na fiscalização de órgãos ambientais para o cumprimento de leis já existentes, como o Código Florestal Brasileiro. No entanto, as mudanças de governo e de políticas ambientais incluíram a reformulação no próprio Código Florestal em 2006, com afrouxamento de regras de conservação da floresta e uma desconstrução da viabilidade da produção sustentável. A partir daí as taxas de desmatamento voltaram a subir, em prol de um desenvolvimento econômico que desconhece e desmerece possibilidades econômicas viáveis para a Amazônia. A maior parte da soja do mundo vem de terras sul-americanas anteriormente ocupadas por florestas tropicais, especialmente a região amazônica. No entanto, os solos da Amazônia são produtivos apenas por um curto período,

porque apenas a camada superior do solo, conhecida como "*topsoil*", é fértil. Em poucos anos, a camada superficial do solo é levada pelas chuvas, e por isso os agricultores estão constantemente se mudando para novas áreas e limpando mais terras. Essas práticas agrícolas intensificam o desmatamento e causam extensos danos ambientais³³. O desmatamento, que até 1975 afetava menos de 1% da Amazônia, atingiu quase 20% da região (ou seja, três vezes o tamanho do Estado de São Paulo) em 2022 (Figura 13).

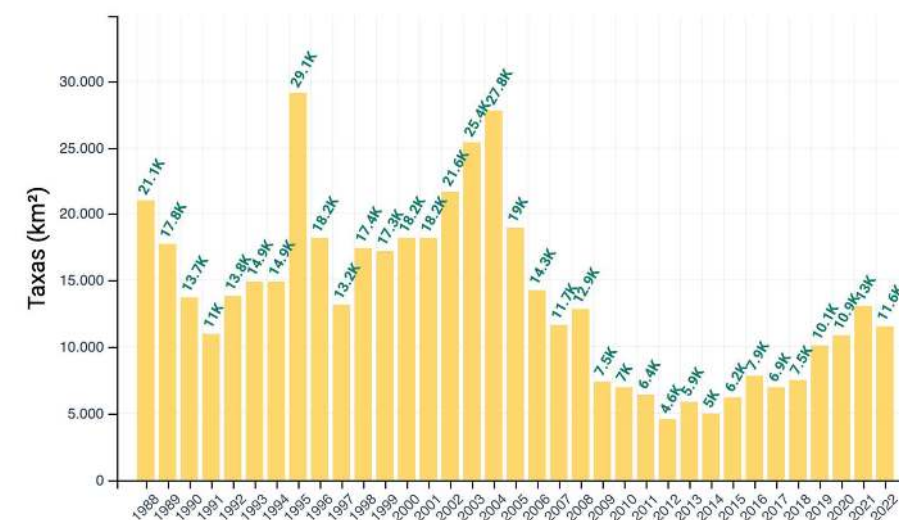
Entretanto, atualmente a principal causa da destruição das florestas amazônicas é o gado bovino (Figura 14). Entre 1991 e 2000, a área total de floresta perdida na Amazônia aumentou de 415.000 para 587.000 km², com a maior parte da floresta sendo convertida em pastagem. Setenta por cento das terras anteriormente florestadas na Amazônia e 91% das terras desmatadas desde 1970 foram destinadas à pecuária extensiva. Além disso, o gado produz grandes quantidades de metano, gás de efeito estufa que é aproximadamente 26 vezes mais eficaz do que o CO₂ para o aquecimento global¹². Nesse contexto, são preocupantes os efeitos da destruição da floresta para a liberação do carbono contido em sua vegetação em forma de

biomassa. Estimativas apontam que a floresta amazônica sozinha é responsável por 20-25% de todo o armazenamento global de carbono¹³. Esses números reforçam a importância da Amazônia para os estoques de carbono para o planeta. Assim, a continuidade das taxas de desmatamento e o consequente aumento das emissões provocarão uma aceleração do aquecimento global, que por sua vez pode reduzir as chuvas e aumentar as temperaturas. As florestas tropicais são altamente dependentes dos elevados níveis de precipitação

para sua sobrevivência. Até porque com a diminuição das chuvas e o aumento da temperatura, a região pode experimentar eventos mais frequentes e severos de secas, com consequente aumento das ameaças de incêndio. Espera-se que todos esses eventos combinados causem alta mortalidade de árvores, o que, por sua vez, pode acelerar ainda mais as emissões e seus efeitos nas mudanças climáticas. Nesse cenário, a região amazônica pode sofrer uma perda quase total de sua cobertura de floresta tropical até o ano 2100^{35,36,37}.



▲ Figura 12 - Extrativismo de madeira na Amazônia, uma das principais causas de desmatamento na região.



▲ Figura 13 - Taxa de desmatamento na Amazônia legal, acumulada por ano (1988 - 2022), em km². Fonte: Terrabrasil/Inpe.

▼ Figura 14 - A pecuária na Amazônia tem papel importante no desmatamento da floresta.



Distúrbios, sucessão ecológica e regeneração florestal

Grandes porções da Amazônia não são capazes de sustentar longos períodos de atividades agrícolas contínuas. Essas terras desmatadas são abandonadas e as florestas têm a chance de se regenerar por meio da sucessão ecológica. A sucessão ecológica é o processo de mudança na estrutura das espécies de uma comunidade ecológica ao longo do tempo. Dinâmicas sucessionais após perturbação severa ou remoção de uma comunidade vegetal pré-existente são chamadas de sucessão secundária. As florestas sucessionais jovens em regeneração são chamadas de florestas secundárias.

É importante mencionar que os distúrbios florestais não são causados exclusivamente pela ação antrópica, mas também por meios naturais como incêndios, inundações, alterações do solo devido à erosão, ventos fortes e queda de árvores. Esses eventos geralmente causam distúrbios de magnitude inferior e em menor escala (com exceção de grandes eventos de

incêndio). Nesse caso, quando a perturbação ecológica não é muito rara nem muito frequente, a sucessão é importante para manter a alta diversidade florestal (Figura 15 – infográfico mostrando o gradiente sucessional). Isso porque um distúrbio de pequena escala, como a abertura do dossel devido à queda de uma árvore grande, permite condições para espécies que de outra forma não prosperariam. Por exemplo, existem espécies de plantas particularmente bem adaptadas para explorar grandes clareiras nas florestas, mas são intolerantes à sombra e, eventualmente, são substituídas por outras espécies tolerantes à sombra na ausência de distúrbios que criam essas lacunas. Portanto, esses distúrbios permitem que espécies com diferentes demandas de luz coabitem. No entanto, com altos níveis de perturbação, devido a incêndios florestais frequentes ou impactos humanos como o desmatamento, muitas espécies estão em risco de extinção^{13,39}.

A capacidade da floresta de se recuperar (naturalmente) de perturbações ou distúrbios resistindo a danos é chamada de resiliência. Assim, a resiliência da floresta determina sua capacidade de persistir e funcionar ao longo do tempo. Muitas variáveis biológicas e físicas afetam a resiliência da floresta. Por exemplo, se a perturbação for de grande magnitude, pode afetar profundamente um ecossistema a ponto de levá-lo a uma condição de transformação permanente em seus aspectos ecológicos e estruturais. Nesse caso, o ambiente atinge o "*ponto de não-retorno*", onde as condições originais não mais podem ser restauradas naturalmente. Portanto, compreender seus efeitos é fundamental para o desenvolvimento de estratégias sólidas de conservação e manejo florestal, especialmente no contexto das mudanças ambientais locais ou globais⁴⁰.

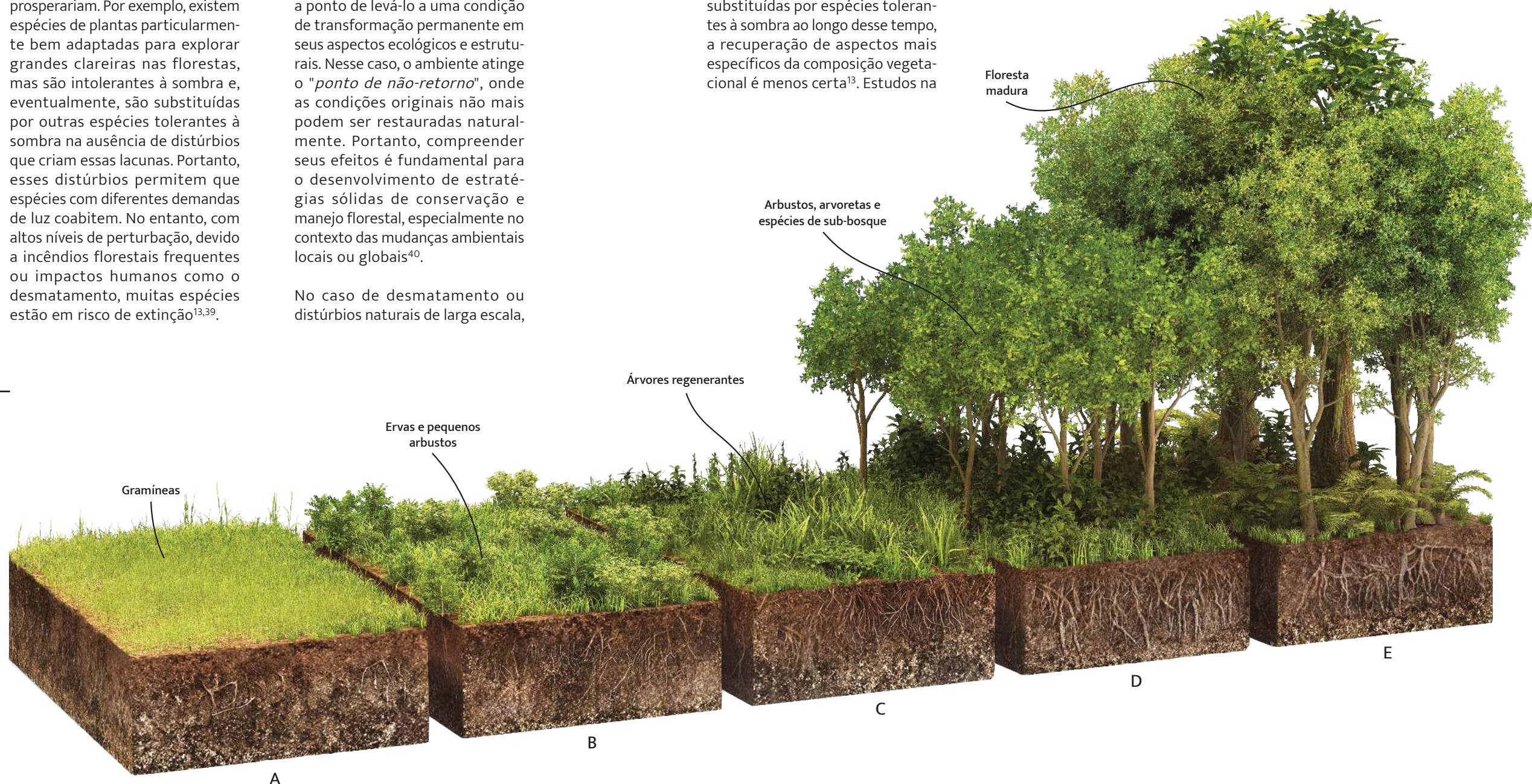
No caso de desmatamento ou distúrbios naturais de larga escala,

conforme a floresta recupera sua maior perda de dossel, aspectos da estrutura da floresta (por exemplo, densidade das árvores, área basal do povoamento, altura média da floresta etc.) geralmente retornam a estados próximos ao pré-distúrbio¹³. Esse processo, para florestas de terra-firme amazônicas, geralmente leva ao menos algumas décadas. No entanto, enquanto as espécies que exigem luz serão substituídas por espécies tolerantes à sombra ao longo desse tempo, a recuperação de aspectos mais específicos da composição vegetal é menos certa¹³. Estudos na

Amazônia mostraram que a floresta não recuperou a mesma composição de espécies das condições anteriores ao grande distúrbio, mesmo após 50 anos! Portanto, ainda não está claro o grau em que as florestas são realmente capazes de recuperar totalmente sua comunidade florestal após tais distúrbios⁴¹. Nesse contexto, nosso conhecimento da dinâmica da floresta tropical permanece

muito limitado para fazer afirmações conclusivas sobre a resiliência da floresta. Isso porque a maioria dos estudos é de curto prazo (alguns anos apenas), com poucos abrangendo períodos mais longos (décadas), enquanto a maioria das árvores pode viver por séculos e precisa de várias décadas para atingir seu estágio adulto¹³.

► Figura 15 - Infográfico mostrando os diferentes estágios do gradiente sucessional em uma floresta tropical. Estágio inicial (A) composto principalmente por solo exposto, gramíneas e outras espécies herbáceas; estágio seguinte (B) já apresenta espécies arbustivas juntamente com ervas e gramíneas; estágio intermediário (C) apresenta espécies vegetais arbustivas e árvores regenerantes; estágio avançado do gradiente (D) formado majoritariamente por espécies arbóreas que formam um dossel contínuo; último estágio do gradiente (E) apresenta espécies emergentes (copas mais altas) e mais longevas (espécies centenárias).



Florestas secundárias e fragmentadas na Amazônia

Atualmente, as florestas em regeneração representam cerca de 21% das áreas previamente desmatadas na Amazônia brasileira²². Apesar de sua grande extensão, a capacidade de armazenamento de carbono é muito menor do que das florestas primárias não perturbadas. Além disso, as florestas secundárias suportam uma diversidade muito menor do que as florestas primárias⁴³. Isso por causa da ausência de espécies de árvores grandes e longevas em florestas sucessionais. Essas árvores compreendem de longe a maioria das espécies da Amazônia, e são as que armazenam maior quantidade de carbono dentro das florestas. São fundamentais para diversas espécies de animais, de insetos a primatas, pois oferecem abrigo e grande quantidade de recursos, como flores e frutos.

Pesquisadores não sabem quanto tempo leva para a floresta secundária atingir os mesmo níveis e estruturas de biodiversidade das florestas primárias não perturba-

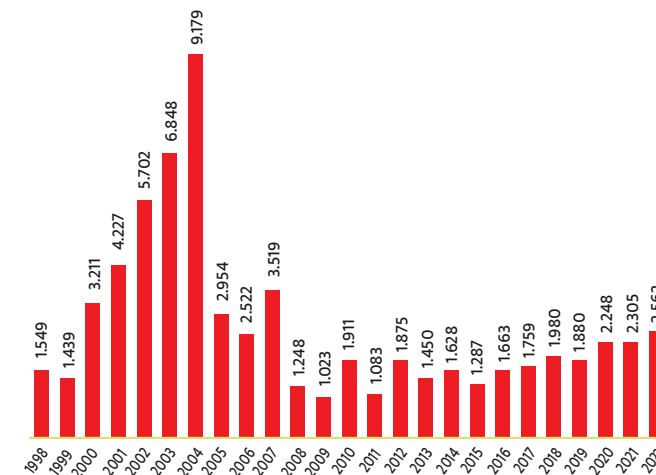
das⁴⁴. Estudos têm mostrado que as árvores na Amazônia Central, em média, têm várias centenas de anos, sugerindo que as florestas primárias levam séculos para crescer até o nível que as deslumbramos hoje. Isso destaca a importância da manutenção da floresta madura e intacta na Amazônia⁴⁵.

Outra consequência do desmatamento é a mudança da paisagem causada pela fragmentação florestal. A fragmentação florestal é a divisão de grandes áreas florestais contíguas em pedaços menores de floresta (Figura 16). Normalmente estes pedaços são separados por estradas, agricultura, corredores de serviços públicos, subdivisões ou outro desenvolvimento humano. Os habitats que antes eram contínuos dividem-se em fragmentos separados⁴⁶. Após o desmatamento intensivo, os fragmentos separados tendem a ser ilhas muito pequenas isoladas umas das outras, geralmente por uma matriz não florestal, que pode ser uma área de cultivo, pastagem, pavimentação,

área de mineração, ou até mesmo terra estéril.

A fragmentação da floresta está relacionada a uma redução na saúde da floresta e degradação de habitat, o que, por sua vez, leva as florestas à perda de biodiversidade, aumento de plantas invasoras, pragas e agentes patogênicos, e redução da qualidade da água. Esses efeitos florestais abrangentes são consequências de dois problemas básicos: o isolamento do habitat e os efeitos de borda¹³. Quando uma floresta fica isolada, o movimento de plantas e animais é mais limitado. Isso restringe a reprodução e o fluxo gênico e resulta em declínio populacional em longo prazo, diminuição na densidade das espécies e aumento na competição ou mesmo predação. Em relação aos efeitos de borda, eles alteram as condições micro-climáticas nas florestas por meio de mudanças drásticas de temperatura, umidade, luz e vento. Isso desencadeia uma cascata de efeitos nocivos para o crescimento e a sobrevivência de árvores, herbáceas, samambaias, líquens, e uma série de efeitos secundários sobre os animais que dependem delas^{47,48}. Em estudos de fragmentos da floresta amazônica, os efeitos do microclima foram evidentes até 100 m no interior da floresta. Quanto menor o fragmento, mais suscetível é a propagação de incêndios⁴⁹. Segundo estimativas de 2014, cerca de 30% das florestas da Amazônia parecem estar sendo afetadas pelos efeitos da fragmentação⁵⁰ (Figura 17).

No entanto, florestas secundárias e degradadas desempenham um papel importante para o uso e conservação das florestas tropicais em todo o mundo. Elas correspondem a cerca de 4,5 milhões de km², sendo que quase metade de todas



▲ Figura 17 - Acima, a série histórica de focos de incêndio na Amazônia (Inpe); abaixo, uma imagem aérea de queimadas na cidade de Altamira - Pará, em 2019. Foto: Víctor Moriyama / Greenpeace.

as florestas tropicais e aproximadamente 1,2% (235.000 km²) das florestas tropicais úmidas estão em algum estágio de regeneração de longo prazo⁵¹. Eles são, portanto, uma importante fonte

de produtos tropicais, incluindo madeira, e fornecem vários bens e serviços, como sequestro de carbono e conservação da biodiversidade. Isso reforça a importância de aprimorarmos nossos conheci-

mentos neste tipo de paisagem, a fim de melhor compreender os padrões de recuperação florestal, seu papel no balanço mundial de carbono, e a importância da fauna e flora em geral¹³.



▲ Figura 16 - Manchas de florestas circundadas por lavouras, pavimentação e outras instalações humanas (matriz não florestal). Foto: A Lavoura, 2020.

Referências

1. TERBORGH, J. *Diversity and the Tropical Rainforest*. New York: Scientific American Library, 1992. 242 p.
2. PITMAN, N. A.; JORGENSEN, P. M. Estimating the size of the world's threatened flora. *Science*, v. 298, p. 989, 2002.
3. VALENCIA, R.; BALSLEV, H.; PAZ Y MIÑO, G. High tree alpha-diversity in Amazonian Ecuador. *Biodiversity and Conservation*, v. 3, p. 21–28, 1994.
4. MILLENNIUM Ecosystem Assessment. In: *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press, 2005. 137 p.
5. PRIMACK, C.; CORLETT, R. *Tropical Rain Forests: An Ecological and Biogeographical Comparison*. Oxford: Blackwell Print, 2005. 319 p.
6. WALLACE, A. R. *Tropical Nature, and other essays*. Cambridge University Press, 1878. 356 p.
7. CURRIE, D. J. Energy and large-scale patterns of animal- and plant-species richness. *The American Naturalist*, v. 137, p. 27–49, 1991.
8. ALLEN, A. P.; BOWN, J. H.; GILLOOY, J. F. 2002. Global Biodiversity, Biochemical Kinetics, and the Energetic-Equivalence Rule. *Science*, v. 297, p. 1545–1548, 2002.
9. TUOMISTO, H.; RUOKOLAINEN, K. Analyzing or explaining beta diversity? Understanding the targets of different methods of analysis. *Ecology*, v. 87, p. 2697–2708, 2006.
10. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
11. LAWRENCE, D.; VANDECAR, K. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. *Nature Climate Change*, v. 5, p. 27–36, 2015.
12. SWANN, A. L. S.; LONGO, M.; KNOX, R. G.; LEE, E.; MOORCROFT, P. R. Future deforestation in the Amazon and consequences for South American climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, n. 214–215, p. 12–24, 2015.
13. GHAZOUL, J.; SHEIL, D. *Tropical rain forest ecology, diversity, and conservation*. New York, USA, Oxford University Press: 2010. 496 p.
14. GOULDING, M.; BARTHEM, R.; FERREIRA, E. *The Smithsonian atlas of the Amazon*. Washington: Smithsonian Institution Press, 2003.
15. GETIRANA, A. C.; DUTRA, E.; GUIMBERTEAU, M.; KAM, J.; LI HY; DECHARME, B.; RODELL, M. Water balance in the

- Amazon basin from a land surface model ensemble. *Journal of Hydrometeorology*, v. 156, p. 2586–2614, 2014.
16. RAINFOREST FOUNDATION NORWAY. Disponível em: <https://www.regnskog.no/en/what-we-do/the-amazon#:~:text=The%20Amazon%20rainforest%20contains%2010,contributes%20significantly%20to%20global%20warming>). Acesso em: nov. 2021.
 17. LEWINSOHN, T. M.; PRADO, P. I. How Many Species Are There in Brazil? *Conservation Biology*, n. 19, p. 619–624, 2005.
 18. MONGABAY. Disponível em: <https://rainforests.mongabay.com/amazon/mammals.html>. Acesso em: fev. 2022.
 19. MONGABAY. Disponível em: <https://rainforests.mongabay.com/amazon/birds.html>. Acesso em: fev. 2022.
 20. ALBERT, J. S.; REIS, R. E. *Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Fishes*. Berkeley: University of California Press, 2011. 308 p.
 21. STEEGE, H. *et al.* Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora. *Science*, n. 342, Issue 6156, 2013.
 22. OLIVEIRA-FILHO, A. T.; DEXTER, K. G.; PENNINGTON, R. T.; SIMON, M. F.; BUENO, M. L.; NEVES, D. M. On the floristic identity of Amazonian vegetation types. *Biotropica*, v. 53, p. 767–777, 2021.
 23. GUIMARÃES, F. S. & BUENO, G. T. As campinas e campinaranas amazônicas / The amazonian campinas and campinaranas. *Caderno de Geografia*, v. 26, p. 113–133, 2016.
 24. MCKNIGHT, T. L.; HESS, D. *Climate Zones and Types. Physical Geography: A Landscape Appreciation*. Upper Saddle River. New Jersey: Prentice Hall, 2001. 629 p.
 25. MONGABAY. Disponível em: <https://rainforests.mongabay.com/0103.htm>. Acesso em: ago. 2022.
 26. ROOSEVELT, A. C. *et al.* Paleoindian cave dwellers in the Amazon: The peopling of the Americas. *Science*, v. 272, p. 373–384, 1996.
 27. IMAZON - Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Disponível em: <https://imazon.org.br/a-floresta-habitada-historia-da-ocupacao-humana-na-amazonia>. Acesso em: ago. 2022.
 28. LEVIS *et al.* Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian forest composition. *Science*, v. 355, Issue 6328, 2017.
 29. DE BLASIS, P. *Da era das glaciações às origens da agricultura: uma revisão das mais antigas culturas do território brasileiro. In: BRASIL 50 mil anos: uma viagem ao passado pré-colonial. Editado por Universidade de São Paulo - Museu de Arqueologia e Etnologia, pp. 12-26. São Paulo: EDUSP, 2001.*
 30. MEIRELLES, J. *O livro de ouro da Amazônia: mitos e verdades sobre a região mais cobiçada do planeta*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2004. 397 p.
 31. BARBANTI, O. Economic Cycles, Deforestation and Social Impacts in the Brazilian Amazon. *Agrarian South: Journal of Political Economy*, v. 4 (Issue 2), 2015.
 32. BECKER, B. 2009. *Environmental Policy, Social Movements, and Science for the Brazilian Amazon*. University of Chicago. Disponível em: <http://amazonia.uchicago.edu/en/beckers.html>. Acesso em: set. 2022.
 33. KIRBY, K. R.; LAURANCE, W. F.; ALBERNAZ, A. K.; SCHROTH, G.; FEARNside, P. M.; BERGEN, S.; VENTICINQUE, E.; COSTA, C. *O futuro do desmatamento na Amazônia brasileira. Futuros*, v. 38, p. 432–453, 2006.
 34. MONTAIGNE, F. 2019. O desmatamento e o aquecimento levarão a Amazônia a um ponto crítico? Yale E360. Disponível em: <https://www.amazoniatlatitude.com/2024/02/14/floresta-amazonica-ponto-critico-estudo/>. Acesso em: out. 2021
 35. GONÇALVES, J. R. M. R.; MARTINS, F. B. S.; CORREIA, R. M. Reutilização de Topsoil: uma solução sustentável na restauração de áreas degradadas/ Reduction Topsoil recovery as a measure for recovery of degraded áreas. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, p. 28258–28267, 2020.
 36. WELCH, C. Como a perda da floresta amazônica pode afetar a água e o clima em lugares distantes. *Revista National Geographic*, 2018. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2018/11/diminuicao-amazonia-floresta-amazonica-desmatamento-mudancas-climaticas-bolsonaro-clima-abastecimento-agua-planeta>. Acesso em: abr. 2022.
 37. OHLKER, C.; WIEDEMANN, K. T.; SINHA, B.; SHIRAIWA, M.; GUNTHER, S. S.; SMITH, M.; SU, H.; ARTAXO, P. *et al.* Biogenic Potassium Salt Particles as Seeds for Secondary Organic Aerosol in the Amazon. *Science*, v. 337, p. 1075–1078, 2012.
 38. MCCARTHY, J.; SANCHEZ, E. World's Water Could Become Scarce if the Amazon Rainforest Is Destroyed. *Sierra Club New York City*, 2018. Disponível em: <https://nyc.sierraclub.org/worlds-water-could-become-scarce-if-the-amazon-rainforest-is-destroyed/>. Acesso em: abr. 2022.
 39. WILKINSON, D. M. The Disturbing History of Intermediate Disturbance. *Oikos*, n. 84, p. 145–147, 1999.
 40. IBÁÑEZ, I.; ACHARYA, K.; JUNO, E.; KAROUNOS, C.; LEE, B. R.; MCCOLLUM, C.; SCHAFFER-MORRISON, S.; TOURVILLE, J. Forest resilience under global environmental change: Do we have the information we need? A systematic review. *PlosOne*, v. 14, n. 9, 2019.
 41. ELIAS, F.; FERREIRA, J.; LENNOX, G. D.; BERENGUER, E.; FERREIRA, S.; SCHWARTZ, G. *et al.* Assessing the growth and climate sensitivity of secondary forests in highly deforested Amazonian landscapes. *Ecology*, v. 101, n. 3, 2019.
 42. MONGABAY. Disponível em: <https://worldrainforests.com/0103.htm>. Acesso em: set. 2022.
 43. CHAZDON, R. L.; PERES, C. A.; DENT, D.; SHEIL, D.; LUGO, A. E.; LAMB, D.; STORK, N. E.; MILLER, S. E. The potential for species conservation in tropical secondary forests. *Conservation Biology*, v. 23, p. 1406–1417, 2009.
 44. FAHRIG, L. Habitat fragmentation: A long and tangled tale. *Global Ecology & Biogeography*, n. 28, p. 33–41, 2019.
 45. FAHRIG, L. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, v. 34, p. 487–515, 2003.
 46. LIENERT, Judit. Habitat fragmentation effects on fitness of plant populations – a review. *Journal for Nature Conservation*, v. 12, p. 53–72, 2004.
 47. LAURANCE, W. F.; CAMARGO, J. L. C.; FEARNside, P. M.; LOVEJOY, T. E.; WILLIAMSON, G. B.; MESQUITA, R. C. G.; MEYER, C. F. J.; BOBROWIEC, P. E. D.; LAURANCE, S. G. W. An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change. *Biology Review*, v. 93, p. 223–247, 2018.
 48. VEDOVATO, L. B.; FONSECA, M. G.; EGIDIO, A.; ANDERSON, L. O.; ARAGÃO, L. E. O. C. The extent of 2014 forest fragmentation in the Brazilian Amazon. *Regional Environmental Change*, v. 16, p. 2485–2490, 2016.
 49. ASNER, G. P.; RUDEL, T. K.; AIDE, T. M.; DEFRIES, R. And Emerson, R. Contemporary Assessment of Change in Humid Tropical Forests. *Conservation Biology*, v. 23, p. 1386–1395, 2009.
 50. IBGE. *Área territorial oficial*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html>. Acesso em: nov. 2022.
 51. IBGE. *Mapas de Cobertura Vegetal dos Biomas Brasileiros*. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/component/k2/item/7626-mapas-de-cobertura-vegetal.html>. Acesso em nov. 2022.
 52. RITCHIE, Hannah; ROSER, Max; ROSADO, Pablo. *CO2 and Greenhouse Gas Emissions*. Our World in Data. 2020.
 53. AR6 Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change — IPCC. Acesso em jul. 2023.
 54. The Evidence is Clear: the time for action is now. We can halve emissions by 2030. IPCC. Acesso em abr. 2022.
 55. OLIVEIRA, B. F. A; BOTTINO, M. J.; NOBRE, P. *et al.* Deforestation and climate change are projected to increase heat stress risk in the Brazilian Amazon. *Communications Earth & Environment*, v. 2, p. 207, 2021.

Figuras

- A LAVOURA. Pesquisadores tentam conectar áreas separadas da Mata Atlântica. 04/02/2020. Disponível em: <https://alavoura.com.br/meio-ambiente/protacao-ambiental/pesquisadores-tentam-conectar-areas-separadas-da-mata-atlantica/> Acesso em: out. 2024.
- AGÊNCIA CENARIUM. Justiça volta atras e permite abertura de comportas em Usina Hidrelétrica de Balbina no AM. Publicado em: 12 de abril de 2022. Disponível em: <https://agenciacenarium.com.br/justica-volta-atras-e-permite-abertura-de-comportas-em-usina-hidreletrica-de-balbina-no-am/> Acesso em: out. 2024.
- BEREITER, B.; EGGLESTON, S.; SCHMITT, J.; NEHR-BASS-AHLES, C.; STOCKER, T. F.; FISCHER, H.; KIPFS-TUHL, S.; CHAPPELLAZ, J. Revision of the EPICA Dome C CO2 record from 800 to 600 kyr before present. *Geophysics Research Letters*, v. 42, p. 542–549, 2015.
- GONÇALVES, Eduardo. BR-319: a polêmica pavimentação da rodovia que corta a Amazônia. Veja, 26 de fevereiro de 2021. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/brasil/br-319-a-polemica-pavimentacao-da-rodovia-que-corta-a-amazonia>. Acesso em: out. 2024.
- PARRENIN, F.; MASSON-DELMOTTE, V.; KÖHLER, P.; RAYNAUD, D.; PAILLARD, D.; SCHWANDER, J.; BARBANTE, C.; LANDAIS, A.; WEGNER, A.; JOUZEL, J. Synchronous Change of Atmospheric CO2 and Antarctic Temperature During the Last Deglacial Warming. *Science*, v. 339, p. 1060–1063, 2013.
- SIMMONS, B. *Trade and Territorial Conflict in Latin America: International Borders as Institutions*. In: Territoriality and Conflict in an Era of Globalization, ed. Miles Kahler and Barbara F. Walter, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2006. P. 251–287.
- SNYDER, C. W. Evolution of global temperature over the past two million years. *Nature*, v. 538, p. 226–228, 2016.



Capítulo 2: Uma Breve História de Paragominas e do Consórcio BRC

Rafael Leandro de Assis, João Batista Sena Costa, Luiz Saturnino e Emília Zoppas de Albuquerque

O município de Paragominas no Pará

Paragominas é um município pertencente à região nordeste do Pará (Amazônia Oriental), a cerca de 300 km de Belém. Possui uma área total de aproximadamente 20.000 km² e uma população de cerca de 105.000 habitantes (densidade populacional: 5,5 hab./km²)¹. O relevo apresenta tabuleiros relativamente altos e planos (planaltos), com escarpas, tabuleiros baixos (planícies), e várzea¹ (Figura 1).

O município está inserido no bioma amazônico, cuja vegetação original é Floresta Ombrófila Densa (mais detalhes da vegetação no capítulo 3), em um mosaico que apresenta grandes porções de florestas secundárias e áreas antropizadas (agricultura, mineração, terras degradadas)². Atualmente, possui

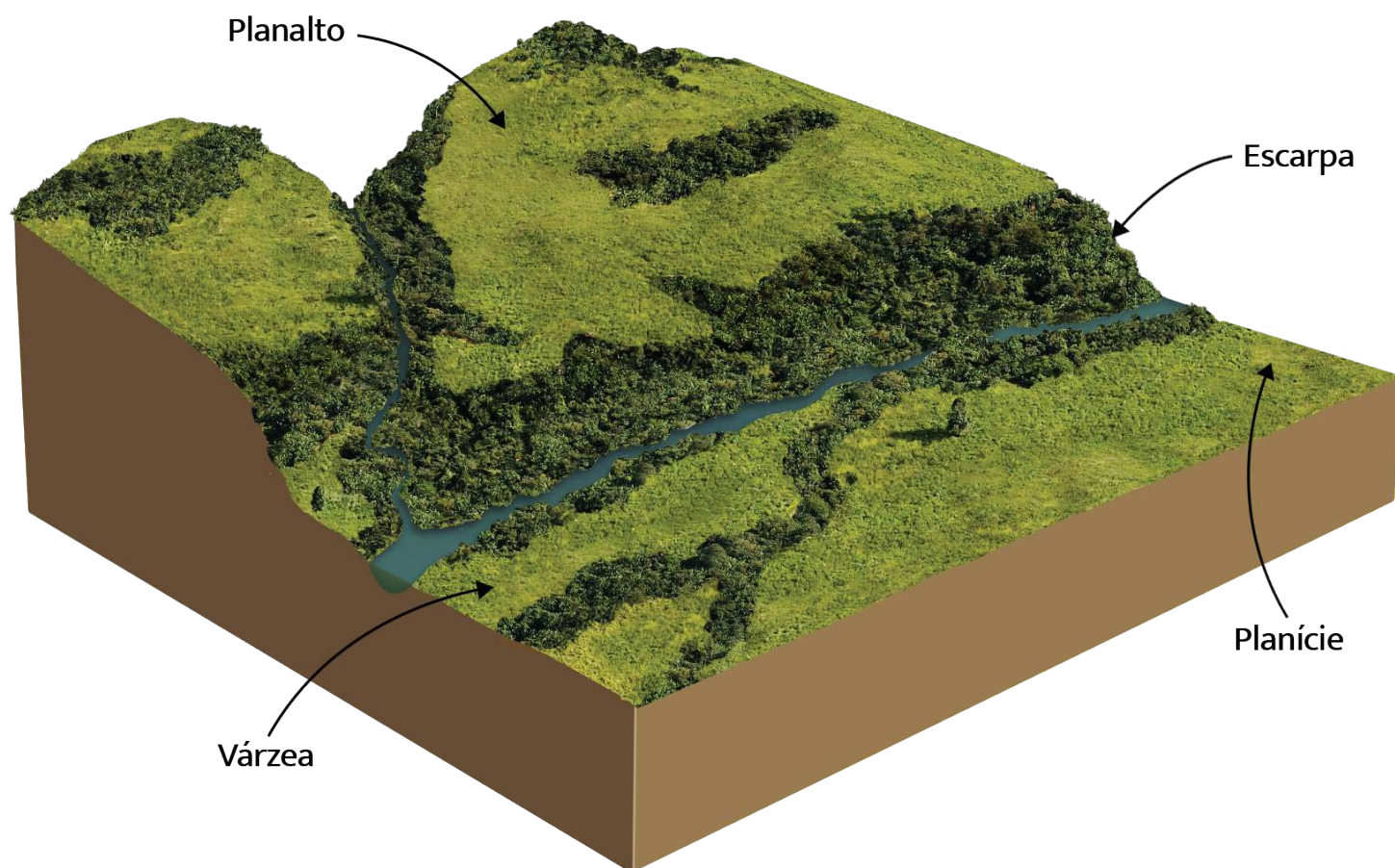
55% de sua área com cobertura florestal, sendo 10% representado por florestas secundárias. Pastagens e agricultura correspondem respectivamente a 20% e 2% da área do município; a área urbana ocupa 0,1% do total, enquanto a mineração representa apenas 0,01%. O município ainda possui cerca de 5% da área ocupada por reservas indígenas³.

A história recente de Paragominas começa em meados do século 20, mais precisamente entre as décadas de 1960 e 1970. Esse período é marcado pelo avanço da fronteira agrícola na Amazônia, impulsionada principalmente pela iniciativa de integração nacional, que incentivou o desmatamento para a produção de bens na região.

A primeira geração de colonos chegou na década de 1960, com a construção da Rodovia Belém-Brasília. Assim, migrantes das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país que se mudaram para a região fundaram a cidade em 1965 (Figura 2). A agricultura de pequena escala, principalmente arroz, foi a primeira atividade implantada⁴.

No final da década de 1960, o governo brasileiro oferecia um conjunto de facilidades e benefícios para o desenvolvimento da região Norte. Isso promoveu a expansão da atividade pecuária

▼ Figura 1 - Relevo com as principais formações ocorrentes em Paragominas.



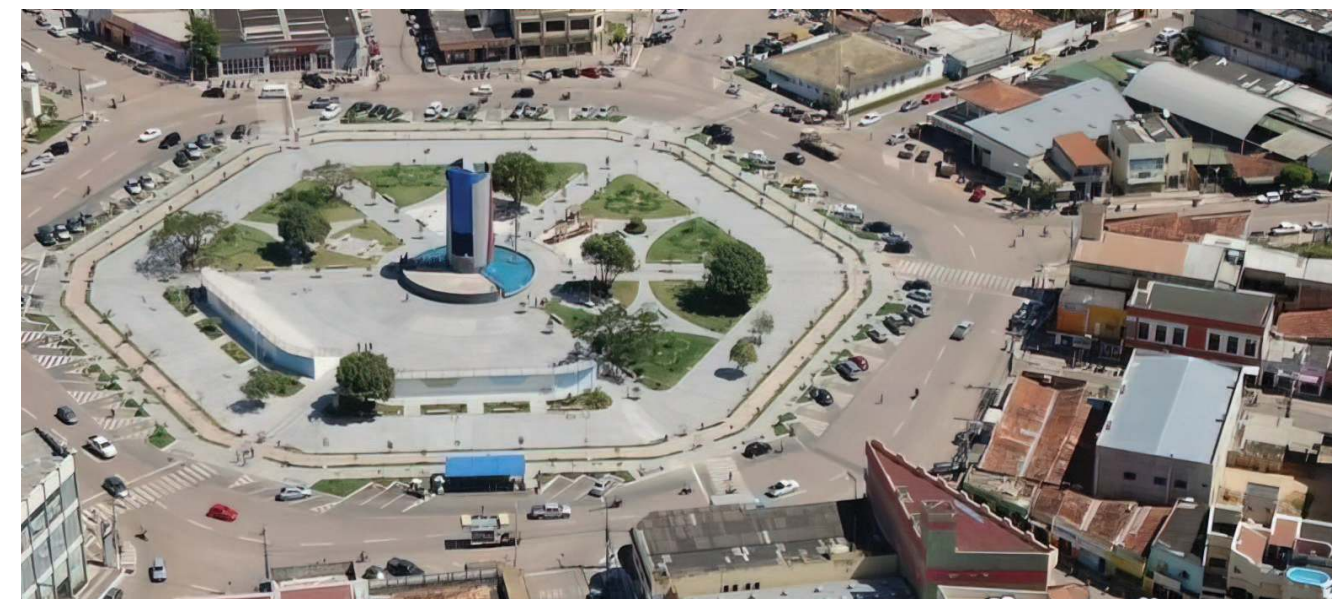
em Paragominas, tornando-se um grande produtor de gado no Pará no período entre 1983 e 1992⁴. Ao mesmo tempo, desenvolveu-se a exploração madeireira de grande escala. Até o início da década de 1970, apenas espécies madeireiras de alto valor comercial eram exploradas, tendo pouco impacto na estrutura da floresta. A percepção da floresta como um estoque de recursos de alto valor econômico só começou a acontecer em Parago-

minas na década de 1980, devido à redução dos incentivos à pecuária e ao declínio da fertilidade das áreas de pastagem. Por conseguinte, a exploração de madeira nativa apresentou-se como uma alternativa para gerar rendimento e para financiar a atividade pecuária. O desmatamento foi então incentivado, e o negócio altamente lucrativo contribuiu para a consolidação da frente madeireira no município. Em 1990, a região abrigava mais de 230

madeiras, das quais 137 serrarias dentro dos limites do município. Isso fez da região de Paragominas o maior polo produtor de madeira do Brasil, sendo sua maioria explorada ilegalmente. Assim, o negócio da pecuária foi sendo gradualmente substituído pela atividade madeireira como a principal atividade econômica do município^{5,6}.

O impacto que essas atividades tiveram no meio ambiente foi

▼ Figura 2 - Cidade de Paragominas ao longo de 60 anos. Acima, praça principal Célio Miranda (antiga praça Três Corações), em 2022; abaixo, gado em Paragominas, e a cidade na década de 1960-1970. Fotos: Flickr e IBGE.



imenso. Até 2008, Paragominas tinha uma área total desmatada de 878 mil hectares, o que corresponde a 45% da área do município. Cerca de 90% desse desmatamento ocorreu entre as décadas de 1970 e 1990, período em que a pecuária e

a exploração madeireira atingiram seu pico (Figura 3). Consequentemente, a região passou a enfrentar graves impactos socioambientais, como redução do potencial produtivo dos solos, erradicação de ecossistemas e perda de biodiver-

sidade, poluição e assoreamento de rios, perturbação das comunidades locais, baixa qualidade de vida da população local, destruição e aculturação de povos indígenas, conflitos de fronteira, aumento do tráfico de drogas etc.^{4,7}.



▲ Figura 3 - Exemplos de áreas desmatadas na região de Paragominas. Acima, pastagens e áreas de floresta sendo desmatadas; abaixo, ação das madeireiras na região.

Além disso, com o aumento da violência no campo, Paragominas foi incluída em janeiro de 2008 na lista do Ministério do Meio Ambiente (MMA) como um dos municípios que mais desmatavam a Amazônia, ocupando a 33ª posição da lista (Tabela 1). Não foi apenas uma vergonha para a cidade, mas a situação causou impacto real na economia local: municípios na lista dos maiores desmatadores eram penalizados com restrições de crédito e barreiras para comercializar produtos. Foi preciso não apenas conter o desmatamento imediatamente, mas também gerar riqueza de forma mais sustentável. Dessa forma, a consciência ambiental tornou-se uma obrigação e, gradativamente, pressões políticas e econômicas formalizaram leis de proteção às florestas nativas⁸.

Para atingir tal objetivo, a prefeitura local, em conjunto com organizações não governamentais

(ONGs), empresas, sindicatos e moradores, propôs a criação do Programa Município Verde (PMV) (Quadro 1). Este programa tinha como meta principal promover um novo tipo de economia mais sustentável, sem recursos do desmatamento, sem uso de mão de obra escrava ou infantil, e que também se comprometia com o reflorestamento de 10.000 árvores por ano. Diversas ações foram implementadas, como monitoramento mensal do desmatamento, pesquisa técnico-científica, implantação de micro-zoneamento de propriedades rurais, disseminação da educação ambiental, capacitação de mão de obra local para monitoramento e gestão ambiental, e fiscalização ambiental^{7,8}.

O resultado veio rápido. No primeiro ano, o desmatamento caiu em torno de 90%, e o número de imóveis rurais cadastrados no programa atingiu 80%. Em dois anos, Paragominas saiu da lista dos

maiores desmatadores do MMA e voltou a ter acesso ao crédito para a produção rural. Hoje, o município tem mais da metade de seu território coberto por floresta¹, e aumentou consideravelmente sua produtividade com o manejo sustentável da cultura de grãos e da pecuária. O PMV tornou-se exemplo nacional de programa de redução do desmatamento, estimulando modelos produtivos sustentáveis baseados no apoio ao manejo múltiplo de florestas nativas (como produção de produtos florestais não madeireiros e pagamentos por serviços ambientais), pecuária verde (intensificação da produtividade agrícola sem aumento de área destinada à pastagem) e agroflorestal (reflorestamento para fins econômicos). É também um grande exemplo de sucesso de parcerias entre poder local e sociedade civil, ONGs, setor empresarial e produtores rurais^{4,9}.

Lista de municípios prioritários para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento na Amazônia em 2008*	
I - Amazonas: Lábrea;	
II - Mato Grosso: Alta Floresta, Aripuanã, Brasnorte, Colniza, Confresa, Cotriguaçu, Gaúcha do Norte, Juara, Juína, Marcelândia, Nova Bandeirantes, Nova Maringá, Nova Ubiratã, Paranaíta, Peixoto de Azevedo, Porto dos Gaúchos, Querência, São Félix do Araguaia, Vila Rica;	
III - Pará: Altamira, Brasil Novo, Cumaru do Norte, Dom Eliseu, Novo Progresso, Novo Repartimento, Paragominas , Rondon do Pará, Santa Maria das Barreiras, Santana do Araguaia, São Félix do Xingú, Ulianópolis; e	
IV - Rondônia: Nova Mamoré, Porto Velho, Machadinho D'Oeste, Pimenta Bueno.	

* Republicada por ter saído, no DOU de 25.01.2008, Seção 1, pág. 70, com incorreção no original.

Quadro 1 - Programa Município Verde em Paragominas

O que é um município verde?

Um município verde desenvolve atividades produtivas sustentáveis com baixa emissão de carbono e alta responsabilidade social e ambiental. Todo município pode se tornar verde, mesmo que ele não faça parte da lista de municípios prioritários no combate ao desmatamento.

O que deve ser feito para se tornar um município verde?

Para ser um município verde é preciso reduzir o desmatamento, cumprir com a legislação social e ambiental e incentivar a recuperação de áreas degradadas, a intensificação do uso de áreas já abertas (melhoramento da produtividade agropecuária) e o manejo de floresta nativa.

As principais ações para se tornar um município verde são:

- **Redução do desmatamento:** conter o desmatamento de áreas florestadas e estimular sua conservação;
- **Regularização ambiental:** estimular os produtores rurais a cumprir as exigências legais ambientais (Cadastro Ambiental Rural - CAR, Licenciamento Ambiental Rural - LAR e, se for o caso, o Plano de Recuperação de Área Degradada - PRAD);
- **Regularização fundiária:** estimular a legalização da terra (título ou concessão e Certificado de Cadastro do Imóvel Rural - CCIR);

- **Reflorestamento e recuperação de áreas degradadas:** incentivar o uso de madeira reflorestada na produção de carvão vegetal e o uso de áreas já degradadas para o reflorestamento. Além disso, promover a recuperação de áreas degradadas em propriedades rurais (recomposição de Área de Preservação Permanente - APP e de Área de Reserva Legal - ARL) através de espécies nativas;
- **Adoção de boas práticas agropecuárias:** promover a adoção de boas práticas agropecuárias e intensificar o uso de áreas já abertas, buscando melhor produtividade;
- **Manejo florestal:** estimular a adoção de manejo florestal de alta qualidade técnica;
- **Economia de baixo carbono e manutenção da biodiversidade:** reduzir as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) e manter a diversidade de espécies animais e vegetais. As ações já citadas contribuem para esta ação, como a redução do desmatamento, e a manutenção da biodiversidade via restauração e/ou do controle da exploração florestal;
- **Gestão municipal de meio ambiente estruturada e transparente:** capacitar o órgão municipal de meio ambiente com infraestrutura e pessoal habilitado, e garantir a transparência na sua atuação. Esta ação contribui para o desenvolvimento das ações listadas acima.

Dados extraído de Guimarães *et al.* 2011 (Imazon) e Prefeitura Municipal de Paragominas (www.paragominas.pa.gov.br).

O legado do Programa Município Verde para Paragominas e para o Brasil

Além de sair da lista de desmatadores, as ações do PMV transformaram Paragominas em uma referência em boas práticas ambientais. O então prefeito, Adnan Demachki, foi reconhecido como uma das 100 pessoas mais influentes do Brasil, por mostrar o caminho para combater o desmatamento. Devido às boas práticas

ambientais, os produtores rurais de Paragominas receberam linhas de crédito específicas dos bancos. O projeto desenvolvido em Paragominas se tornou uma política de Estado, sendo adotado por outros municípios paraenses.

Paragominas também implementou uma legislação ambiental avançada,

alinhada com as melhores práticas, incluindo o pagamento por serviços ambientais. O sucesso do Pacto Contra o Desmatamento foi tão grande que, em 2011, a prefeitura convocou novamente os produtores rurais do município para assinar um novo pacto, desta vez focado na produção de origem legal e sustentável.

História das paisagens em Paragominas

Conhecer a história da paisagem de uma região é essencial para entendermos como a paisagem se formou e evoluiu ao longo do tempo. Esse conhecimento pode indicar, por exemplo, a presença de recursos minerais em uma determinada área e a melhor forma de extraí-los com segurança. Além disso, entender a evolução das paisagens ajuda a prever e mitigar impactos ambientais, como erosão e contaminação de rios, garantindo que a exploração mineral seja sustentável e cause o mínimo de dano ao ecossistema. Assim, esse conhecimento é vital para equilibrar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental e a proteção das comunidades locais.

A história das principais paisagens atuais da região do Estado do Pará ocorreu no Cenozoico – período geológico mais recente iniciado há 65 milhões de anos (Ma), após a extinção dos dinossauros, e caracterizado pela formação das grandes cadeias montanhosas na superfície da Terra. Esse período, coincide com a intensificação da Deriva Continental (teoria que explica a formação e a movimentação dos continentes e do assoalho oceânico na crosta terrestre), a partir do início do Paleógeno (cerca de 55 Ma), quando a placa da América do Sul se deslocou quase 1.000 km para a direção norte e a região amazônica passou a ocupar a parte central da zona tropical equatorial. Em vasta região do Estado do Pará, as temperaturas médias subiram e as taxas de precipitação pluviométrica aumentaram, de modo que as novas condições ambientais passaram a responder pelo desenvolvimento de espessa camada de solo decorrente da alteração química das rochas. A incidência de tais condições climáticas em áreas dominadas por densa floresta tropical ocasionou a formação dos depósitos de bauxita do platô Miltônia, situados

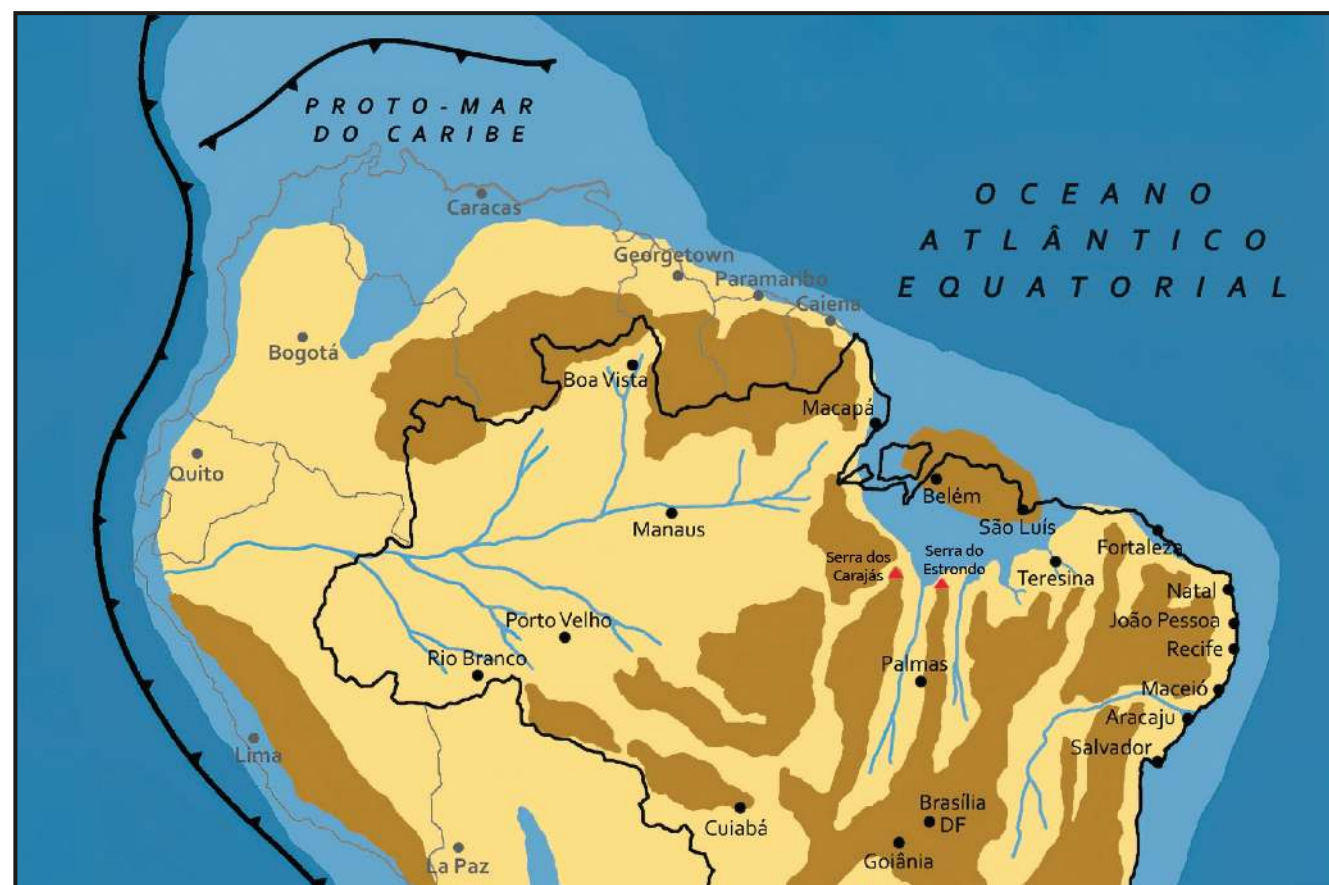


▲ Figura 4 - Paisagem da região nordeste do Pará entre o final do Paleógeno e início do Neógeno, quando o oceano Atlântico Equatorial adquiriu sua configuração atual, e se desenvolveu a Serra do Tiracambu. Notar a posição aproximada do município de Paragominas, onde os depósitos de bauxita foram soerguidos e passam a se destacar na paisagem sob a forma de platôs separados por amplos vales fluviais.

a sudoeste da cidade de Paragominas, que são explorados atualmente pela Mineração Paragominas S.A. (MPSA).

Na passagem do Paleógeno para o Neógeno, por volta de 34 Ma, o oceano Atlântico Equatorial adquiriu a configuração que se conhece atualmente, e na paisagem da região nordeste do Pará se desenvolveu a serra do Tiracambu (Figura 4). A partir dessa época, os depósitos de bauxita do município de Paragominas foram soerguidos e passaram a se destacar na paisagem sob a forma de platôs com altitudes entre 80 e 100 m, separando amplos vales fluviais.

A origem dessas reservas de bauxita coincide com a mudança na configuração hidrográfica no nordeste do Pará, que acaba tendo influência na geomorfologia de boa parte do Estado. Na região oriental do Pará, as serras do Estrondo e dos Carajás passaram a se destacar na paisagem devido ao soerguimento de maciços rochosos que se estendiam desde o Planalto Central do Brasil até as proximidades do litoral norte. Os rios com fluxo para o oceano Atlântico, sob condições de clima quente e úmido, iniciaram o processo de modelagem dessas serras, ao mesmo tempo em que a floresta tropical começou a dominar a paisagem. O



▲ Figura 5 - Mapa paleogeográfico correspondente ao período entre 66-55 Ma. Legenda: azul claro: mares rasos; marrom: sistemas de serras; amarelo: áreas planas; traços azuis: bacias hidrográficas; triângulos vermelhos: Serra dos Carajás e Serra do Estrondo.

mapa da Figura 5 mostra os principais elementos da paisagem dessa época. As entradas do mar para o interior do continente também se tornaram mais frequentes nessa época, em consequência da alternância de vários “pulsos” de subida e descida do nível do mar. É quando o mar avança pelas depressões da área litorânea que se forma uma ampla laguna nas regiões nordeste do Pará e noroeste do Maranhão, limitada a sul pelas serras dos Carajás e do Estrondo (Figura 5).

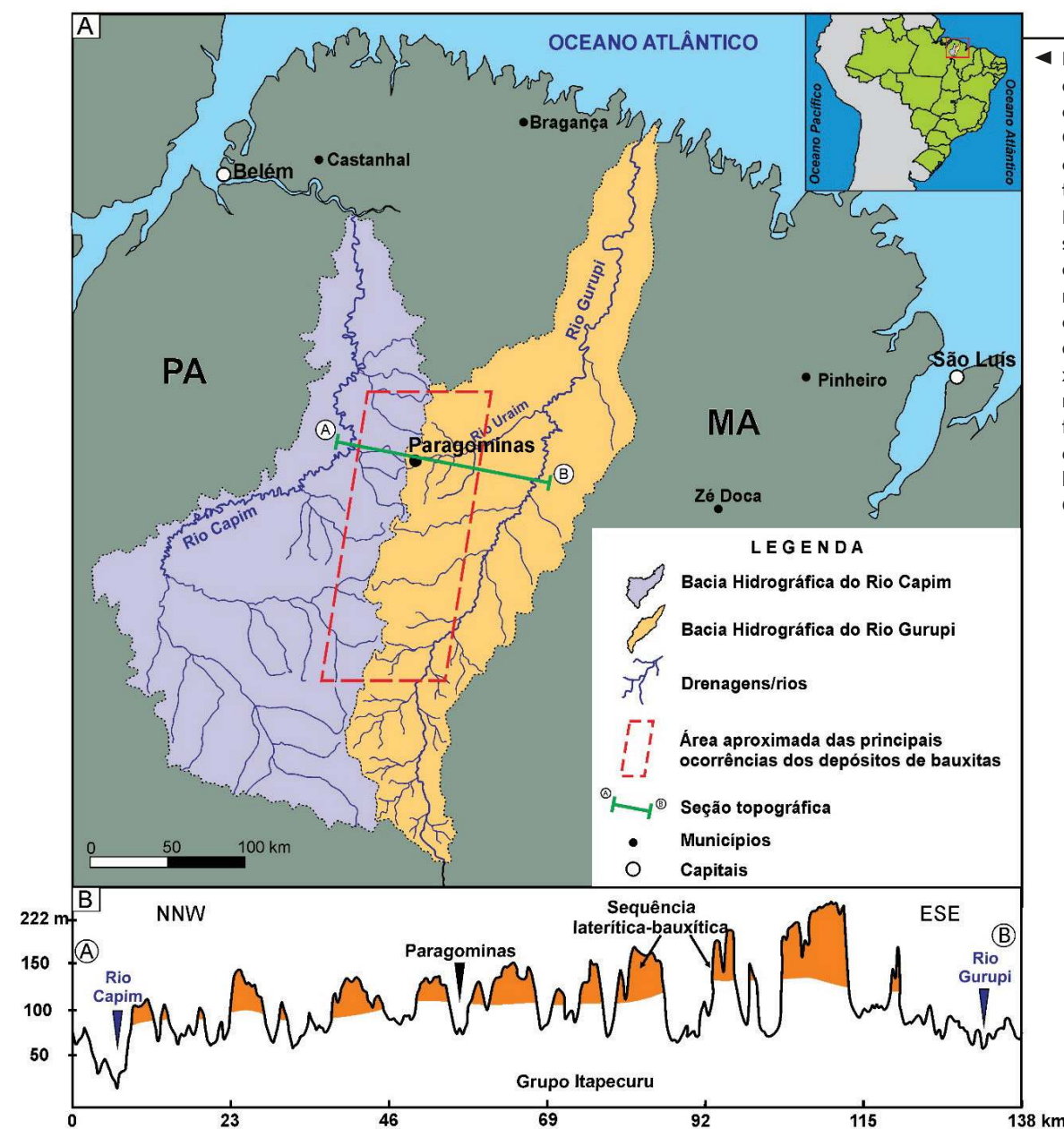
Quando o nível do mar começou a baixar, as bacias hidrográficas se ampliaram e a extensa laguna foi sendo transformada em paisagens dominadas por numerosos lagos e rios meandantes, com vastas planícies de inundação associadas. Começou, assim, a se configurar as bacias hidrográficas ancestrais

do Xingu, Tocantins e Araguaia, com nascentes na região central do Brasil. Os rios foram desgastando as serras e transportando sedimentos para o interior da laguna, que foi sendo gradativamente assoreada. Com o recuo da linha de costa, a paisagem passou a ser caracterizada por amplos sistemas hidrográficos, formados por extensos rios que deságuam diretamente no oceano Atlântico. Os sedimentos originados pela ação das correntes marinhas e dos rios foram transformados nas rochas sedimentares que compõem o substrato do município de Paragominas e áreas adjacentes. Ao mesmo tempo, a temperatura global do planeta se elevou devido à liberação de grande quantidade de metano para a atmosfera. O regime de temperaturas elevadas e taxas altas de precipitação pluviométrica se mantiveram por quase 30 milhões

de anos, e favoreceram a alteração química das rochas, resultando na formação de uma espessa capa de solo sobre os maciços rochosos ao longo de toda a região Amazônica. O clima quente e úmido, e o índice de precipitação pluviométrica elevado, aceleraram a modelagem das serras pela rede de rios. Assim, o relevo no Pará começou a adquirir a configuração atual.

Esse processo de alteração química das rochas, conhecido como intemperismo químico, originou vários depósitos de ferro, caulim, bauxita e fosfato em diversos locais da Amazônia, principalmente nos estados do Pará, Amapá e Amazonas. Alguns desses depósitos de ferro, caulim e bauxita que ocorrem no Estado do Pará estão sendo explorados atualmente e constituem parte importante da economia da Amazônia Oriental.

Mineração em Paragominas



▲ Figura 6 - Acima, mapa das bacias hidrográficas dos rios Capim e Gurupi, onde ocorrem os principais depósitos de bauxita em Paragominas; abaixo, seção topográfica esquemática regional mostrando a distribuição geográfica da sequência laterítica-bauxítica concentrada no topo dos platôs, formando o divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios Capim e Gurupi.

Os depósitos de bauxita em Paragominas estão entre os mais importantes do país, com potencial de dois bilhões de minério metalúrgico, correspondendo a aproximadamente 60% das reservas brasileiras de alumínio. Estão distribuídos geograficamente ao longo do divisor que separa as bacias hidrográficas do Capim e do Gurupi, onde se destacam na paisagem os platôs susten-

tados por rochas sedimentares (Figura 6).

A bauxita, matéria-prima do alumínio, não é um mineral. É uma rocha de coloração avermelhada, composta principalmente por minerais do elemento químico alumínio (Al), contendo mais de 40% da substância alumina, também conhecida como óxido de alumínio (Al_2O_3). A maior parte

da extração mundial de bauxita, aproximadamente 85%, é usada como matéria-prima destinada à indústria do alumínio metálico¹⁰. No Brasil, a bauxita é encontrada principalmente na Amazônia, nos estados do Pará e Amapá, e em Minas Gerais. O Brasil é um dos principais produtores de alumina do mundo, sendo considerado o terceiro país no ranking mundial de produção¹¹ (Quadro 2).

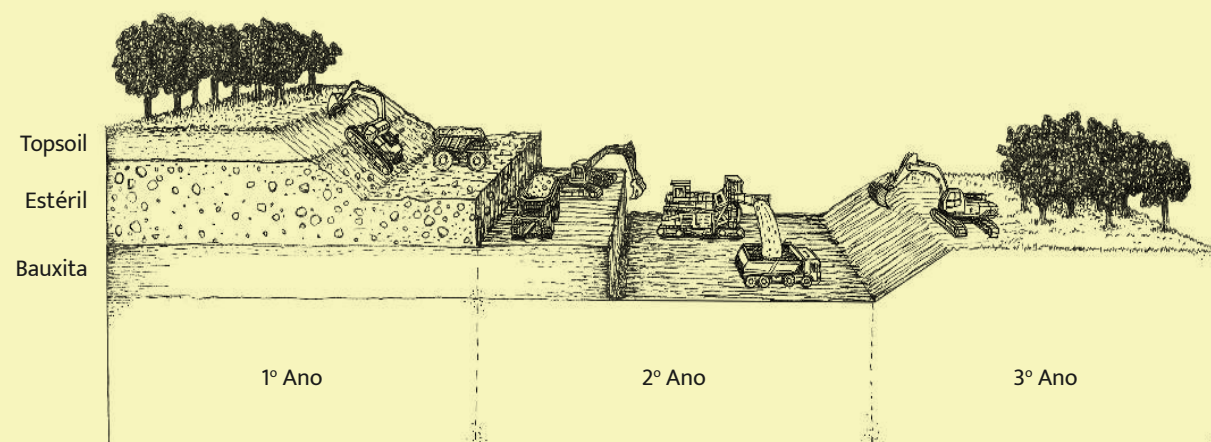
Quadro 2 - Origem e processo de mineração da bauxita

A bauxita na região de Paragominas teve sua origem no período compreendido entre meados do Cretáceo e o final do Terciário, entre 2 e 100 Ma (milhões de anos atrás). Formou-se quando fortes chuvas tropicais causaram intemperismo intenso do solo e das rochas abaixo. Este desgaste fez com que elementos relativamente móveis, como cálcio, sódio, potássio e magnésio, fossem lavados, enquanto os metais imóveis, incluindo alumínio, ferro, titânio e zircônio, permanecessem diluídos. Portanto, a constituição geológica relativamente antiga de Paragominas, aliada ao clima tropical com muitas chuvas, criaram as condições ideais para a formação do importante mineral para a região^{12,13}.

Como ocorre o processo de extração da bauxita nos solos? Organizado em faixas sequenciais ou “tiras”, o processo de extração da lava a céu aberto inicia com a supressão (remoção) da vegetação e do solo orgânico (*topsoil*) (Figura 7). Na sequência são removidas as camadas de material laterítico e argiloso, da qual finalmente é extraída a camada de bauxita. A profundidade da camada onde a bauxita se encontra

pode variar de acordo com as características locais. A bauxita extraída é então transportada para uma planta de beneficiamento, onde é triturada e lavada para remover a argila, gerando uma polpa de bauxita. Seguindo a cadeia de produção do alumínio, a polpa de bauxita é então submetida ao processo de refino, que envolve a mistura do minério com soda cáustica e cal, aquecimento e filtração para obter a alumina (Al_2O_3) em forma de pó branco. Finalmente, a alumina é submetida ao processo de eletrólise para produzir alumínio metálico.

O principal impacto ambiental da extração de bauxita no Brasil é a degradação das áreas de floresta tropical, que são removidas para abrir espaço para as minas. Além disso, o processo de refino gera resíduos tóxicos, como a lama vermelha, que, se mal geridos, podem contaminar o solo e os cursos d'água, afetando a biodiversidade local e as comunidades humanas. A restauração das áreas mineradas e a gestão adequada dos resíduos são grandes desafios para minimizar os impactos ambientais dessa atividade.



▲ Figura 7 - Infográfico ilustrando o processo de extração da bauxita. Ano 1: supressão florestal e início da lava; ano 2: extração atinge as camadas onde a bauxita está depositada; ano 3: fechamento da lava e restauração florestal. Fonte: Mineração Paragominas S.A.

A zona de bauxita em Paragominas abrange pelo menos 1.000 km², com uma espessura média de cerca de dois metros, e recursos estimados em mais de 1 bilhão de toneladas de bauxita (1 Gt). A empresa Companhia Vale do Rio Doce iniciou as operações de mineração nesta área em 2007,

com capacidade de 5,4 milhões de toneladas por ano. Ainda em 2007, eles iniciaram a construção de um mineroduto de 244 km, que liga o minério extraído em Paragominas à Alunorte, refinaria em Barcarena, Pará. Em 2011, a Vale anunciou a venda da mineradora de Paragominas e, também, da refinaria

da Alunorte em Barcarena para a empresa norueguesa Norsk Hydro (Figura 8). Hoje, a Hydro detém 100% das ações da Mineração Paragominas S.A. (MPSA), que movimenta uma produção de cerca de 16 milhões de toneladas de minério por ano, 11,4 milhões de toneladas de bauxita^{12,13}.



▲ Figura 8 - Acima, vista aérea da área da Mineração Paragominas S.A.; abaixo, vista aérea da refinaria da Alunorte em Barcarena. Fotos: banco de imagens da Hydro.

A empresa Hydro e as iniciativas para minimizar a pegada ambiental

A Norsk Hydro ASA é uma empresa norueguesa de alumínio e energia renovável, com sede em Oslo (Noruega). É uma das maiores empresas de alumínio do mundo, com 35.000 funcionários e operações em 40 países em todos os continentes. Tendo o governo norueguês como principal acionário, a Hydro é fortemente influenciada pelas políticas e estratégias governamentais norueguesas. Isso inclui o compromisso de minimizar a pegada ambiental, gerenciando proativamente seus impactos sobre a biodiversidade e promovendo a gestão eficiente de recursos em suas operações. Além disso, a empresa tem em mente que seus clientes, acionistas e a comunidade em geral têm se tornado cada vez mais exigentes quanto às questões ambientais envolvidas nas atividades de mineração, como danos à biodiversidade, ecossistemas e espécies ameaçadas. A missão é portanto conceber uma empresa cada vez mais sustentável, explorando recursos naturais e produtos de forma inovadora e eficiente. As principais estratégias ambientais definidas pela Hydro para suas operações em Paragominas envolvem a extração mineral

"Sem Perda Líquida da Biodiversidade (NNLB – *no net loss of biodiversity*)" e a redução na emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE).

"Sem Perda Líquida da Biodiversidade" significa que a conservação e restauração dos locais afetados são a maior prioridade. Na prática, implica que os grupos biológicos em nível intraespecífico, de espécie e de comunidade sejam mantidos, restaurados ou compensados em conexão com processos industriais ou ações que influenciem a natureza. Todas as áreas influenciadas devem ser incluídas (assim como os impactos negativos causados por estradas, dutos, fornecimento de energia etc.). A restauração deve ser feita em relação aos danos no local, enquanto a compensação em áreas de biodiversidade semelhantes pode ser aplicada. Neste caso, deve-se considerar áreas com biodiversidade equivalente, assim como as funções e serviços ecossistêmicos. As compensações estão, portanto, vinculadas à extensão dos esforços de mitigação e restauração. O objetivo ideal é manter a ligação entre os serviços de biodiversidade/ecossistemas e do

bem-estar na região, da recuperação da área impactada ao estado mais próximo do original.

De acordo com a Convenção - Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC - *United Nations Framework Convention on Climate Change*) realizada no Rio de Janeiro em 1992, existe hoje um trabalho substancial de iniciativas políticas para reduzir o efeito estufa causado pela mudança no uso da terra, que contribui com aproximadamente 15-20% das emissões globais. Neste contexto, a Noruega tem tido um papel de liderança para a proteção das florestas tropicais da América do Sul (por exemplo, o Fundo Amazônia). Nos passos dessa iniciativa, um novo instrumento de combate às mudanças climáticas é também importante para a Hydro. Quando este objetivo é definido em uma esfera operacional de mineração, ele poderia funcionar de forma semelhante ao *No Net Loss*: uso de programa de reabilitação e indução da regeneração para compensar o sumidouro de carbono do ciclo de mineração. Isso pode levar a um ganho líquido de carbono e fornecer uma oportunidade para



▲ Figura 9 - Programa de Restauração Florestal da MPSA. Da esquerda para a direita: método de nucleação; reflorestamento induzido por meio do plantio de mudas de espécies nativas; método de indução da regeneração natural. Fotos: banco de imagens do BRC.



▲ Figura 10 - Programa de Monitoramento da Fauna Silvestre na MPSA. De cima para baixo, da esquerda para a direita: armadilha live trap do tipo *tomahawk*; armadilha de interceptação e queda (*pitfall*); espécime marcado com brinco numerado após a captura na armadilha de interceptação e queda; ararajuba (*Guaruba guarouba*), espécie ameaçada; tatu-canastra (*Cabassous tatouay*); veado-mateiro (*Mazama americana*); piaba (*Moenkhausia cf. colletii*); gavião-real (*Harpia harpyja*), registrado em encontros ocasionais. Fonte: Terra Meio Ambiente Consultoria Ambiental (Relatório entregue à Hydro).

a mineração dar uma contribuição importante para o desafio das mudanças climáticas, juntamente com a recuperação da biodiversidade em escala local.

Para atingir esses objetivos, a MPSA desenvolveu seu próprio plano de reabilitação. O objetivo é manter/recuperar as áreas mineradas o mais próximo possível das características originais da região (estrutura florestal e biodiversidade). Este plano inclui o desenvolvimento de áreas "tampão" para proteger as necessidades da vida selvagem adjacentes à mineração. O plano de reabilitação está dividido em dois programas principais: Restauração Florestal e Monitoramento da Fauna Silvestre.

O Programa de Restauração Florestal da MPSA ocorre em uma área de aproximadamente 3.500 ha e atualmente é realizado via três métodos: nucleação, plantio de mudas de espécies nativas e indução da regeneração natural (Figura 9). Enquanto a indução da regeneração natural é a recuperação espontânea das espécies arbóreas nativas que colonizam os talhões, o reflorestamento induzido é um processo ativo que envolve o plantio de mudas (mais detalhes sobre recuperação vegetal em áreas degradadas no capítulo 3). Tanto o reflorestamento quanto a indução da regeneração natural ocorrem concomitantemente e são indissociáveis, e envolvem a incorporação da camada superficial do solo das áreas mineradas (*topsoil*). O reflorestamento consiste nas seguintes fases:

Inventário florestal e referência fitossociológica: caracterização científica detalhada da composição e estrutura florística das florestas da região de influência da MPSA.

Seleção de espécies: espécies chave devem ser priorizadas, principalmente aquelas que atraem animais selvagens, em perigo de

extinção, espécies endêmicas, e aquelas de valor econômico e que fornecem produtos florestais não madeireiros (como fibras, frutas, remédios, corantes, essências aromáticas etc.)¹⁴.

Estágio sucessional: classificação do estágio sucessional das espécies selecionadas para plantios florestais (pleno sol ou sombra).

Produção de mudas em viveiros: coleta de sementes, definição de substrato, tipo de recipiente (frasco, saco plástico). É necessária uma adaptação para permitir que as mudas sejam aclimatadas às condições de campo um mês antes de serem encaminhadas para o plantio permanente. A aclimação deve considerar o estágio sucessional a que pertence a espécie de muda.

Preparação da área: é fundamental que as operações se responsabilizem pela preparação das áreas prontas para o replantio. Exemplos de preparações são restauração topográfica, incorporação de solo superficial, escarificação do solo e outras operações necessárias na área antes do plantio.

Plantio: verificação da qualidade e quantidade da camada superficial do solo, calagem, adubação, organização da distribuição espacial das espécies no plantio, replantio, combate às formigas etc.

Monitoramento: acompanhamento do desenvolvimento das mudas, incluindo novos plantios para reparar a mortalidade, a regeneração sucessional de árvores, fauna e solo.

O Programa de Monitoramento de Fauna Silvestre envolve atividades específicas para a conservação/restauração da vida selvagem. Uma delas é a rotina de remoção e afugentamento de animais silvestres das áreas selecionadas para o corte raso da vegetação antes

da mineração. A área conta ainda com instalações especializadas para cuidar de animais doentes ou feridos, com suporte veterinário para realizar primeiros socorros em animais que porventura sofreram algum tipo de injúria em decorrências das operações. Ainda quanto ao programa de monitoramento da fauna silvestre, a MPSA definiu que o entorno e as áreas não desmatadas devem atuar como um amortecedor ecológico estratégico. Há também uma iniciativa de cooperação com o município de Paragominas e proprietários de terras para estabelecer uma Infraestrutura de Reserva Legal e/ou áreas de amortecimento para que a vida selvagem possa retornar às áreas reflorestadas. Isso é reforçado pelo programa de monitoramento e levantamento da fauna promovida na área, realizado principalmente por meio de técnicas especializadas (Figura 10).

Além dos Programas de Restauração Florestal, de Monitoramento da Fauna Silvestre e de Monitoramento das áreas recuperadas, outros programas de controle e monitoramento ambiental são desenvolvidos. O Programa de Educação Ambiental (PEA), por exemplo, promove treinamento e sensibilização do público interno e externo à MPSA sobre temas de sustentabilidade e sobre os programas de gestão ambiental da MPSA, como os Planos de Gestão de Recursos Hídricos, de Resíduos Sólidos e de Emissões Atmosféricas. O sucesso do processo de reabilitação é resultado da cooperação entre as equipes de operações da mina e a equipe de meio ambiente, que juntam expertises multidisciplinares para a melhoria contínua do processo. A segunda inclui a divulgação de resultados de eventos científicos, publicações em revistas científicas e jornais e mídia eletrônica.

Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade Brasil-Noruega (BRC)



▲ Figura 11 - Imagens das cerimônias de assinatura do convênio do BRC. Da esquerda para a direita: assinatura do convênio do BRC em 2013; renovação em 2018; renovação do consórcio em 2023. Fotos: banco de imagens do BRC.

Em 2012, pouco depois de assumir as operações de alumínio da Vale no Pará, a Hydro propôs ao Museu de História Natural (NHM) da Universidade de Oslo uma parceria academia-empresa. O NHM ficou com a responsabilidade de facilitar a criação de uma cooperação em pesquisa com base nas recomendações do relatório técnico da Hydro “Programa de Reflorestamento e Vida Selvagem – Hydro Paragominas”¹². Em novembro de 2013, o Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade Brasil-Noruega (BRC) foi criado. Entre os parceiros do BRC, estão a Universidade Federal do Pará (UFPA), o Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), a Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), a Universidade de Oslo (UiO) e a Companhia Norueguesa de Mineração Hydro (Figura 11). Conforme definido no plano estratégico do consórcio, “o BRC é uma cooperação entre instituições científicas e a indústria que desenvolve pesquisa básica e aplicada sobre biodiversidade e mudanças climáticas, com o objetivo de melhorar nosso conhecimento dos processos ecológicos envolvendo o uso da terra, e identificar melhores práticas para a mitigação dos impactos humanos em ecossistemas tropicais”. Estão

entre as principais metas do consórcio aumentar a parceria universidade-indústria, fomentar projetos de pesquisa e publicações conjuntas, e fortalecer os programas de pós-graduação (mestrado e doutorado) das instituições parceiras.

O primeiro acordo entre as instituições parceiras do BRC durou cinco anos (2013-2018), sendo estendido por um novo período de cinco anos (terminando em 2023) e recentemente sendo renovado por mais um período de cinco anos (2023-2028) (Figura 11). Ao longo desses 12 anos de consórcio, o BRC apoiou 26 projetos de pesquisa abrangendo diferentes temas nas ciências ambientais. Entre eles, projetos de restauração florestal, biodiversidade de grupos de animais, como insetos, peixes, répteis e aves, efeitos das atividades de mineração na fauna e flora, impacto da mineração nas emissões de gases e na qualidade da água dos riachos, pesquisa com bioindicadores, inventários e monitoramento de grandes mamíferos, interações ecológicas, impacto e restauração do solo pós-mineração, entre outros. Apesar do consórcio ser relativamente recente, estudos conduzidos pelo BRC já renderam mais de sessenta artigos publicados

em revistas científicas nacionais e internacionais. Certamente, esses estudos serão muito importantes para um melhor entendimento das técnicas de restauração florestal e conservação ambiental de áreas influenciadas por mineração no Brasil e em outros lugares do mundo (Figura 12).

Por fim, e não menos importante, o BRC tem sido essencial para a formação de profissionais da área de ciências ambientais. Dezenas de pesquisadores e professores de diferentes instituições estão associados às pesquisas do BRC, consórcio que já contribuiu para a formação profissional de mais de uma centena de alunos, da graduação ao doutorado, de universidades tanto do Brasil quanto da Noruega. Nesse contexto, vários desses alunos tiveram a oportunidade de vivenciar parte de seus estudos no exterior, fortalecendo o programa de intercâmbio das instituições envolvidas no BRC. Isso destaca a importância do consórcio para os acadêmicos da região amazônica, bem como para todos que se importam com a conservação da maior floresta tropical do planeta (Figura 13).



▲ Figura 12 - Imagens de alguns projetos do Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade - BRC. De cima para baixo, da esquerda para a direita: biota aquática (libélula); biodiversidade, propagação de espécies vegetais e recuperação de áreas degradadas; diversidade de insetos – coleta de material com armadilhas Malaise; emissão de gases; monitoramento de mamíferos terrestres com armadilhas fotográficas; telemetria de onças; interações ecológicas. Fotos: banco de imagens do BRC.



▲ Figura 13 - Imagens acima e primeira abaixo, à esquerda: estudantes e professores na Floresta Nacional de Caxiuanã durante a primeira parte do Curso de Campo em Ecologia Tropical e Biodiversidade no Brasil; demais imagens: estudantes e professores na Noruega durante a segunda parte do curso no país. Fotos: banco de imagens do BRC.

Sugestões de leitura

- CALADO, W. M. *Gênese das Bauxitas Nodulares do Platô Miltônia-3, Paragominas, PA*. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) -, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 2017. 70 p.
- CONDIE, K. C.; SLOAN, R. E. *Origin and evolution of earth: Principles of historical geology*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice – Hall, 1981. 498p.
- GUIMARAES, J.; VERISSIMO, A.; AMARAL, P.; DEMACHKI, A. *Municípios Verdes: caminhos para a sustentabilidade*. Belém, PA: Imazon, 2011.
- KOTSCHOUBEY, B.; CALAF, J. M. C.; LOBATO, A. C. C.; AZEVEDO, C. H. D. 2005. Caracterização e Gênese dos depósitos de bauxita da Província Bauxitífera de Paragominas, Noroeste da Bacia de Grajaú, Nordeste do Pará/ Oeste do Maranhão. In: MARINI, Onildo João *et al.* (org.). *Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia*. Brasília, DF: DNPM-CT Mineral, ADIMB, p. 613-698.

Referências

- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Senso 2022*. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/paragominas.html>. Acesso em: fev. 2023.
- PINTO, A. *et al.* *Diagnóstico Socioeconômico e Florestal do Município de Paragominas*. Relatório Técnico. Belém / PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – Imazon, 2009.
- MATTOS, M. M.; UHL, C. Economic and ecological perspectives on ranching in the Eastern Amazon. *World Development*, v. 22, Issue 2, p. 145-158, 1994.
- STONE, S. W. Evolution of the Timber Industry Along an Aging Frontier: The Case of Paragominas (1990-95). *World Development*, v. 26, p. 433-448, 1998.
- DANTAS, T. M.; FONTELES, L. V. Avanço da fronteira agrícola na Amazônia. 2005. Disponível em: <http://www.oktiva.net/sispub/anexo/9168>. Acesso em: nov. 2020.
- LENTINI, M.; VERISSIMO, A.; SOBRAL, L. Forest Facts in the Brazilian Amazon 2003. Belém (Brazil): Imazon, 2004.
- BLUEVISION. *Como Paragominas deixou de desmatar e virou exemplo de economia verde?* Disponível em: <https://bluevisionbraskem.com/inteligencia/como-paragominas-deixou-de-desmatar-e-virou-exemplo-de-economia-verde/>. Acesso em: out. 2020.
- O ECO. ORG. *A história do município que saiu da lista negra dos maiores desmatadores*. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/reportagens/28764-a-historia-do-municipio-que-saiu-da-lista-negra-dos-maiores-desmatadores/>. Acesso em: out. 2020.
- PARAGOMINAS-PA. Secretaria de Turismo. *Inventário da Oferta Turística de Paragominas. 2012*. Disponível em: http://setur.pa.gov.br/sites/default/files/pdf/inventario_paragominas.pdf. Acesso em: out. 2020.
- LEIRA, T. 2020. *A luta pela floresta: como a Noruega ajuda a proteger -e a -destruir o meio ambiente no Brasil*. Santo André, SP: Editora Rua do Sabão. 2020. 284p.
- ABAL. *Relatório da Associação Brasileira do Alumínio. Bauxita no Brasil: Mineração Responsável e Competitividade*. Santa Bárbara d'Oeste, SP: Gráfica Mundo, 2017. 66p. Disponível em: https://www.abal.org.br/downloads/ABAL_Relatorio_Bauxita_2017_1.pdf.
- BÁRDOSSY, G. *Karst Bauxites*. Amsterdã: Elsevier, 1982. p. 16. ISBN 978-0-444-99727.
- NORSK HYDRO. Disponível em: <https://www.hydro.com/en-BR/aluminium/about-aluminium/how-its-made/>. Acesso em: 4 jun. 2023.
- SALOMÃO, R. P.; SANTANA, A. C.; BRIENZA JÚNIOR, S. Análise da florística e estrutura de floresta primária visando a seleção de espécies-chave, através de análise multivariada, para a restauração de áreas mineradas em unidades de conservação. *Revista Árvore*, v. 36, n. 6, p. 989-1007, 2012.
- CLAY MINERALS SOCIETY. *Glossário da Clay Minerals Society para Clay Science Project - Arquivado em 16/04/2016 na WaybackMachine*. Disponível em: https://www.clays.org/cms_nomenclature_glossary_april_2020_part_1_1/. Acesso em: jun. 2024.



Capítulo 3: O Solo e a Vegetação no Contexto da Mineração

Gracialda Costa Ferreira, Norberto Cornejo Noronha, Marcos André Piedade Gama, Walmer Bruno Martins, Denis Conrado da Cruz, Rodrigo de Souza Barbosa, Sabrina Santos Ribeiro, Alberto Bentes Brasil Neto e Daniel Pereira da Silva Filho

A evolução, constituição e a importância do solo

Evolução do solo

Os solos estão distribuídos na superfície terrestre situando-se na interface litosfera-atmosfera, sendo comumente cobertos por vegetação. A ampla gama de interações entre o meio biótico e abiótico que ocorre no solo pode influenciar em suas características e padrões ambientais, e está intimamente relacionada à estabilidade do ecossistema (Figura 1). Como parte integrante da paisagem, os solos apresentam variações que podem ser tanto verticais quanto horizontais, e respondem às interações estabelecidas entre os fatores ambientais envolvidos em sua gênese, conferindo aos diferentes tipos de solos características e comportamentos distintos e relativos ao ambiente de sua formação. Logo, as características do material de origem, a ação do clima, a posição do solo na paisagem, a

contribuição dos organismos e as intervenções antrópicas (Quadro 1), bem como o tempo decorrido para sua formação influenciam na ação de diferentes processos pedogenéticos. De acordo com a expressão e intensidade de cada um desses processos, são estabelecidas as diversas vias de formação, capazes de propiciar o desenvolvimento de distintos tipos de solos que ocupam diferentes pontos da paisagem e que apresentam diferentes horizontes e camadas que podem ser percebidos quando se observa um perfil do solo (Quadro 2). Assim, as interações entre os fatores de formação e a ação dos processos pedogenéticos, ou seja, de formação dos solos

(Figura 2), resultam na diversidade de solos que observamos hoje. Nesse contexto, o conjunto dos atributos do solo determina o seu comportamento no meio em que este se encontra e o reconhecimento dos horizontes e das camadas, além do conhecimento e interpretação de seus atributos morfológicos, físicos, químicos e biológicos, são fundamentais para a interpretação do funcionamento edáfico no contexto agrícola, florestal e ambiental.

▼ Figura 1 - Diversidade de vegetação e solos em uma paisagem e a importância do sistema para a manutenção dos serviços ambientais: interceptação da chuva; infiltração e percolação de água, e abastecimento do lençol freático; sequestro de carbono no solo; sequestro de carbono na vegetação; ciclagem e manutenção dos nutrientes.



Os processos pedogenéticos: a formação do solo

Diferentes processos estão envolvidos na formação dos diferentes tipos de solos:

1 - Adições: Acontece quando soluções, partículas ou fragmentos sólidos, que não fazem parte do sistema solo, são adicionados a este, como, por exemplo, a matéria orgânica proveniente da vegetação, poeiras transportadas pelo vento, partículas que são transportadas ou que desmoronam das partes mais altas para as mais baixas da paisagem, soluções iônicas ascendentes ou provenientes das adjacências etc.

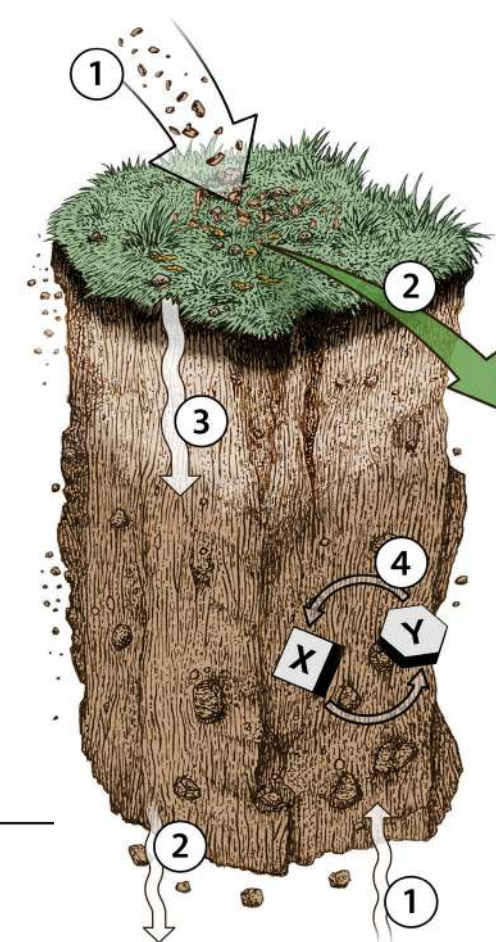
2 - Remoções: Ao contrário das adições, ocorrem quando algo que faz parte do sistema solo é perdido – por exemplo, perdas de soluções por lixiviação e perdas de partículas sólidas nos processos erosivos.

3 - Transportes: Neste caso, os sólidos ou soluções são deslocados de um lugar para outro no solo, mas

continuam a fazer parte do sistema. Assim, temos o transporte de argila ou de complexos organo-metálicos da superfície para a subsuperfície do solo com a ação da água que percola no perfil, e o transporte de torrões da subsuperfície para a superfície do solo realizado pelas formigas, por exemplo.

4 - Transformações: São processos muito comuns nos solos, podendo ser físicos ou químicos. O desenvolvimento estrutural, com a organização das partículas e formação de agregados e espaços porosos, é um bom exemplo das transformações físicas do solo. A infinidade de reações que ocorrem no solo e as transformações mineralógicas, com a geração de novos constituintes minerais em detrimento de seus precursores, são exemplos de transformações químicas.

► Figura 2 - Os processos pedogenéticos: a formação do solo. Adaptado de Weil e Brady, 2017.



Quadro 1 - O homem como agente formador e transformador do solo

A ação antrópica é um fator a ser considerado tanto na alteração de solos quanto em sua formação, uma vez que o homem modifica as características naturais do solo por uso ou ocupação ao longo do tempo. Perdas de nutrientes e matéria orgânica, perda por processos erosivos e desertificação são exemplos de degradação do solo devido ao manejo inadequado ou remoção da vegetação. Por outro lado, as Terras Pretas de Índio ou Terras Pretas Antropogênicas na Amazônia, e os solos construídos em áreas de mineração, como os *Tech-nosols*¹, são exemplos contínuos da ação do homem na formação do solo.

Quadro 2 - O perfil do solo

O perfil do solo é definido como a face do solo, dada por um corte vertical que vai da superfície até o contato com o material de origem. No perfil é observada a distribuição dos horizontes e feita a caracterização e interpretação morfológica para diversas finalidades. Nesse perfil ilustrativo de um solo, temos a distribuição dos horizontes ou camadas:

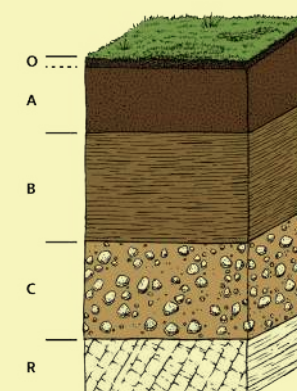
O - Camada ou horizonte orgânico

A - Horizonte mineral superficial, onde ocorre intensa atividade biológica, incorporação e mistura da matéria orgânica com os componentes minerais do solo. Reconhecemos este horizonte por se encontrar em superfície e ser mais escuro do que os subjacentes.

B - Horizonte mineral subsuperficial, onde há maior diferenciação com relação ao material de origem e expressão dos processos pedogenéticos sem a influência preponderante da atividade biológica que ocorre no horizonte A.

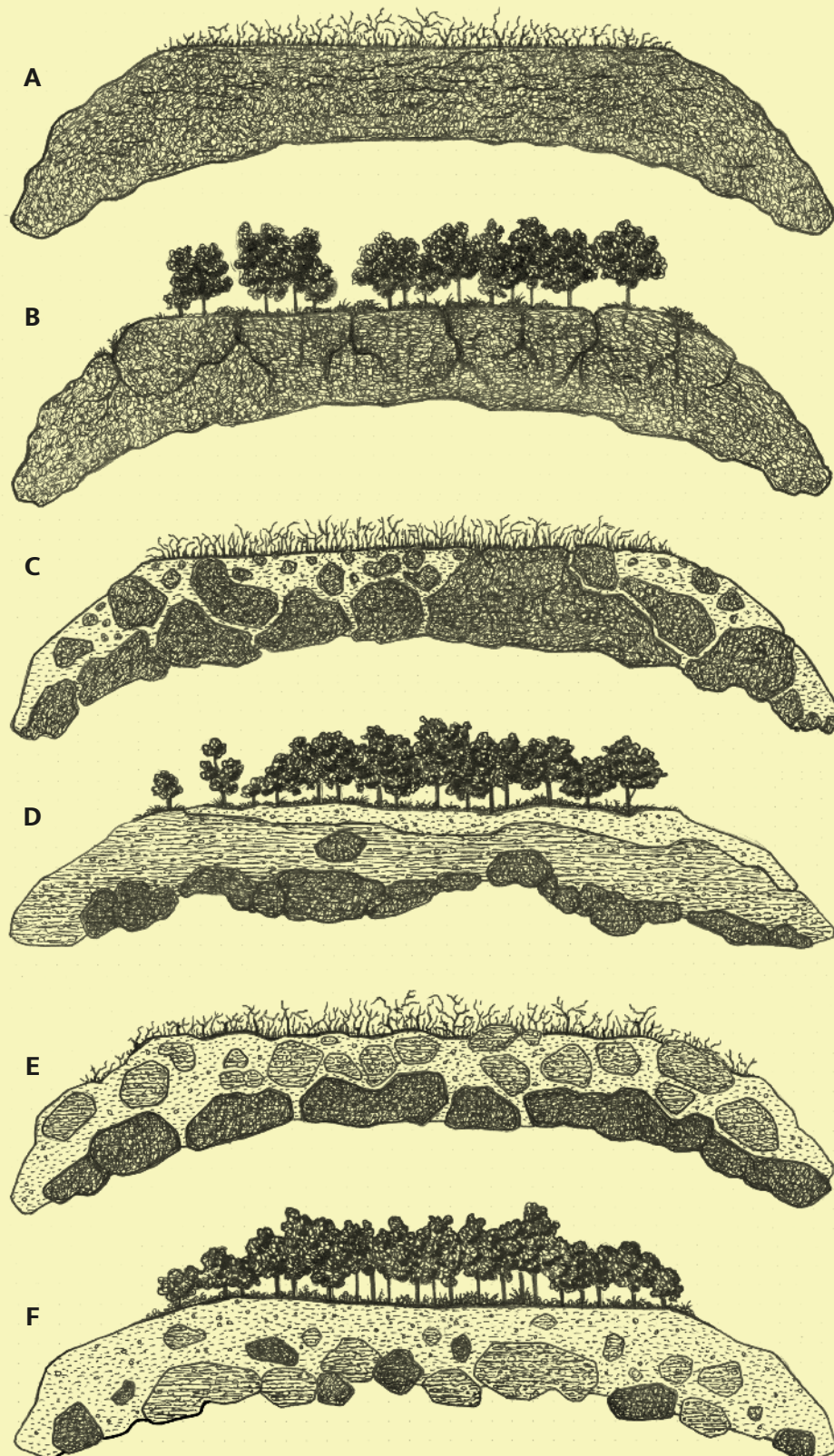
C - Camada ou horizonte de alterita de rocha, sedimentos ou outros materiais pouco consolidados.

R - Camada de rocha consolidada.



Quadro 3 - A formação do solo nos platôs em Paragominas

Horbe & Costa (1999) descrevem que os solos² na região, denominados como Latossolos, são formados em detrimento das crostas lateríticas que estavam individualizadas até o Oligoceno (28,5-23 Ma). A partir do Mioceno (23 Ma), estas crostas se intemperizam com a alternância de situações climáticas de período ora mais secas, com predomínio de cobertura vegetal de Caatinga ou savana (o que desfavorecia a proteção da superfície e levava a processos erosivos), e ora mais úmidas, que propiciavam o estabelecimento de uma cobertura florestal (com maior umidade, ocorreu maior intemperismo e consequentemente, melhor desenvolvimento do solo). Para informações mais detalhadas sobre a formação da paisagem e das reservas minerais na região de Paragominas, consulte o Capítulo 2.



Evolução do solo a partir da crosta laterítica. Períodos A, C e E secos, e períodos B, D e F úmidos. Adaptada de Horbe & Costa 1999.

Constituição do solo

O solo é um corpo natural, dinâmico e aberto, constituído por três fases: sólida, líquida e gasosa. Os sólidos do solo são representados por partículas de natureza mineral ou orgânica de tamanhos variados e, em um modelo teórico, estes sólidos ocupam cerca de 50% de seu volume total. As fases líquida e gasosa ocupam os outros 50% do volume total do solo e, obviamente, essas porcentagens de gases e líquidos podem variar em função do estado de umidade do solo (Figura 3).

A fase sólida do solo é representada por partículas de diferentes tamanhos. A areia, por exemplo, é a porção mais grossa no solo, com dimensões entre 0,05 e 2 mm. Por isso dá ao tato a sensação de aspereza e abrasão. A fração silte tem entre 0,002 e 0,05 mm, dando a sensação de sedosidade ao tato. Na fração argila estão as menores partículas do solo, com uma dimensão menor que 0,002 mm. É nessa fração que são desenvolvidas as cargas do solo, muito importantes para a retenção dos nutrientes que são necessários para o crescimento e desenvolvimento das plantas. É na fração argila que se manifesta o que se conhece por CTC, ou capacidade de trocas catiônicas do solo.

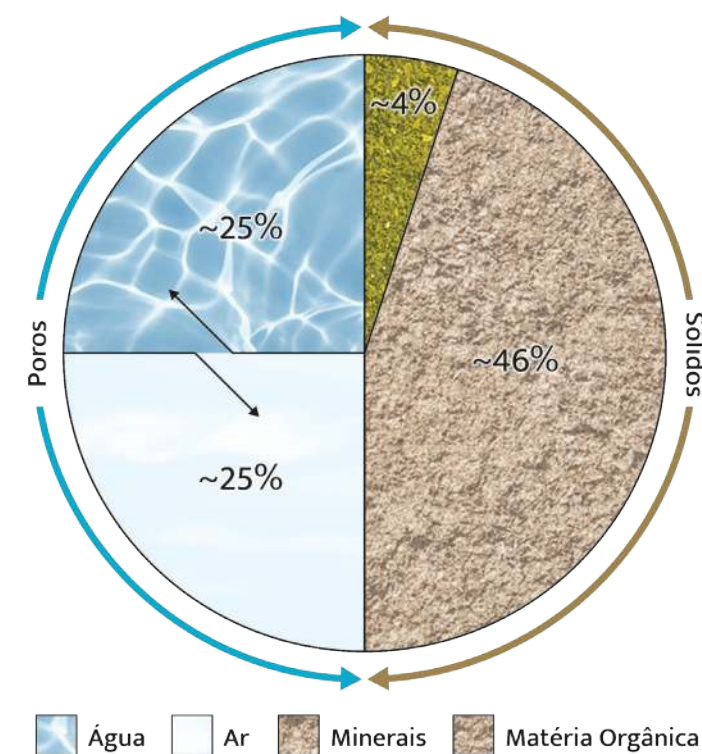
As partículas sólidas do solo se organizam para formar unidades maiores, conhecidas como agregados do solo, os quais se distinguem entre si por espaços porosos. O arranjo dos agregados e dos espaços porosos definem a estrutura do solo. É possível imaginar que a relação entre as suas fases líquida e gasosa é muito dinâmica e varia rapidamente em função da umidade. No entanto, embora a fase sólida seja relativamente estável, alterações causadas principalmente por ações antrópicas podem afetar negativamente e de forma bem rápida o equilíbrio entre as três

fases, resultando na degradação da estrutura e na diminuição dos espaços porosos, levando à compactação do solo. Como consequências negativas da compactação, podem ser citadas a diminuição das trocas gasosas entre solo e atmosfera, a diminuição da disponibilidade de água para as plantas e a redução da capacidade de infiltração de água no solo e reabastecimento do lençol freático, além de favorecer o estabelecimento de processos erosivos, o que leva à perda de solo e assoreamento de cursos d'água.

É importante ressaltar que, para o crescimento e desenvolvimento do estrato vegetal, o solo deve apresentar, além de condições físicas favoráveis ao crescimento radicular das árvores, condições nutricionais que atendam às fases de crescimento e desenvolvimento das plantas.

Os solos possuem diversas funções, dentre as quais podemos destacar:

sequestro de carbono; redução de contaminantes e purificação da água; provisão de alimentos e fibras; regulação climática; ciclagem de nutrientes; regulação de enchentes; além de servirem como fundação para construções e, muitas vezes, proverem materiais para obras civis³. Além disso, os diversos processos ou funções do solo contribuem para o bem-estar da humanidade e, assim, são denominados de serviços. Esses serviços podem estar relacionados ao fornecimento de materiais (serviços de provisão), como comida e madeira, com a manutenção de processos naturais fundamentais à vida no planeta (serviços de regulação), com a manutenção do fluxo de água e carbono (sequestro e estoque), além de outros itens relacionados ao conhecimento, costumes e atividades humanas (serviços culturais e serviços econômicos)⁴.



▲ Figura 3 - Representação esquemática do solo como sistema trifásico: fases sólida, líquida e gasosa.

Sistemas de classificação do solo e os principais solos de Paragominas

Naturalmente, os seres humanos tendem a organizar os elementos observados no mundo em categorias, e os solos não são exceção. Contudo, considerando a diversidade social e cultural, comumente, essa organização não é realizada com os mesmos nomes ou critérios – o que significa que um mesmo tipo de solo poderia ser denominado por nomes diferentes, dependendo da finalidade, local e momento da classificação. Para padronizar esses nomes e critérios, foram criados os sistemas de classificação de solos, nos quais a classificação é apresentada em níveis hierárquicos. Cada nível hierárquico reúne um conjunto de características e propriedades que podem ser usadas como base para distinção de classes de solo, ou para o agrupamento de solos que têm atributos semelhantes. Atualmente, os sistemas de classificação mais utilizados internacionalmente são o *U.S. Soil Taxonomy* (Sistema de Classificação de Solos dos Estados Unidos) e o *World Reference Base* (WRB, Sistema de Classificação adotado pela FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura).

Inicialmente baseado nesses sistemas, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) recorre aos atributos e horizontes diagnosticados que são fundamentados em aspectos morfogênicos. Atualmente, o SiBCS apresenta 13 classes no primeiro nível categórico (ordem), sendo que, de acordo com um levantamento realizado⁵, as ordens mais representativas no município de Paragominas são: Latossolos, Argissolos e Plintossolos (Figura 4, Quadro 3).

Os Latossolos representam 95,65% da área total do município. Geralmente, essa classe apresenta características físicas favoráveis ao desenvolvimento vegetal, com destaque à profundidade e drenagem. Apesar disso, normalmente, são solos ácidos e com baixa disponibilidade de nutrientes. Entre os Latossolos existentes em Paragominas, destacam-se os Latossolos Amarelos Distróficos e os Latossolos Amarelos Distrocosos, estes últimos apresentando difícil preparo devido ao desenvolvimento de forças de coesão e consistência dura e muito dura quando secos.

Os Argissolos representam 2,90% da área total do município. Essa classe de solos é marcada por um incremento no teor argila no horizonte B (superficial). Normalmente, apresentam características físicas variadas, tanto em profundidade quanto em drenagem. Em Paragominas, destaca-se os Argissolos Amarelos Distróficos que, como os Latossolos, apresentam baixa disponibilidade de nutrientes.

Os Plintossolos representam 0,88% da área total do município. Comumente, são solos marcados pela presença de plintita, que é um material distinto, rico em óxidos de ferro e que pode, após a desidratação contínua que leva a um ressecamento vigoroso, endurecer fortemente e formar a petroplintita. No solo, tanto a plintita como a petroplintita, dependendo de sua quantidade, arranjo, formato e tamanho (este para a petroplintita), podem promover restrições ao desenvolvimento radicular e dificultar a utilização de implementos agrícolas. Além disso, estes solos apresentam baixa disponibilidade de nutrientes.

e a sustentabilidade dos sistemas florestais. Por esse motivo, em conjunto com o solo, as plantas da região amazônica mantêm ciclos biogeoquímicos consideravelmente estáveis, relacionados à água e aos nutrientes e, quando não perturbados, esse conjunto é capaz de

sustentar exuberantes florestas e toda a diversidade de espécies nativas além das interações da fauna e da flora.

As raízes das plantas crescem no solo florestal em busca de água e nutrientes, que são absorvidos e utilizados para o crescimento, desenvolvimento e estabelecimento da vegetação. Nesse contexto, a água remanescente no solo é aquela absorvida pela vegetação e continuamente liberada para a atmosfera (evapotranspiração), e, ocasionalmente, pode migrar para outras localidades ou retornar para a própria floresta na forma de chuvas. Nesse último caso, as gotas de chuva são interceptadas pela vegetação, o que previne o impacto direto dessas gotas na superfície do solo e o escoamento superficial, favorecendo a infiltração da água

no solo – reiniciando, assim, o ciclo da água.

Além disso, os materiais orgânicos como galhos e folhas são depositados em superfície, fragmentados e incorporados no solo pela meso e macrofauna edáfica de invertebrados (minhocas, formigas, cupins, insetos, moluscos etc.). No solo, gradualmente, esses materiais são decompostos pela ação dos microrganismos, que convertem os compostos orgânicos em formas mais estáveis, como húmus, possibilitando ainda a disponibilização novamente dos nutrientes às plantas – reiniciando, dessa forma, o ciclo dos nutrientes. Outro aspecto importante é que grande parte da biomassa vegetal é constituída de carbono, assim a manutenção da vegetação, principalmente para produção ou conservação do

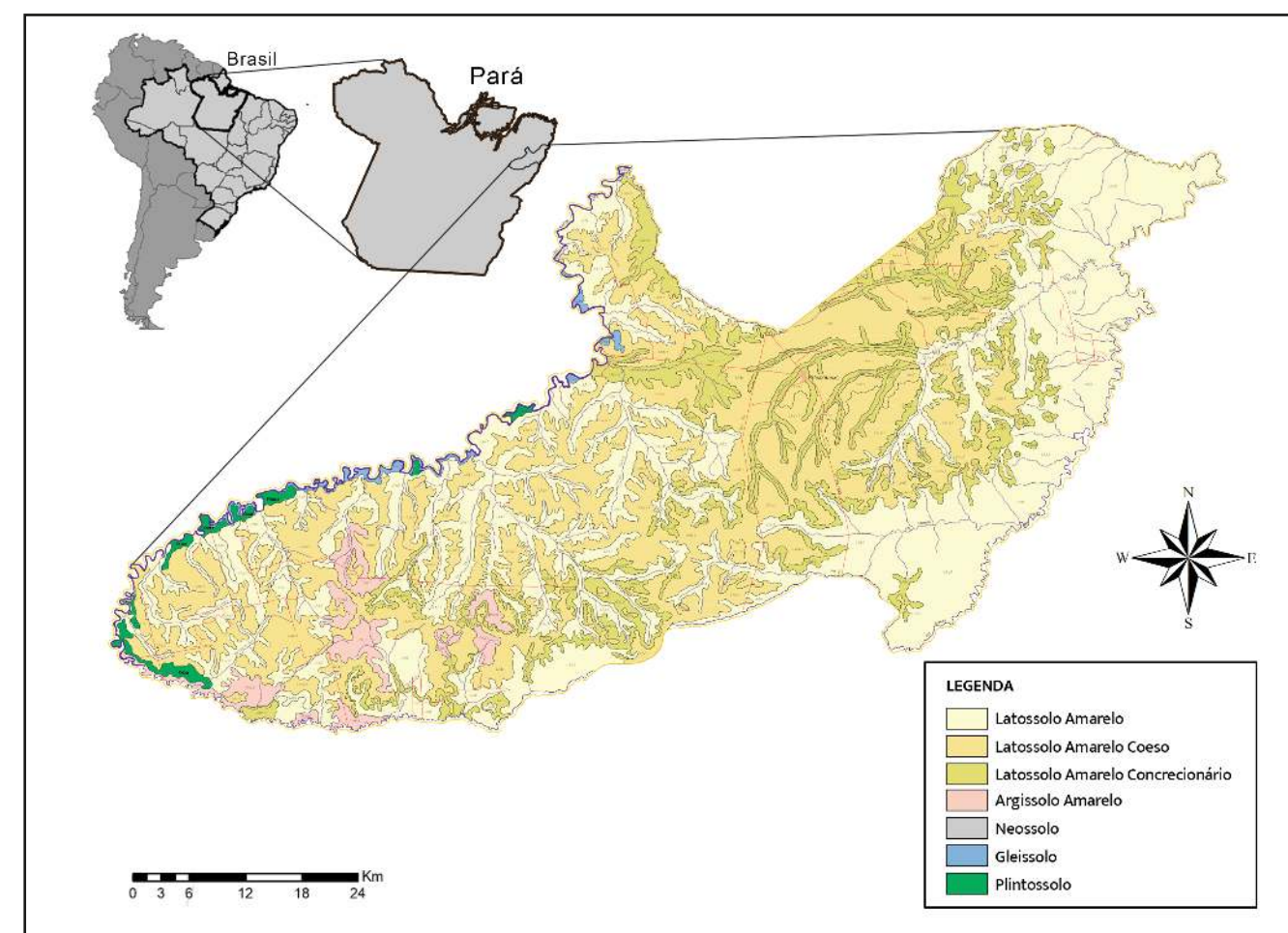
conteúdo de matéria orgânica do solo, é fundamental tanto para o processo de ciclagem de nutrientes quanto para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas.

O carbono está presente em todos os ecossistemas que compõem o planeta Terra. No entanto, no ecossistema terrestre, o solo pode conter até 80% da capacidade de armazenamento de carbono⁸, o que demonstra a importância deste componente na mitigação dos danos causados pela liberação de gases do efeito estufa. Assim, os sistemas de uso e as práticas de manejo do solo e da vegetação são importantes e estão relacionadas entre si, pois influenciam o ambiente, a política territorial, o uso sustentável dos recursos e o desenvolvimento de populações.

O solo e a floresta

De modo geral, na Amazônia, assim como na maior parte da região tropical, os solos são bem imtemperizados, sujeitos a condições extremas de umidade e temperatura, no qual predominam minerais como caulinita e óxido-hidróxidos de ferro e alumínio. Isso

caracteriza um ambiente com solos de baixa fertilidade natural, baixa capacidade de troca catiônica (CTC), elevada acidez e baixa disponibilidade de nutrientes^{6,7}. Portanto, a ciclagem de nutrientes é um processo fundamental que garante a manutenção da fertilidade do solo



▲ Figura 4 - Mapa pedológico do município de Paragominas.

Uso, vulnerabilidade e degradação do solo

A degradação de uma área ocorre quando o solo, a fauna, a flora e o sistema hídrico são removidos ou negativamente impactados. No solo, essa degradação pode ser química e/ou física – com consequências negativas, como perdas por erosão, redução da fertilidade e do estoque de carbono e alterações na estrutura do solo. Portanto, as mudanças no uso da terra, envolvendo o desmatamento, queima ou remoção da vegetação nativa e o manejo

inadequado podem tornar o solo sujeito a processos de degradação e, consequentemente, comprometer sua capacidade produtiva bem como os serviços ambientais prestados pelo solo e vegetação.

O processo de degradação dos solos no município de Paragominas é resultado do histórico de desmatamento da Amazônia Brasileira, sobretudo graças às atividades econômicas realizadas no local a partir da década de

1970, com a exploração madeireira, pecuária, agricultura, reflorestamento e mineração (ver Capítulo 2). Consequentemente, a região de Paragominas apresenta uma significativa alteração do uso do solo (Figura 5) e uma considerável perda da biodiversidade local, principalmente das espécies florestais.

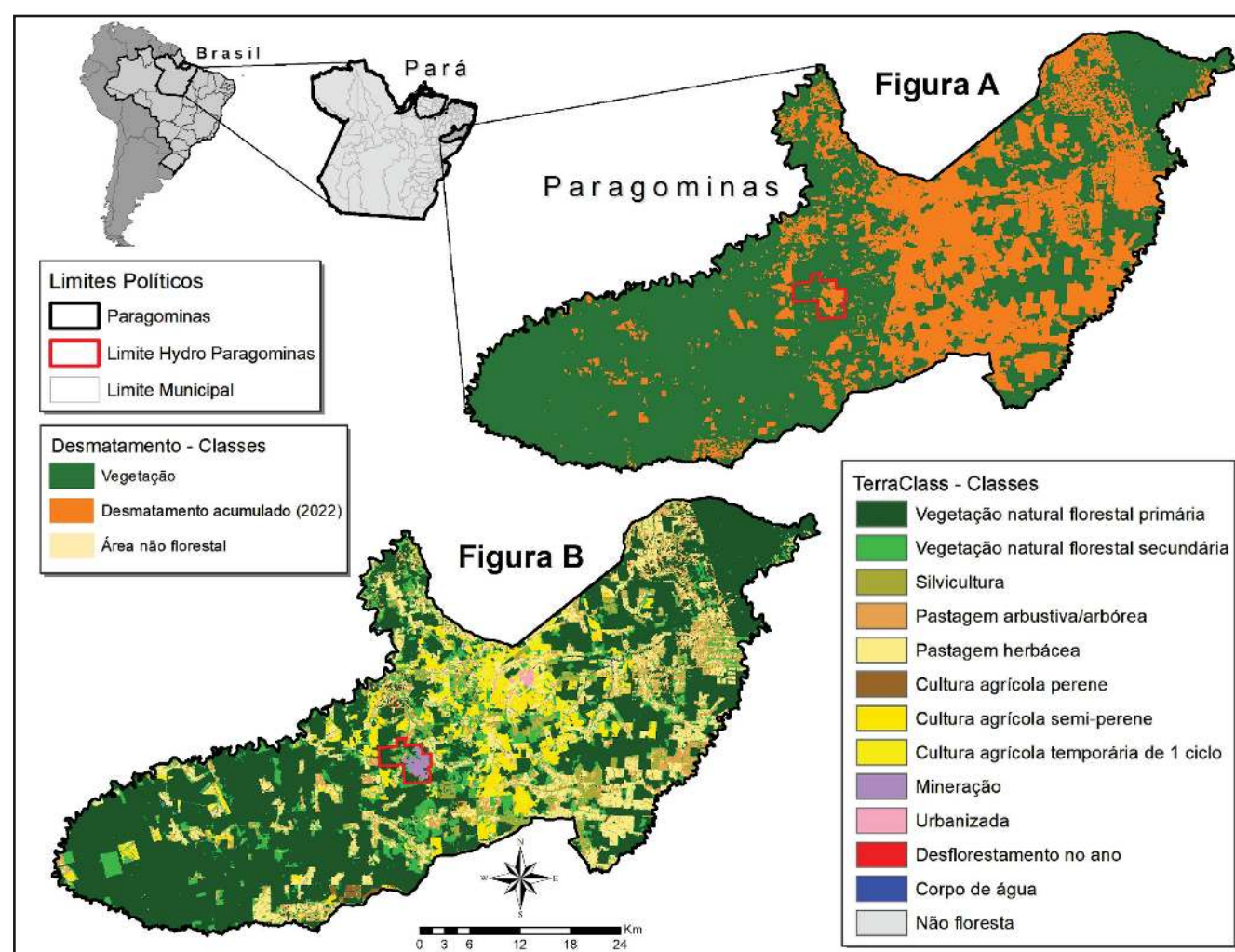
Entre os principais riscos das mudanças no uso do solo, destaca-se a erosão, que é caracterizada pelos processos de desagregação

e transporte de partículas do solo. Em condições tropicais, devido aos altos índices pluviométricos, o principal agente causador da erosão é a água, a chamada erosão hídrica⁹. Atualmente, os processos erosivos são considerados um dos grandes responsáveis pela redução da fertilidade natural dos solos, visto que removem a camada mais superficial, que concentra grande parte da matéria orgânica e nutrientes. Por isso, a identificação de áreas vulneráveis a proces-

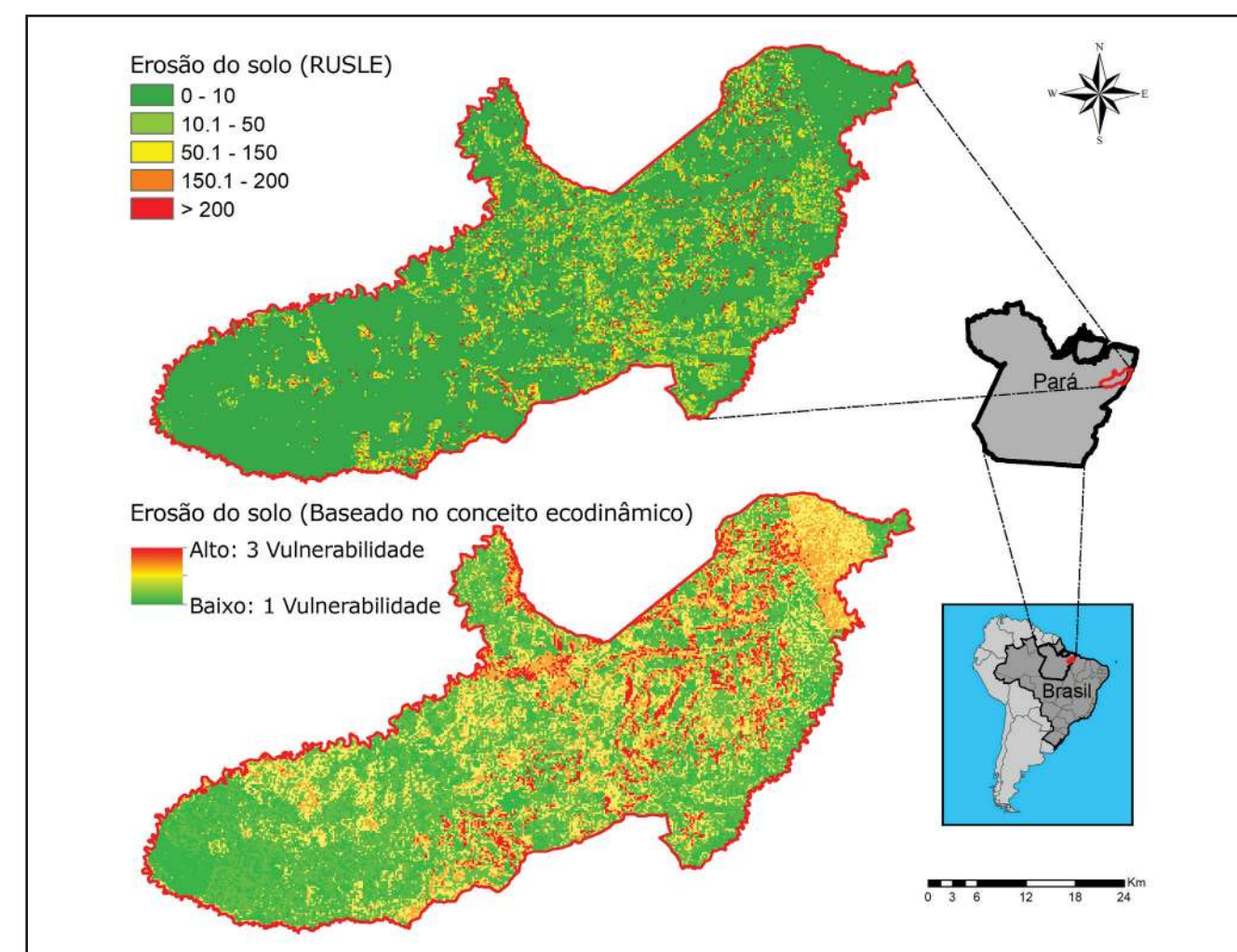
sos erosivos é fundamental para a tomada de decisões e gestão territorial, e, para tanto, é preciso considerar diversos fatores relacionados ao clima, vegetação, solo e relevo.

Em Paragominas, por exemplo, um estudo realizado¹⁰ demonstrou que apesar da frequência e intensidade das chuvas, e da conversão de áreas de floresta nativa para pastagem e plantio de grãos, os solos, predominantemente Latosso-

los de boa infiltração e associados a relevo plano, são pouco vulneráveis à erosão. Desse modo, apenas 3% do território do município apresenta alto potencial erosivo (Figura 6). Apesar disso, é necessário manter a atenção para que outras áreas não apresentem um alto potencial no futuro¹⁰.



▲ Figura 5 - Desmatamento (A) e uso do solo (B) em Paragominas, PA. Mapa de autoria própria, a partir de banco de dados importado do INPE.



▲ Figura 6 - Vulnerabilidade do solo à erosão em Paragominas, PA. Fonte: Cruz *et al.* 2019.

Alterações e recuperação do solo no contexto da mineração de bauxita

A remoção do solo natural é um fator inevitável e também preocupante na mineração de bauxita a céu aberto, pois não só envolve a mobilização de enormes massas de terra nos processos pré e pós-mineração, mas também promove drásticas alterações no solo, que levam às perdas de funções importantes para a manutenção e estabilidade de serviços ambientais. O solo é considerado um recurso não renovável³, pois seu processo de formação e/ou regeneração é muito lento. Os impactos negativos estão geralmente relacionados à perda da matéria orgânica e da fertilidade, diminuição da porosidade e aumento da densidade do solo, além de alterações no arranjo estrutural, com a formação de selamentos superficiais e compactação do solo. Alterações na estrutura do solo podem ser observadas na Figura 7, onde temos a foto de uma lâmina de seção delgada da superfície do solo natural sob floresta nativa da região. Na foto, é possível observar o arranjo estrutural e a disposição dos poros maiores predominando no sentido vertical, o que facilita a infiltração de água e as trocas de

gases entre o solo e a atmosfera. Ao lado, evidencia-se o selamento formado na superfície do solo exposto e sem cobertura vegetal na área de recuperação com plantio de mudas, com dois anos de condução. O selamento superficial se forma devido à destruição dos agregados do solo pelo impacto direto das gotas de chuva na superfície exposta, levando ao desprendimento de partículas finas que, desagregadas, entopem os poros superficiais formando uma crosta, que, entre outros prejuízos, dificulta a germinação de sementes, ocasionando atrasos na cobertura vegetal do solo. A compactação do solo é uma deformidade estrutural devida à pressão sofrida pelo solo, caracterizada pela diminuição dos espaços porosos. Na Figura 7, abaixo, é possível observar a compactação na camada subsuperficial em área de plantio com sete anos de condução. A camada compactada impediu a penetração das raízes, e isso pode retardar a evolução da cobertura vegetal ou levar à morte das plantas nos períodos mais secos, pois sem um bom desenvolvimento radicular devido à compactação,

as plantas não podem absorver água e nutrientes suficientes para atendimento de suas necessidades. Tanto o selamento superficial, quanto a compactação dificultam a infiltração de água, aumentando os riscos de perda de solo por erosão e suas consequências.

Como visto, os impactos causados no solo pela atividade de mineração são significativos e não podem ser desprezados. A boa notícia é que o homem, que se integra aos fatores biológicos de formação do solo, pode interferir como um agente acelerador no processo de recuperação do solo. Na Base de Referência Mundial para Recursos de Solos (World Reference Base for Soil Resources - WRB)¹¹, os solos de mina estão reunidos na classe dos *Technosols*, que correspondem a solos cuja origem está fortemente relacionada à ação humana. Na MPSA o tecnossolo é geralmente construído utilizando-se de uma camada de *topsoil* sobre a camada estéril, e muitas propriedades importantes para o estabelecimento vegetal inicial são perdidas no processo de cava,

remanejamento da terra e nas operações de construção do solo de mina. Mesmo assim,¹² relata-se a existência de um horizonte A neoformado (mais recente) nas áreas com maior cobertura vegetal na mina, sobretudo nas áreas de regeneração natural mais antigas, e atribui-se essa neoformação à maior cobertura vegetal nestas áreas. Consequentemente, observou-se uma maior cobertura de serapilheira no solo nas áreas de regeneração natural¹³ e isso, muito provavelmente, contribuiu para uma maior atividade biológica, levando à formação de estruturas biogênicas a esse horizonte neoformado¹² (Figura 8). Outro ponto importante é que, na camada superficial o solo da área de regeneração natural de sete ou mais anos, os valores de densidade e porosidade foram análogos aos encontrados no solo sob floresta natural, comprovando que sete anos de condução foram suficientes para a recuperação destes atributos para esta camada neste sistema¹⁴. A matéria orgânica e a CTC na camada superficial também apresentaram avanços em relação à área mais nova (dois anos). A melhoria nas condições físico-químicas nas áreas em recuperação com regeneração natural a partir de sete anos, está relacionada à boa cobertura do solo e à incorpo-

ração da matéria orgânica pela macrofauna edáfica na formação dos agregados biogênicos, como retrata a Figura 8, levando a um aumento da matéria orgânica e CTC com o tempo de condução da recuperação.

Muito embora sete anos de condução com regeneração natural tenham sido suficientes para a promoção de melhorias nas condições pedológicas em superfície, o mesmo não foi observado^{12,14} nas camadas subsequentes, sendo que a recuperação dos atributos do solo em profundidades maiores pode levar bem mais tempo. Isso desafia os pesquisadores no desenvolvimento de técnicas eficazes para a aceleração das melhorias nas propriedades do solo também em subsuperfície.

Para a recuperação de uma área impactada, pesquisas apontam que há uma codependência evolutiva entre o solo e a vegetação, ou seja, o solo e a vegetação se autopromovem, caracterizando a coevolução entre eles, em que a trajetória sucessional progressiva da vegetação está relacionada à formação e manutenção de atributos físico-químicos do solo como um *feedback* mútuo, dependente das interações solo-vegetação¹⁵. A compreensão dos *feedbacks*

de coevolução solo-vegetação fornece uma ferramenta a mais para subsidiar as previsões e mitigações dos impactos das ações humanas sobre as mudanças globais e sobre o fornecimento de serviços ecossistêmicos¹⁶. Se os *feedbacks* ocorrem no sentido de recuperação de uma área, o mesmo raciocínio pode ser traçado para o retrocesso na recuperação, ou seja, o esgotamento ou a degradação de um dos fatores pode levar ao declínio do outro. Neste sentido,¹⁴ adverte-se sobre a depressão dos componentes arbóreos nas áreas de regeneração natural (Figura 9) devido à baixa diversidade e à alta dominância de poucas espécies pioneiras. A senescência precoce da espécie dominante *Croton matourensis* na área de regeneração natural pode ser resposta às condições desfavoráveis ao desenvolvimento radicular, como a baixa fertilidade e existência de camadas compactadas do solo, além da alta pedregosidade em subsuperfície, dificultando o aprofundamento do sistema radicular. A morte de árvores dominantes e a falta de continuidade da trajetória sucessional, com a formação de grandes clareiras podem, por sua vez, comprometer o avanço dos processos pedogenéticos e até levar a perdas na qualidade do solo.

► Figura 7 - Da esquerda para a direita, de cima para baixo: camada superficial do solo natural sob cobertura de floresta nativa na região da mineração; selamento superficial no solo exposto e sem cobertura vegetal na área de recuperação com plantio de mudas, com dois anos de condução; camada compactada na transição *topsoil* estéril em solo construído e em recuperação com plantio de mudas com sete anos. Notar a restrição ao aprofundamento radicular na camada compactada.



▲ Figura 8 - Da esquerda para a direita: cobertura de solo abundante na área de regeneração natural; detalhe da estrutura biogênica do horizonte A neoformado na área de regeneração natural de nove anos de condução.



▲ Figura 9 - Da esquerda para a direita: Sistema de regeneração natural de sete anos com dominância de *Croton matourensis*; e mortalidade precoce do *Croton matourensis* no mesmo sistema de regeneração natural e formação clareiras.

A vegetação e flora em Paragominas

Todos sabem que a floresta tropical tem um papel essencial na manutenção do equilíbrio ambiental, e nela existe uma vegetação diversificada e exuberante. A vegetação se manifesta pela sua fisionomia e pela sua composição florística, ocupando certo espaço geográfico; já a flora vem a ser a diversidade de espécies botânicas (ou gêneros e famílias) que compõem um tipo de vegetação¹⁷.

Nas florestas, as árvores têm papel essencial no estabelecimento e manutenção do equilíbrio ambiental e climático, visto que elas contribuem significativamente com o sequestro da maioria dos gases emitidos por ações humanas para a atmosfera (p. ex.: dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogênio (NO₂), monóxido de carbono (CO) e ozônio (O₃) (Figura 10). São as árvores também os elementos da flora que conferem às florestas o aspecto esverdeado e denso, que fecham o dossel e criam o microclima adequado para que outros elementos da flora, fauna, do solo, da água e do ar se estabeleçam e forneçam os serviços essenciais à manutenção da vida no planeta.

As árvores promovem serviços importantes para o ambiente, que se reflete em melhorias para o solo e para a conservação da água, por meio do aumento de matéria orgânica na área, da atividade microbiológica e da ciclagem de nutrientes, podendo assim promover alterações na fertilidade e maior infiltração e retenção de água no solo¹⁸. As árvores têm multifuncionalidade que aumentam a sustentabilidade nos locais em que ocorrem.

São inúmeros os benefícios fornecidos pelas espécies arbóreas, relacionados tanto a serviços ecossistêmicos²¹, como a diferentes relações afetivas, culturais, históricas e espirituais com as pessoas em múltiplas paisagens. As populações humanas, assim, plantam ou mantêm o componente arbóreo (nativo ou não) em suas terras a partir de seus diferentes estímulos e percepções.

A vegetação, em um contexto amplo, é entendida como um conjunto de plantas e associações vegetais que vivem em um mesmo lugar sobre a superfície terrestre.

Uma forma usada para identificar um tipo de vegetação é descrever a sua composição florística, ou seja, a relação de famílias, gêneros e espécies botânicas que integram determinada formação vegetal, determinando sua flora típica. Em Paragominas a vegetação original era composta principalmente de floresta tropical, com vegetação do tipo Floresta Ombrófila Densa. Essas florestas são caracterizadas por fanerófitos (plantas perenes e lenhosas, com meristemas vegetativos localizados a uma altura superior a 25 cm acima do solo), além de lianas (trepadeiras) lenhosas e epífitas em abundância. É uma vegetação que ocorre em condições climáticas de elevadas temperaturas (médias de 25 °C), e de alta precipitação bem distribuída durante o ano (de 0 a 60 dias secos), e predominantemente em Latossolos amarelos distróficos⁵. Na região de Paragominas, duas tipologias vegetacionais de floresta ombrófila densa são as mais representativas (Figura 11):

A) *Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas*. É uma formação que, em geral, ocupa as planícies e sobre

terrenos sedimentares do Terciário/Quaternário (2,4 Ma) – terraços, planícies e depressões aplanadas não susceptíveis a inundações. Entre os principais representantes dessa flora estão *Ficus*, *Alchornea*, *Handroanthus* e *Tapirira guianensis*.

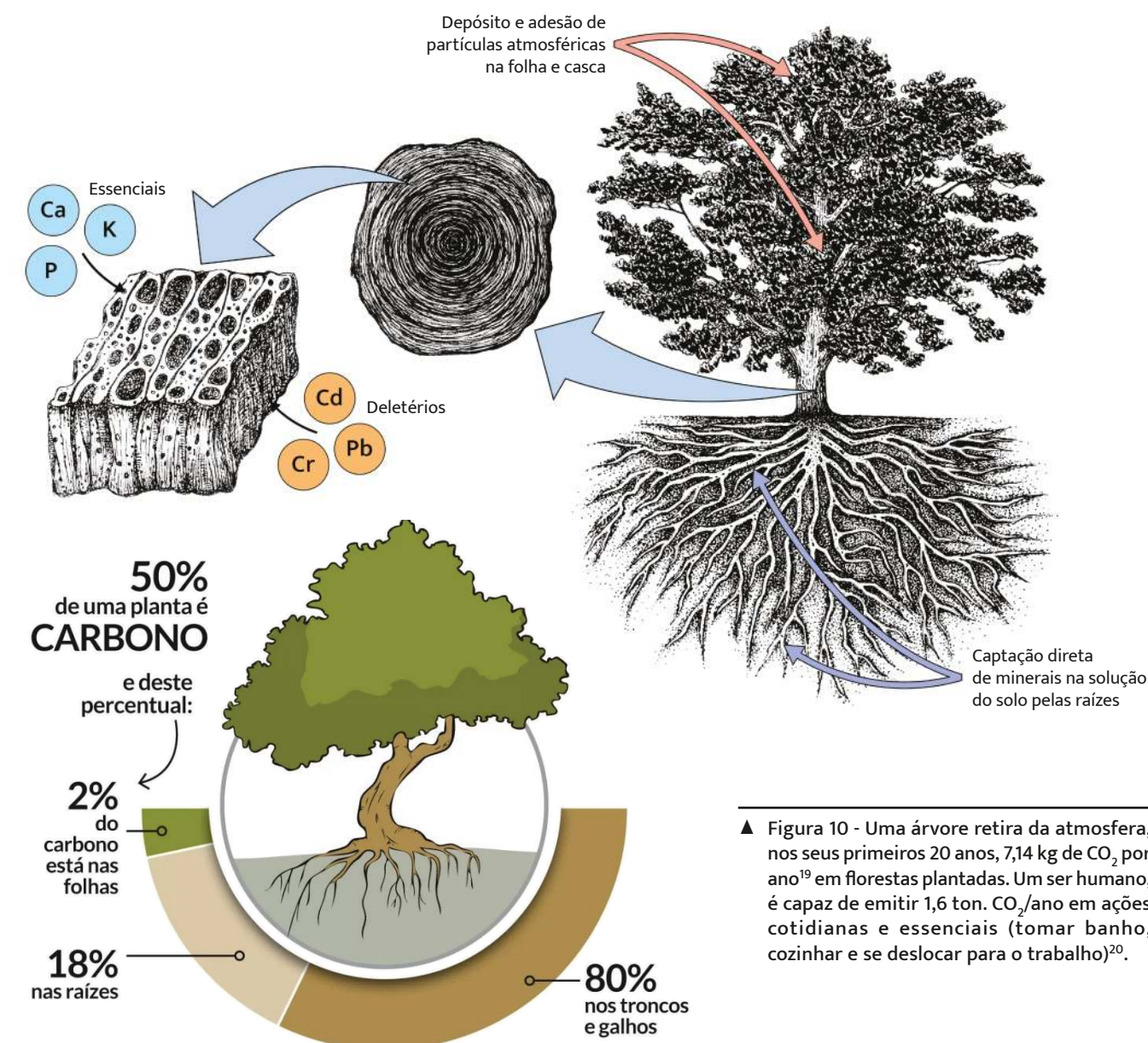
B) *Floresta Ombrófila Densa de Terras Submontanas*. É caracterizada por espécies com ocorrência que variam de acordo com a latitude, ressaltando-se também a

importância do fator tempo nesta variação ambiental. Assim, o tempo que as plantas tropicais levaram para ocupar as atuais posições no centro-sul foi suficiente para o estabelecimento das adaptações em ambientes semelhantes. As adaptações, em certos casos, incluem variações no tempo da dispersão das espécies que se deslocavam para o sul do País, tomando como exemplo *Hieronyma alchorneoides* e *Didymopanax*

morotoni, ambas cosmopolitas e possuidoras de sementes leves, pertencentes a Euphorbiaceae e Araliaceae, respectivamente, e *Pouteria* e *Chrysophyllum*, também cosmopolitas, mas possuidoras de sementes pesadas, pertencentes à Sapotaceae, com endemismos na Amazônia, nas Regiões Nordeste e Sul do País, além de *Alchornea* (Euphorbiaceae), com várias espécies extra-amazônicas.

Esquema ilustrativo do fluxo de sequestro e armazenamento de Carbono nas árvores considerando a dendroquímica

O anel de crescimento anual é a cápsula de tempo da química ambiental. Ao menos 40 elementos (además do C, H e O) têm sido detectados no lenho das árvores.



▲ Figura 10 - Uma árvore retira da atmosfera, nos seus primeiros 20 anos, 7,14 kg de CO₂ por ano¹⁹ em florestas plantadas. Um ser humano, é capaz de emitir 1,6 ton. CO₂/ano em ações cotidianas e essenciais (tomar banho, cozinhar e se deslocar para o trabalho)²⁰.

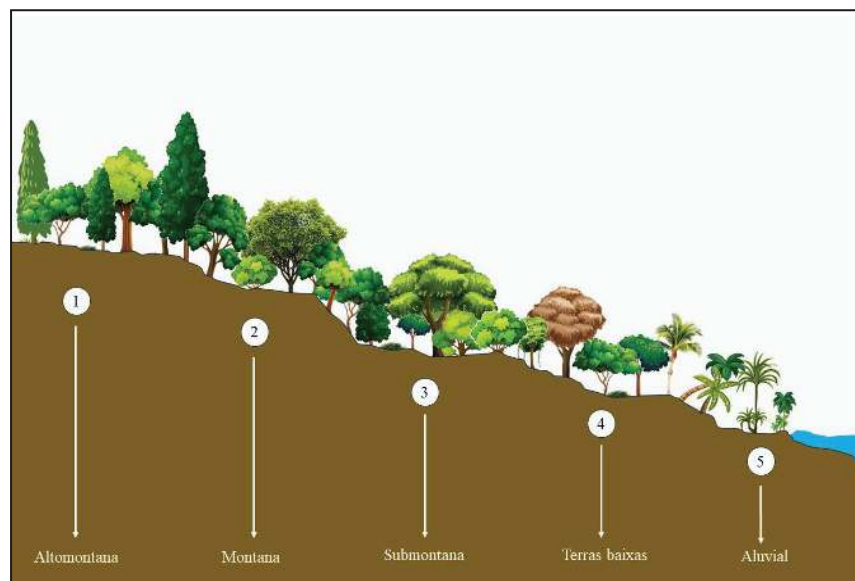
Flora de Paragominas

Dados obtidos nos herbários da Embrapa Amazônia Oriental e do Museu Paraense Emílio Goeldi e consulta às bases de dados de acervos nacionais (*SpeciesLink*; *GBIF*) indicaram o registro de 704 espécies já catalogadas para o município de Paragominas. Das espécies catalogadas e que constam nos acervos consultados, 502 são de hábito arbóreo, 99 arbustivo (incluindo subarbusto), 58 herbáceo, quatro epífitas, 36 lianas e quatro palmeiras além de algumas espécies de briófitas e musgos. Outros dados de levantamentos florísticos e inventários florestais realizados no município também contribuíram para atualizar a lista das espécies registradas nas diferentes formas de vegetação existentes na região.

Espécies arbóreas representaram a forma de vida predominante na floresta avaliada. Muitas das famílias registradas exercem um papel básico na cadeia alimentar, como fornecedoras de flores,

frutos e néctar para os animais que participam do processo de polinização e dispersão nas florestas. Também servem de suporte para plantas de hábito epifítico (como orquídeas, bromélias e aráceas),

lianescente (cipós) e parasítico, assim como servem de habitats para organismos como fungos, briófitas (musgos e hepáticas), líquens e insetos (cupins, formigas, abelhas, besouros, lagartas etc.).



▲ Figura 11 - Disposição geral dos tipos de vegetação de Floresta Ombrófila Densa no relevo da região amazônica.

A vegetação em áreas de mineração em Paragominas

No município de Paragominas, a MPSA mantém uma área de 7.852 hectares (42,1% da propriedade) com vegetação sem alteração formada por floresta ombrófila densa. Inventários florestais realizados na propriedade, desde 2003, registraram 646 espécies de plantas distribuídas em 251 gêneros e 75 famílias botânicas. Vale ressaltar que somente 22,2% das espécies registradas na MPSA estavam catalogadas nos herbários locais, aumentando o registro da ocorrência para mais 503 espécies nos herbários a partir dos estudos realizados na área da MPSA.

Essas indicações mostram valores elevados de riqueza de espécies que ocorrem na região da MPSA, sendo que no Platô Miltônia V foram registradas 371 espécies de 184 gêneros e 60 famílias; no Platô Miltônia III 485 espécies, 208 gêneros e 65 famílias; e, na área de Barragem de Rejeitos, 241 espécies, 141 gêneros e 49 famílias. Desse total, 178 espécies apresentam algum uso comercial (seja como produto madeireiro ou não madeireiro), enquanto 526 não têm indicação de uso atualmente. Além disso, o levantamento da flora também nos permite ter conheci-

mento das espécies potencialmente ameaçadas de extinção. De acordo com MMA (2022), 16 espécies são registradas em listas oficiais de espécies ameaçadas de extinção (Quadro 5), das quais 11 constam na categoria "Vulnerável" (VU) e cinco na categoria "Em Perigo" (EN).

A família mais importante encontrada nos levantamentos foi Fabaceae, com 148 espécies catalogadas, representando 22,9% do total das espécies levantadas, sendo *Inga* o gênero mais representativo desta família (N=26 espécies). Em segundo lugar, Sapotaceae,

com 8,5% do total de espécies, sendo *Pouteria* o gênero com maior número de espécies (N=34 espécies). Juntas, Fabaceae e Sapotaceae representam aproximadamente 31,4% do total das espécies registradas na área.

Nos inventários florestais da MPSA, quatro espécies apresentaram respectivamente os maiores índices de valor de importância (IVI%): *Cecropia distachya* (27,12%); *Eschweilera coriacea* (13,42%); *Inga auristellae* (10,14%); e *Eschweilera amazonica* (10,02%). São espécies características de florestas naturais não perturbadas ou de florestas secundárias ou lugares abertos (clareiras e bordas flores-

tais). Inclusive dentre as espécies registradas na área do PRAD (Programa de Recuperação de Áreas Degradadas), algumas têm grande importância na estrutura da nova floresta que está sendo estabelecida (p.ex. *Cecropia distachya*).

Das espécies registradas, 78% são classificadas como espécies secundárias do gradiente sucessional (iniciais e tardias), evidenciando que as áreas inventariadas pela empresa são florestas secundárias, em estágio de sucessão vegetal intermediário, com poucas espécies (5,7%) características de florestas primárias (clímax). As espécies do grupo ecológico "pioneiras" representam 15,5% das espécies

registradas, indicando ainda um processo sucessional inicial nestas áreas.

Nas áreas com floresta na MPSA, ocorrem naturalmente indivíduos de *Euxylophora paraensis*, *Hymenaea parvifolia*, *Manilkara elata*, *Hymenolobium excelsum* e *Vouacapoua americana*, espécies indicadas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMSPA) e União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) como ameaçadas de extinção na natureza, nas categorias "Vulnerável" (VU) e "Em Perigo" (EN) (Figura 12).



Português: Maçaranduba
Científico: *Manilkara elata* (VU)

Conhecida pelo nome "maçaranduba", mas também como maçaranduba-amarela, maçaranduba-de-leite, maçaranduba-mansa, maçaranduba-preta, maçaranduba-verdadeira e paraju.

Ocorre geralmente nas regiões de terra firme da Amazônia com até 700 m de altitude. É a espécie do gênero mais valorizada devido à sua madeira, que é muito pesada, dura e resistente. É usada principalmente na construção externa, dormentes, pisos industriais etc. Seu látex é comestível e consumido como substituto do leite de vaca. O fruto é comestível e, às vezes, comercializado.

Na Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza consta na categoria "Endangered -EN" pelos critérios A1c, B1+2c (IUCN, 2023).

Árvore com cerca de 40-50 m de altura. É facilmente reconhecida devido suas folhas grandes e amarelas na face abaxial. No seu tronco o ritidoma evidencia fissuras descontínuas. As regiões entre as fissuras são caracteristicamente planas.

As flores passam primeiro por uma fase feminina, com sépalas e pétalas ainda fechadas e somente o ponto do estigma aparecendo na abertura das pétalas. Os estames liberam pólen na fase masculina.

As flores são hermafroditas organizadas em fascículos com pedicelos compridos; flores com 6 sépalas lanceoladas, ápice agudo, geralmente cobertos por uma cera; corola glabra com 6 lóbulos divididos na base em três segmentos; 6 estames e 6 estaminóides glabros. Ovário mais ou menos ovóide.

A casca morta é grossa, marrom-clara ou escura, ou ainda avermelhada. Casca viva vermelha que exsuda látex abundante branca, saindo em gotas irregulares e pegajosas.



Português: Pau-amarelo
Científico: *Euxylophora paraensis* ^{EN}

Conhecida como “pau-amarelo”, amarelão ou pau-cetim. Os critérios que colocam a espécie na lista oficial da flora de espécies ameaçadas de extinção são A2cd; B2ab (i,ii,iii,iv,v) (IUCN, 2023) e CR2abc (Martinelli e Moraes, 2013). É endêmica do Brasil, com distribuição restrita aos Estados do Pará e Maranhão. É conhecida a partir de poucas coletas botânicas antigas, a primeira de 1907 e a última de 1982. O município de Paragominas é um dos centros de ocorrência natural da espécie. Árvore com 20-40 m de altura; folhas simples, alternadas, com pecíolo longo, cilíndrico; lâmina foliar é verde-escuro na face superior e verde-fosco na inferior, as margens arqueadas na direção da face inferior dando aspecto de rigidez as folhas. Base do tronco digitada; fuste reto, cônico. Glândulas em pontos translúcidos distribuídas na lâmina foliar; ritidoma marrom-amarelado, evidenciando desprendimento em placas retangulares que após o desprendimento deixam marcas amarelas no tronco. Casca morta marrom-amarelada, cerca de 1 mm de espessura; casca viva amarela, 1-1,5 cm de espessura sem evidências de exsudação.

▲ Figura 12 - Exemplo das características ecológicas e dendrológicas de *Euxylophora paraensis* e *Manilkara elata*.

Quadro 5 - Relação das espécies registradas no município de Paragominas, incluídas na lista oficial do Brasil de espécies ameaçadas de extinção²². EN = Em Perigo; VU = Vulnerável.

Família	Nome Científico	Forma de vida	Status
Apocynaceae	<i>Aspidosperma auriculatum</i>	Árvore	EN
Araceae	<i>Heteropsis flexuosa</i>	Epífita	EN
Fabaceae	<i>Apuleia leiocarpa</i>	Árvore	VU
Fabaceae	<i>Hymenaea parvifolia</i>	Árvore	VU
Fabaceae	<i>Hymenolobium excelsum</i>	Árvore	VU
Fabaceae	<i>Vouacapoua americana</i>	Árvore	EN
Lauraceae	<i>Mezilaurus itauba</i>	Árvore	VU
Malvaceae	<i>Eriotheca longipedicellata</i>	Árvore	VU
Meliaceae	<i>Cedrela fissilis</i>	Árvore	VU
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i>	Árvore	VU
Myristicaceae	<i>Virola surinamensis</i>	Árvore	VU
Myrtaceae	<i>Eugenia belemitana</i>	Árvore	VU
Rutaceae	<i>Conchocarpus grandis</i>	Árvore	VU
Rutaceae	<i>Euxylophora paraensis</i>	Árvore	EN
Rutaceae	<i>Pilocarpus microphyllus</i>	Árvore	VU
Sapotaceae	<i>Pouteria multiflora</i>	Árvore	EN

Mineração de bauxita

Em Paragominas, para a obtenção da bauxita, é adotado o método de mineração em faixas (*strip mining method*), onde a extração do minério é realizada em faixas paralelas. Para isso, a vegetação é inicialmente toda removida da faixa de exploração e, em seguida, ocorre a retirada e acondicionamento da porção superficial do solo, o chamado *topsoil*, que contém grande parte da matéria orgânica e do banco de sementes do solo. Posteriormente,

a porção subsuperficial do solo, estéril, é retirada e depositada em pilhas ao lado da faixa em exploração, para que seja realizada a lavra do minério de bauxita.

Após essa lavra, o estéril é depositado novamente na faixa de exploração e, em seguida, é espalhado o *topsoil*, para a construção do novo solo, também conhecido como tecnossolo, que logicamente não apresenta mais as mesmas funções

e serviços do solo natural, devido à perda dos horizontes naturais, alteração estrutural, diminuição da fertilidade e da atividade biológica. No entanto, a MPSA vem atuando fortemente no desenvolvimento de estudos em busca do entendimento dos processos e aprimoramento das técnicas de recuperação das áreas impactadas. Mais detalhes sobre a exploração de bauxita na MPSA no capítulo 2.

A recuperação da vegetação em áreas degradadas após a mineração

A legislação brasileira menciona na Constituição Federal que as empresas que exploram recursos minerais devem recuperar as áreas degradadas pela atividade, e por este motivo, foi criado em 1988 o Decreto N 97.632 com o Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD) específico para atividades de mineração. Diante disso, a recuperação florestal das áreas mineradas pela Hydro em Paragominas iniciou, em 2009, com a utilização de dois métodos: a) o plantio de mudas florestais nativas; e b) a indução da regeneração natural. Posteriormente, em 2015, a empresa também passou a utilizar um terceiro método: c) nucleação.

a) Plantio de mudas nativas

Quando o objetivo é a recuperação de áreas degradadas pela mineração, o plantio de mudas florestais nativas é o método mais utilizado pela empresa e, também, em nível global (Figura 13). Esse é um método ativo de recuperação, pois ocorre sob ação antrópica direta para a geração de uma nova floresta. Anteriormente ao plantio das mudas, o *topsoil* é distribuído regularmente na faixa explorada, para servir de substrato para o desenvolvimento inicial da vegetação.

Para o plantio, é necessário realizar a coleta de sementes, que é feita nas áreas de florestas remanescentes próximas à mina. As sementes coletadas são levadas para o viveiro, para beneficiamento, eliminando as impurezas aderidas às próprias sementes (areia, folhas, ramos e outros materiais) e o descarte daquelas que não se apresentam em perfeitas condições de germinação. Posteriormente, ocorre a semeadura indireta em sementeiras, e após o surgimento das plântulas, que poderá levar alguns dias ou até meses, dependendo da espécie, ocorre a transferência para sacos plásticos ou tubetes com substrato para o desenvolvimento da muda. Além disso, para algumas espécies como *Euxylophora paraensis*, realiza-se o resgate de plântulas da floresta nativa para o viveiro. Essa técnica vem sendo adotada pela dificuldade de produzir mudas por semeadura direta.

O tempo de aquisição de sementes até o plantio de mudas é variável, e depende das características ecológicas das espécies, como periodicidade de produção de frutos e tipos de dispersão (anemocórica, zoocórica, hidrocórica), podendo durar algumas semanas ou mesmo anos até atingir as condições adequadas para o plantio.

As vantagens do plantio de mudas em relação a outros métodos são inúmeras; por exemplo, a maior garantia de sucesso do estabelecimento e desenvolvimento do vegetal no campo e a possibilidade de administrar a diversidade de espécies. Além disso, é possível inserir na área em recuperação um elevado número de espécies com características desejadas, como, por exemplo, a oferta de frutos e/ou sementes vegetais comestíveis, os quais irão atrair a fauna silvestre como pássaros, roedores e répteis, ou ainda a deposição constante de serapilheira que é o material vegetal e/ou animal depositado sobre o solo.

No entanto, este método apresenta como desvantagens a não adaptação de algumas espécies às novas condições de solo e clima, o que pode proporcionar uma alta taxa de mortalidade. Das 156 espécies²³ avaliadas nas áreas de plantio em restauração da MPSA, 21 apresentaram taxas de mortalidade superior a 75%, dentre as espécies com mais de 30 indivíduos que morreram, destacam-se o paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*), o biribá (*Annona mucosa*), urucum (*Bixa orellana*), ipê-roxo (*Handroanthus impetiginosus*) e sumaúma (*Ceiba pentandra*).

b) Regeneração natural

Diferentemente do plantio de mudas florestais nativas, a técnica de regeneração natural é um método passivo, onde a interferência humana é pequena e a nova floresta surgirá espontaneamente. Neste método, o *topsoil* também é distribuído regularmente na faixa minerada e, além de servir de substrato para o desenvolvimento da vegetação, oferece sementes e outros propágulos provenientes da vegetação de onde o material foi removido. Posteriormente, as espécies vegetais retornam (regeneram) gradualmente, formando uma floresta, inicialmente, com poucas espécies, denominadas pioneiras, mas com o incremento gradativo de outras espécies ao longo do tempo, chamadas secundárias e clímax.

Esse processo de substituição de algumas espécies por outras se denomina sucessão e requer alguns anos e até mesmo décadas para se aproximar estruturalmente e funcionalmente de uma floresta natural (mais detalhes sobre sucessão vegetal no Capítulo 1). Das vantagens da regeneração natural, destaca-se o custo reduzido, não havendo a necessidade de coleta de sementes e produção de mudas. Em contrapartida, o solo superficial pode apresentar baixa riqueza e abundância de sementes, comprometendo a efetividade desta técnica (Figura 14).

c) Nucleação

A nucleação assemelha-se ao plantio de mudas florestais e à indução da regeneração natural, com a diferença de que o *topsoil* é distribuído irregularmente na área minerada, em forma de pilhas intercaladas com pilhas de galhos provenientes da supressão vegetal. Essas pilhas criam situações distintas de microambientes, que favorecem a diversidade biológica na área. As plantas regenerantes podem

ser plantadas ou surgir espontaneamente, formando “ilhas” de vegetação que, com o tempo, se conectam, formando uma floresta secundária contígua, seguindo uma trajetória satisfatória (Figura 16).

Das vantagens da nucleação, destacam-se a diminuição de custos em relação à área total e o aproveitamento de resíduos vegetais, como galhos, os quais podem formar plataformas de pouso para pássaros ou até mesmo abrigar outros animais silvestres, como répteis. O sucesso da recuperação dependerá da qualidade física, química e dos propágulos vegetais inerentes ao solo superficial e do potencial propagativo das pilhas de galhos que são depositadas na superfície. Se a revegetação da área é feita via plantio de mudas, o custo de produção destas mudas pode

ser considerado uma desvantagem deste método.

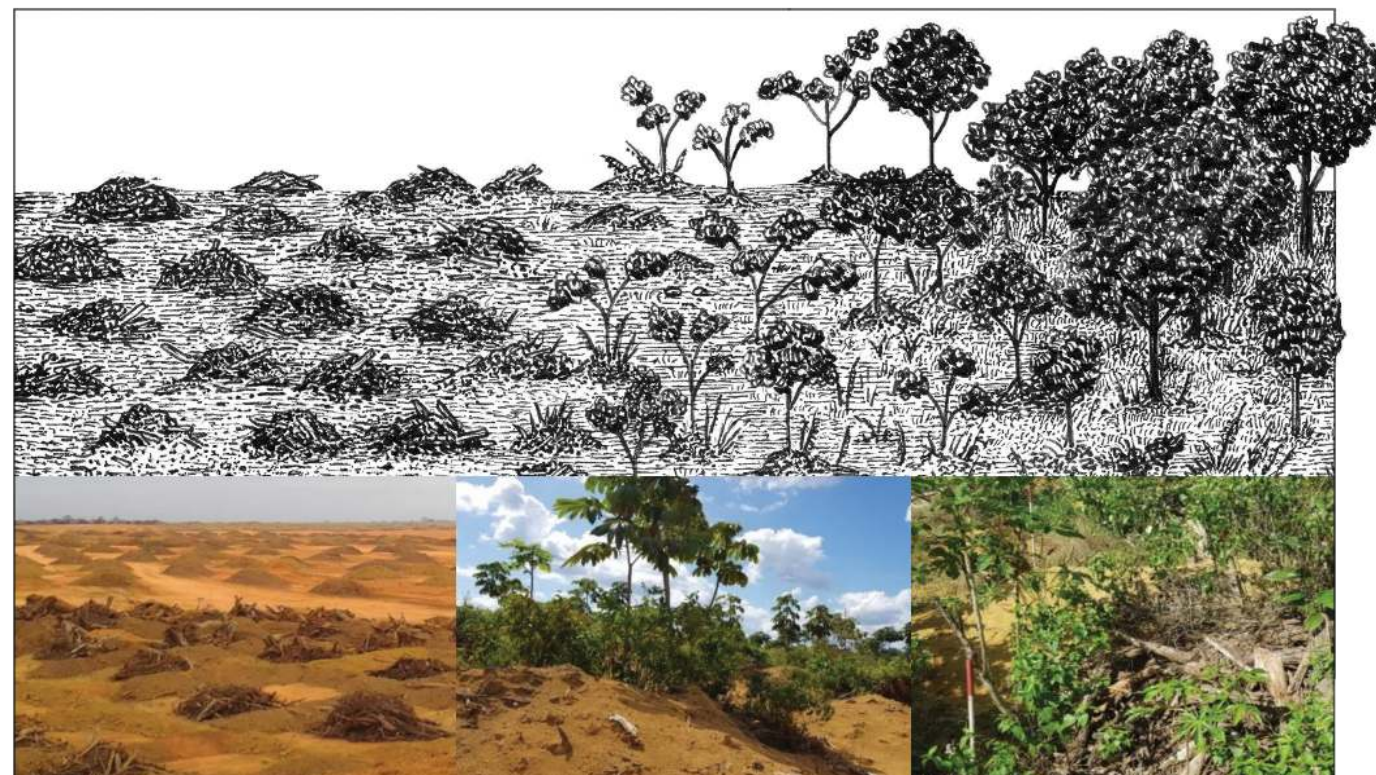
Dados da flora das áreas de nucleação indicaram o registro de aproximadamente 80 espécies que regeneram espontaneamente nas áreas, mas o número de espécies responsáveis pela estrutura das áreas é baixo como nas áreas com regeneração natural. Os métodos de recuperação, apesar de apresentarem resultados diferentes em relação ao custo de implantação e número de espécies encontradas no monitoramento, não devem ser comparados como melhor ou pior método, pois cada um deve ser adotado em conformidade com a situação ambiental, dentre eles a proximidade com os remanescentes florestais, a qualidade e quantidade de *topsoil*, disponibilidade de sementes etc. (Figura 15).



▲ Figura 13 - Plantio de mudas florestais nativas.



▲ Figura 14 - Técnica de regeneração natural.



▲ Figura 15 - Diferentes fases da nucleação. Detalhe para o processo de recuperação considerando a idade dos núcleos até a formação da floresta secundária. Fonte: Martins *et al.* (2022).



▲ Figura 16 - Resumo dos métodos de recuperação adotados na Mineração Paragominas S.A. Da esquerda para a direita: plantio de mudas nativas iniciado em 2009, com 1.545 hectares recuperados até 2021 e 250 espécies de plantas encontradas; regeneração natural iniciada em 2009, com 572 hectares recuperados até 2018 e 72 espécies de plantas encontradas; nucleação iniciada em 2013, com 693 hectares recuperados até 2021 e 80 espécies de plantas encontradas. Nenhum método é melhor ou pior, mas sim mais adequado para cada situação.

Considerações finais

A vegetação predominante em Paragominas é a Floresta Ombrófila Densa, reconhecida pela diversidade de espécies e abundância de indivíduos arbóreos. O uso alternativo do solo causou uma perda alta de diversidade de espécies, trazendo grande importância para a manutenção dos fragmentos florestais existentes. Da mesma forma, a falta de registros botânicos das espécies em herbários é preocupante, visto o histórico de desenvolvimento econômico de base florestal do município. Os estudos botânicos realizados na área da MPSA já contribuíram com o registro de cerca de 80% da ocorrência de espécies para o município, sendo que o registro de um número expressivo de espécies com graus de ameaça às suas populações na região reforça a importância de realizar mais estudos que tenham como base as coletas botânicas.

Por exemplo, *Euxylophora paraensis* (pau-amarelo) e *Vouacapoua americana* (acapú) são espécies com categorias de ameaça nas listas oficiais e que têm no município suas áreas de ocorrência natural. Da mesma forma, diversas outras espécies com alguma categoria de ameaça, endêmicas ou mesmo raras registradas no município devem ter suas populações conhecidas e protegidas.

Apesar dos solos construídos na MPSA se apresentarem muito diferentes do solo natural com relação à existência e arranjo

dos horizontes, apresentando, em alguns casos, sérias limitações físicas e químicas ao estabelecimento vegetal, o que dificulta a rápida recuperação da área impactada, observou-se o progresso da pedogênese nas áreas mais antigas relacionado à qualidade da cobertura do solo, maior abundância de plantas no estrato superior e à atividade biológica que forma e mantém a nova estrutura biogênica, que foi evidenciada nas camadas/horizontes mais superficiais.

O sistema de recuperação mais antigo com regeneração natural foi o que apresentou melhores resultados no solo até agora^{12,24}. O solo sob este sistema apresentou, em sua superfície, organização estrutural mais próxima à encontrada na superfície do solo da floresta, mostrando ser o melhor sistema de recuperação do solo até o momento no qual o estudo foi realizado (2018). Este sistema também promoveu a recuperação de importantes atributos relacionados à qualidade do solo em superfície, como melhorias nos conteúdos de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica, bem como melhoria na qualidade da estrutura em relação aos outros sistemas e áreas mais novas. No entanto, os solos construídos não responderam a fatores de evolução pedogenética a curto prazo nas camadas abaixo da camada superficial – portanto, a recuperação destes atributos em maiores profundidades demandará muito mais tempo.

É importante ressaltar que a dinâmica da recuperação de uma área não é algo simples de se realizar, ou seja, não existe uma fórmula universal. Muito embora haja avanços notórios nos estudos de recuperação de áreas degradadas pela atividade de mineração, vários fatores, possíveis de se controlar ou não, competem para o sucesso ou o fracasso do empreendimento. Portanto, novas pesquisas devem ser realizadas com a finalidade de encontrar maneiras de se alcançar a melhor combinação dos atributos do solo à trajetória sucessional da cobertura vegetal, estimulando os *feedbacks* proporcionados pela interação solo-vegetação e acelerando a performance evolutiva de ambos os sistemas para a efetiva recuperação das áreas impactadas pós-mineração.

A condução da recuperação da vegetação, com o registro contínuo da flora que se estabelece nas áreas em recuperação após a mineração de bauxita, é de grande importância na reestruturação do solo desorganizado para a mineração, assim como o retorno da fauna afugentada pela supressão vegetal e manutenção do equilíbrio climático e do ambiente interno e externo. O uso das técnicas de recuperação e de monitoramento adotadas nas áreas da MPSA deve servir de modelo para recuperar a vegetação do município, evidenciando o compromisso com a conservação e a sustentabilidade.

Referências

- IUSS Working Group WRB. World reference base for soil resources 2006. 2nd edition. *World Soil Resources Reports*, FAO, Rome, n. 103, 2006.
- HORBE, A. M. C.; COSTA, M. L. Relações genéticas entre latossolos e crostas lateríticas aluminosas e alumino-ferruginosas na região de Paragominas, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 29, n. 4, p. 497-504, 1999.
- FAO. *Funções do Solo*. 2015. Disponível em: <https://www.fao.org/3/ax374pt/ax374pt.pdf>. Acesso em: 12 set. 2023.
- FAO. State of knowledge of soil biodiversity - Status, challenges and potentialities. *Report*, FAO, Rome, 2020.
- RODRIGUES, T. E. *et al.* *Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará*. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2003.
- KITAWA, Y; MOLLER, M. R. F. Clay mineralogy of some typical soils in the Brazilian Amazon Region. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, n. 14, p. 201-228, 1977.
- GONÇALVES, J. L. M.; BARROS, N. F.; NAMBIAR, E. K. S; NOVAIS, R. F. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, E. K. S; BROWN A. G. *Management of soil, nutrient and water in tropical plantation forests*. Australia: ACIAR, 1997. (ACIAR Monograph, n. 43) 571 p.
- MACHADO, P. L. O. de A. Carbono do solo e a mitigação da mudança climática global. *Química Nova*, v. 28, n. 2, p. 328-334, mar./abr. 2005.
- TRIGUEIRO, R. M. *Ciência do solo: física e conservação do solo e da água*. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019.
- CRUZ, D. C. *et al.* Evaluation of soil erosion process and conservation practices in the Paragominas-PA municipality (Brazil). *Geographia Technica*, v. 14, n. 1, 2019.
- WRB - World Reference Base for Soil Resources - *International Soil Classification System for naming and Creating legends for Spoil Maps*. 4th ed., 2022.
- SOUZA, R. S. *Gênese e comportamento físico-hídrico de solos construídos em mina de bauxita no sudoeste paraense*. 2018. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2018.
- MARTINS, W. B. R.; FERREIRA, G. C.; SOUZA, F. P.; DIONÍSIO, L. F. S.; OLIVEIRA, F. A. Deposição de serapiheira e nutrientes em áreas de mineração submetidas a métodos de restauração florestal em Paragominas, Pará. *Floresta*, Curitiba, v. 48, n. 1, p. 37-48, 2018.
- BRASIL NETO, A. B. *et al.* Natural regeneration for restoration of degraded areas after bauxite mining: A case study in the Eastern Amazon. *Ecological Engineering*, November 2021.
- CHEN, X. F. C. *et al.* Soil-plant co-stimulation during forest vegetation restoration in a subtropical area of southern China. *Forest Ecosystems*, n. 32, p. 7, 2020.
- VAN DER PUTTEN, W. H. *et. al.* Plant–soil feedbacks: the past, the present and future challenges. *Journal of Ecology*, v. 101, p. 265–276, 2013.
- PEREIRA, A. B. A vegetação como elemento do meio físico. *Revista Nucleus*, v. 3, n. 1, p.107-127, 2004/2005.
- GUERREIRO, M. F.; NICODEMO, M. L. F.; SANTOS, C. E. S.; BORGES, W. L. B. *Introdução de árvores em sistemas de produção agrícola no bioma Mata Atlântica na região Sudeste*. São Carlos – SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2013. 52p.
- LACERDA, J. S.; COUTO, H. T. Z.; HIROTA, M. M.; PASISHNYK, N.; POLIZEL, J. L. Estimativa da biomassa e carbono em áreas restauradas com plantio de essências nativas. *Metrum*, v. 5, p. 1-23, 2009.
- ONG Iniciativa Verde. Disponível em: <https://iniciativaverde.org.br/>. Acesso em: 16 de maio de 2024.
- HERNÁNDEZ-BLANCO, M.; COSTANZA, R.; ANDERSON, S.; KUBISZEWSKI, I.; SUTTON, P. Future scenarios for the value of ecosystem services in Latin America and the Caribbean to 2050. Current Research. *Environmental Sustainability*, v. 2, p. 100008, 2020.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Portaria MMA nº 148, de 7 de junho de 2022: atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção*. Brasília, 2022.
- MARTINS, W. B. R.; BARROS, W. S.; DIONÍSIO, L. F. S.; BEZERRA, T. G.; SANTOS, L. M.; FERREIRA, G. C.; BARBOSA, V. M.; OLIVEIRA, F. A. Survival, growth and regeneration of forest species in mining areas in the Eastern Amazonia. *Scientia Plena*, v.16, n. 6, p. 060204, 2020.
- BRASIL NETO, A. B. Efeitos da restauração florestal sobre os atributos do solo e da vegetação após a mineração de bauxita em Paragominas, Pará. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal Rural da Amazônia -UFRA, Belém, 2017. 81 f.
- WEIL, R. R.; BRADY, N. C. The nature and properties of soils. 15th Edition. Gopal Edition. Person. 1103p. 2017.

Capítulo 4: O Componente Aquático

Leandro Juen, Thaisa Sala Michelin, Alberto Akama, Ana Luisa Fares, Ana Luiza-Andrade, Erlane Jose Cunha, Fernando Geraldo de Carvalho, Gilberto Nepomuceno Salvador, Leandro Brasil, Lenize Batista Calvão, Lillian Lund Amado, Marina Barreira Mendonça, Nayara Louback-Franco, Raphael Ligeiro Barroso Santos, Thiago Pereira Mendes, Tiago Begot e Luciano Fogaça de Assis Montag

Aspectos gerais

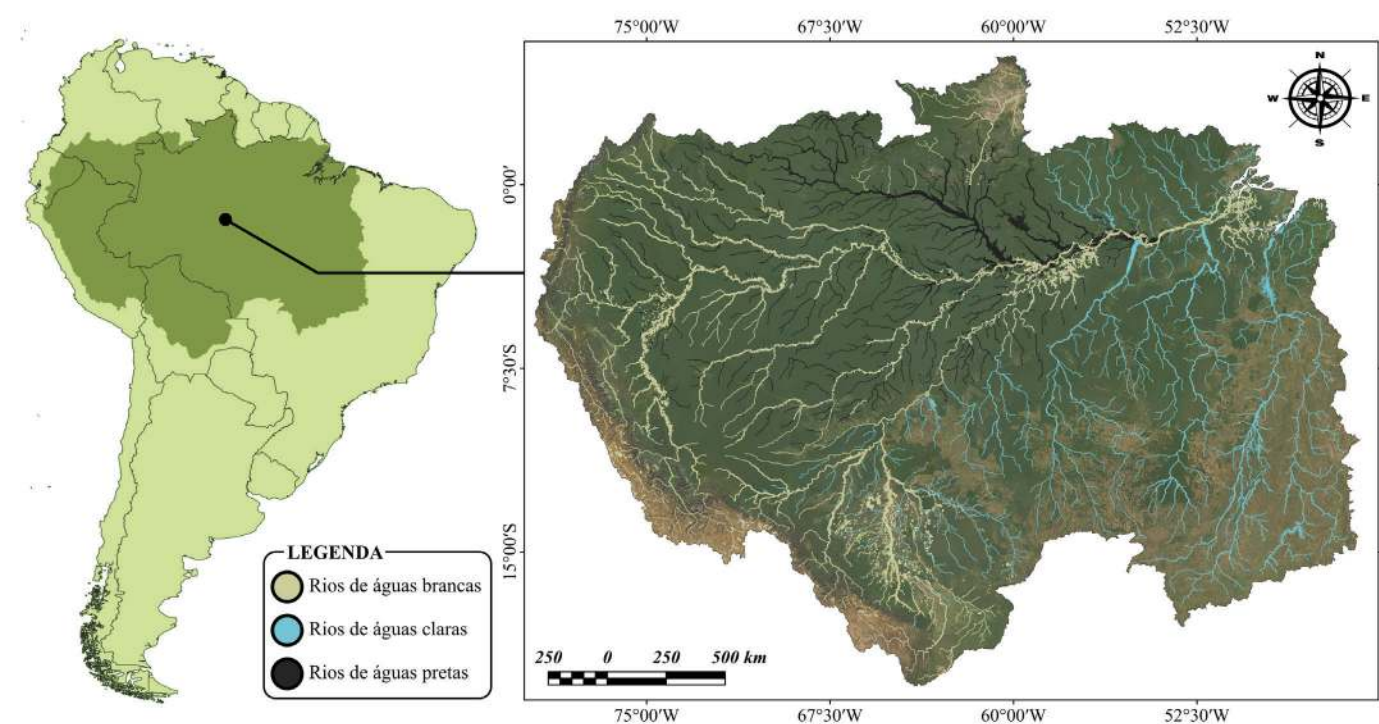
A Bacia Amazônica é um espetáculo à parte. Simplesmente a maior do mundo, drenando mais de 6,8 milhões de km²¹. Sua vazão pode atingir os incríveis 175 mil m³ por segundo, superior à soma dos cinco maiores rios subsequentes². Ela destaca-se pela diversidade de ambientes, incluindo canais dos grandes rios, praias fluviais, florestas inundadas, pequenos igarapés, e o estuário amazônico¹ (Figura 1). Este ecossistema é alimentado por grandes afluentes como os rios Madeira, Negro, Xingu e Tapajós, que, por sua vez, são supridos por uma rede de pequenos afluentes¹.

Estes pequenos afluentes, conhecidos regionalmente como igarapés (também chamados de riachos em outras regiões do Brasil). Embora menores que os grandes rios amazônicos, são responsáveis por quase 60% da dimensão total da bacia, abrangendo cerca de 90% do comprimento linear dos corpos d'água amazônicos³.

As águas dos rios amazônicos podem ser classificadas como brancas, claras ou pretas (Figura 2), com base em características como coloração e transparência¹. A composição dessas águas

se caracteriza pela influência de processos físicos, químicos e interações com os ambientes terrestres adjacentes. Esses processos ocasionam variações naturais nas concentrações de elementos, como magnésio e fósforo, além de regular as emissões de dióxido de carbono na atmosfera e a entrada de nutrientes e sólidos totais nas águas⁴.

As chuvas e as marés mudam tudo à sua volta, exercendo forte influência na biodiversidade terrestre e aquática⁵. Portanto, as condições na bacia estão fortemente ligadas à



▲ Figura 2 - Distribuição geográfica dos tipos de águas na Bacia Amazônica. Linhas hidrográficas amarelas, pretas e azuis correspondem aos rios de águas brancas, pretas e claras, respectivamente. Imagem: Gilberto Nepomuceno Salvador.



▲ Figura 1 - De cima para baixo, as duas primeiras fileiras representam os diferentes ecossistemas aquáticos na Bacia Amazônica como canal dos grandes rios, áreas inundadas, praias fluviais e bancos de macrófitas; já a última fileira mostra os igarapés (riachos) amazônicos. Fotos: Gilberto Nepomuceno Salvador.

sazonalidade hidrológica amazônica. Durante as chuvas intensas, por exemplo, os rios transbordam lateralmente, ampliando o sistema aquático e oferecendo mais recursos e refúgio à fauna aquática⁶. As marés, em sua dinâmica diária, provocam transbordamentos e inversões de fluxo, trazendo nutrientes e disseminando sementes, especialmente em marés de sizígia (marés que ocorrem nas luas nova e cheia)⁷. Esses mecanismos influenciam a estrutura da vegetação, a estabilidade do leito, a morfologia do canal,

a qualidade da água, a composição dos substratos e a biodiversidade^{8,11}.

Os igarapés são cursos de água de pequeno porte, com profundidade média de até um metro, e largura de até quatro metros (classificados como 3ª ordem de grandeza). Apesar de serem menos dependentes da conectividade lateral, eles interagem profundamente com o ambiente terrestre, especialmente entre a vegetação marginal e o curso d'água. O sombreamento, a variação estrutural do canal promovida pela mata ciliar e a

entrada de recursos alimentares para a fauna aquática exemplificam essa interação¹⁰. Essa relação intrínseca torna os igarapés sensíveis e muito dependentes da integridade de sua drenagem^{10,12-14}. Sua dinâmica é influenciada por fatores hidrológicos, como vazão, carga de nutrientes, sedimentos e fatores físico-químicos que afetam os padrões de diversidade aquática na região¹². Os igarapés são essenciais para a vida na Bacia Amazônica, regulando a temperatura global e abrigando uma das maiores biodiversidades do mundo, incluindo



▲ Figura 3 - Biodiversidade registrada nos igarapés amazônicos. Da esquerda para a direita: ictiofauna (foto: Gilberto Nepomuceno Salvador); Odonata (foto: Cristian Camilo Mendoza Penagos); e macrófitas (foto: Ana Luísa Biondi Fares).



▲ Figura 4 - Da esquerda para a direita: igarapé preservado; e igarapé impactado por atividades antrópicas resultando em maior entrada de luz e aumento de sólidos dissolvidos na água. Fotos: Laboratório de Ecologia e Conservação - UFPA.

do peixes, invertebrados (como os insetos aquáticos), plantas aquáticas (Figura 3) e microrganismos (fungos, vírus e bactérias), mantendo interações vitais entre si e com os ambientes adjacentes¹⁵.

A presença de vegetação ripária (Figura 4) influencia nas condições físicas do habitat, contribuindo para maior teor de oxigênio dissolvido, temperatura mais baixa da água e maior disponibilidade de matéria orgânica, essenciais para a sobrevivência dos organismos aquáticos¹⁶. Atividades humanas como a agricultura e pastagens alteram essa estrutura, tornando o ambiente mais homogêneo e favorável para espécies tolerantes às mudanças ambientais¹⁷ (Figura 4). A interação da água com o meio terrestre e com a atmosfera é crucial para os ecossistemas aquáticos¹⁸. O dióxido de carbono (CO₂) atmosférico é retido, permitindo a fotossíntese de algas, macrófitas e fitoplâncton (organismos microscópicos presentes na coluna de água), impulsionando o fluxo energético e a produção de energia (alimento) em escala hierárquica para as espécies animais¹⁹.

A entrada de energia em ambientes aquáticos ocorre de duas formas:

1) Autóctone: em corpos d'água com alta incidência solar direta, como em grandes rios ou em igarapés sem cobertura vegetal; e 2) Alóctone: em locais sombreados, como igarapés de cabeceira (Figura 4). No primeiro caso, a radiação solar é convertida em calor e parte é assimilada pelas plantas, algas e alguns microrganismos capazes de transformar essa energia luminosa em energia química pela fotossíntese²⁰. Em igarapés de cabeceira preservados, o contato permanente com a vegetação ciliar impede a incidência direta do sol sobre a coluna d'água e, por isso, o mecanismo de produção de alimento é predominantemente pela via alóctone²¹. Nesses igarapés, a energia é proveniente da matéria orgânica (MO), composta por galhos, folhas, frutos e sementes, processados pelos organismos aquáticos e assimilados pela comunidade²². O processamento da MO é realizado por um conjunto de organismos, evitando o acúmulo de material no leito. Primariamente, a MO é processada por fungos e bactérias, que realizam a quebra da celulose, o que facilita a alimentação por espécies herbívoras (que não possuem enzimas capazes de digerir esse material). Posterior-

mente, os herbívoros realizam a fragmentação da matéria orgânica grossa em fina, servindo de alimento para grupos que filtram a matéria em suspensão ou que coletam a matéria fina diretamente do substrato²².

Por outro lado, o ciclo da água e o fluxo de energia podem ser alterados em igarapés ao longo de áreas desmatadas, tanto na quantidade quanto na qualidade do material^{10,11}. Como os igarapés fornecem micro-habitats específicos para o desenvolvimento de vários organismos, as modificações podem levar à exclusão de parte das espécies^{10,11}. A substituição de grandes extensões de floresta leva a modificações nos processos de evapotranspiração, umidade do solo, diminuição da reciclagem da água e redução da precipitação, resultando também em modificações climáticas na Amazônia e no resto do planeta²³. As alterações hidroclimáticas na Amazônia geradas a partir do desmatamento contínuo e a expansão de plantações e pastagens na bacia, particularmente na região leste, bem como uma possível intensificação de fenômenos, como o *El Niño* e/ou *La Niña*, podem reduzir a reciclagem de água por meio da transpiração

das plantas. Como consequência, isso reduziria o fornecimento de umidade para o oeste amazônico^{3,24}, cujas consequências podem se refletir em outras partes do Brasil e de países vizinhos, conforme relatado recentemente pelo estudo do MapBiomas.

A Bacia Amazônica apresenta uma alta biodiversidade, e muitas das espécies ainda são desconhecidas pela ciência²⁵. Além disso, a distribuição geográfica das espécies e os

fatores que influenciam na ocorrência das mesmas em cada local fazem parte das lacunas de conhecimento acerca da biodiversidade²⁶. Apesar do aumento no número de estudos na região, eles ainda estão concentrados em poucas localidades, principalmente próximos de grandes centros urbanos²⁷. Nesse cenário muitas áreas detentoras de maiores biodiversidades amazônicas estão sobrepostas com áreas de interesse econômico. Na maioria das vezes, essas áreas têm

sua vegetação nativa modificada para a retirada de madeira ou para agricultura, pecuária, mineração e urbanização. As consequências dessas atividades são negativas para a biodiversidade e para os sistemas aquáticos, cujos impactos na maioria das vezes são inversamente proporcionais à dimensão desses ambientes, sendo mais intensos e drásticos nos pequenos corpos d'água, uma vez que grandes volumes de água podem tamponar os efeitos negativos.

Qualidade da água

A água é essencial à vida e tem um papel indiscutível no nosso planeta. Há de se convir que a floresta amazônica é a guardiã da maior reserva de água doce da Terra, exercendo influência sobre padrões regionais e globais de chuva²⁸. Nessa imensidão de águas, os rios amazônicos são modelados com variação anual de precipitação e pela geologia da bacia, criando diversidade na coloração e na transparência, além de atributos físico-químicos, como pH, alcalinidade, condutividade, dureza, oxigênio dissolvido, matéria orgânica dissolvida, nutrientes, íons e metais. Todos esses fatores moldam a formação dos distintos tipos de água que formam os rios (águas preta, branca ou clara)²⁸. No

entanto, infelizmente, atividades humanas recentes, como agricultura, desmatamento e poluição por resíduos industriais e domésticos, deturpam a qualidade da água, modificando as características do escoamento, acúmulo de sedimentos e níveis de nutrientes nas águas superficiais (Figura 4).

A legislação ambiental brasileira estabelece diretrizes para a utilização sustentável dos ambientes aquáticos, abrangendo abastecimento, geração de energia, irrigação, navegação, aquicultura e recreação, a fim de garantir água de qualidade para as gerações presentes e futuras⁸. É por isso que o monitoramento das características físicas e químicas da água é

fundamental para auxiliar pesquisadores, órgãos reguladores e gestores na avaliação dos impactos das atividades antrópicas nos ecossistemas aquáticos, especialmente em igarapés de cabeceira, que estão intrinsecamente ligados à paisagem do seu entorno^{10,11}. A exploração inadequada em nível regional pode alterar as características físicas e químicas da água. E isso afeta não apenas a fauna aquática, mas também a qualidade de vida, uma vez que todos dependem de água de qualidade, incluindo a população humana. A seguir, destacamos parâmetros ambientais frequentemente usados para monitorar e avaliar a qualidade dos corpos d'água ao redor do mundo.

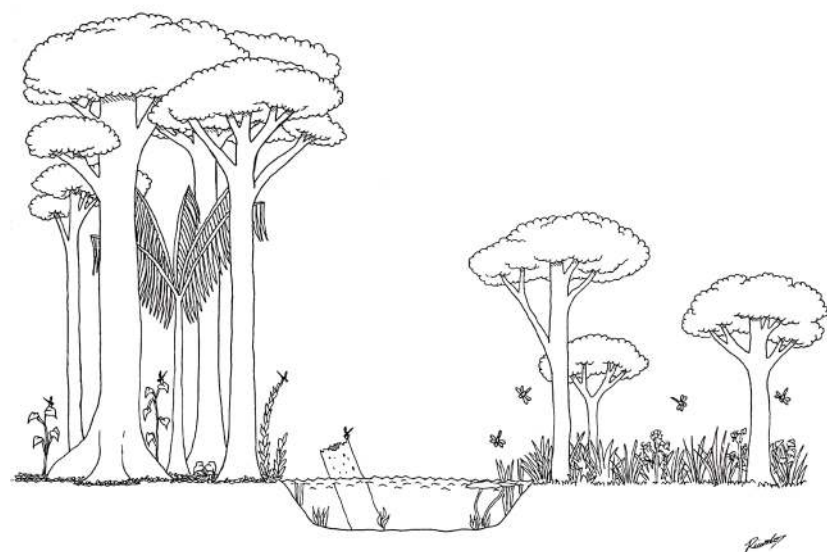
Habitat físico dos riachos

O habitat físico abrange todos os atributos ambientais que moldam a estrutura do ambiente, ou seja, os elementos geomorfológicos e biológicos que influenciam diretamente o suprimento de entrada de energia (por exemplo, a vegetação

ripária nas margens dos igarapés). De acordo com Kaufmann e colaboradores²⁹, cinco fatores principais determinam a estrutura física dos habitats dos igarapés: 1) tamanho e características do canal; 2) declividade do canal; 3) natureza e tipo

do substrato; 4) complexidade e cobertura do habitat; e 5) cobertura vegetal e estrutura na zona ribeirinha (Figura 5).

O tamanho e as dimensões do canal definem o potencial de



▲ Figura 5 - Representação esquemática da estrutura física dos igarapés. Na margem esquerda, um ambiente florestal estruturado com dossel de árvores grandes, que atuam como fontes permanentes de material alóctone, incluindo folhas e madeiras (fornecendo poleiro para Odonata e abrigo para insetos e peixes) tanto no interior como nas imediações do canal. Na margem direita, um ambiente impactado por atividades humanas exibe escassa vegetação, com arbustos e gramíneas predominantes, possibilitando maior incidência de luz e calor, promovendo o aumento de organismos fotossintéticos. Fonte: Carvalho *et al.* 2021.

habitat disponível para os organismos. Estes estão intrinsecamente ligados à área de drenagem, ordem do igarapé e escoamento anual. Porém, essas relações podem variar entre regiões climáticas distintas, devido a diferentes regimes de precipitação, evapotranspiração e influências antropogênicas que podem modificar as dimensões do canal²⁹.

O gradiente do canal determina a energia potencial, a velocidade da água e a capacidade de mover materiais do leito e das margens. A potência do fluxo, ou seja, a capacidade de transportar materiais, é influenciada pelo gradiente do canal, área da seção transversal, da forma, da rugosidade hidráulica e da descarga. O gradiente do canal interage com essas variáveis, influenciando a diversidade de micro-habitats no igarapé, especialmente em relação à velocidade da água²⁹.

O tamanho e o tipo do substrato do canal afetam a variedade de

habitats e a área de superfície habitável para animais aquáticos, epilíticos (que crescem aderidos a substrato rochoso) e intersticiais (que vivem entre as partículas constituintes do sedimento, como grãos de areia). Isso engloba características dos substratos geológicos do fundo (como argila, areia e cascalho), além da presença de macrófitas e materiais orgânicos (como detritos lenhosos)²⁹. A complexidade do habitat oferece refúgio e locais para interações bióticas, como reprodução. Isso inclui unidades geomorfológicas, como piscinas e corredeiras, detritos lenhosos, diversas coberturas dentro do canal (como bancos cortados, pedregulhos, macrófitas, algas); profundidade do *pool*/residual e própria sinuosidade do canal²⁹.

A vegetação ripária é a principal fonte de detritos lenhosos do canal, pois sombreia os igarapés fornecendo matéria orgânica alóctone, recurso essencial para os organismos. Além disso, estabiliza

as margens, oferece cobertura e substratos bentônicos ao longo das margens e amplia a complexidade do habitat. Durante fluxos intensos, a vegetação na planície de inundação contribui para a rugosidade hidráulica e redução da erosão²⁹.

O habitat físico pode ser avaliado ou descrito utilizando índices abióticos compostos por diversos indicadores (Figura 6). Esses índices geram uma pontuação que facilita a comunicação com gestores e tomadores de decisão, já que o valor reflete de maneira direta, resumida e compreensível as condições ambientais. Esses valores podem indicar tanto locais bem preservados como áreas alteradas ou degradadas. Um exemplo é o Índice de Integridade de Habitat (IIH), que analisa a estrutura física dos igarapés, considerando elementos como o uso da terra nas proximidades, a largura e a conservação da mata ciliar, a retenção de sedimentos, a presença de sedimentos no canal, a condição dos barrancos marginais, a natureza do substrato no leito do canal, os tipos de fluxo, a vegetação aquática e os detritos³⁰. O índice final varia de 0 a 1, sendo que valores próximos de 1 indicam maior integridade do igarapé. Esse índice tem se mostrado crucial para explicar a distribuição de insetos aquáticos na Amazônia³¹⁻³⁴ e tem-se demonstrado também importante para outros biomas do Brasil¹².

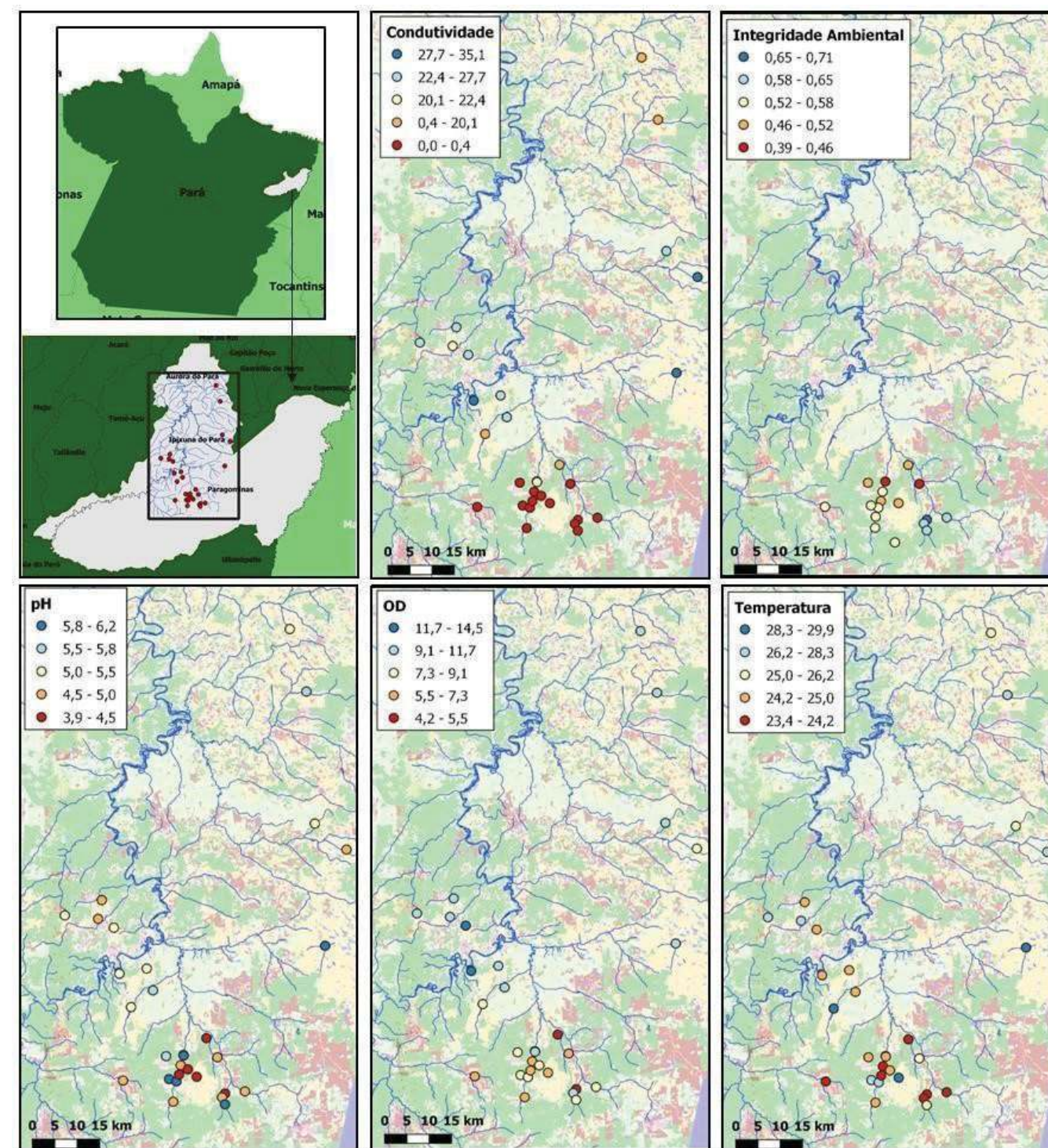
Os componentes físico-químicos são aqueles relacionados à qualidade da água e, antes da evolução das metodologias de biomonitoramento, eram os principais parâmetros utilizados para avaliar a qualidade da água. O oxigênio dissolvido (OD) é essencial para a vida aquática, sendo absorvido do ar ou gerado pela fotossíntese de plantas aquáticas, como macrófitas e fitoplâncton. A aeração ocorre via vento, corredeiras, cachoeiras ou descarga de lençóis freáticos, enquanto a fotossíntese ocorre na superfície da água. Profundidade e turbidez

afetam a fotossíntese²⁰. A temperatura da água reflete a energia molecular da água e influencia a taxa metabólica, fotossíntese e toxicidade. O pH (potencial hidrogeniônico) varia de 0 a 14, indicando acidez ou alcalinidade. Um pH entre

5 e 8 é favorável para organismos aquáticos, como peixes e larvas. A condutividade, salinidade e sólidos dissolvidos são essenciais para a vida aquática. A condutividade reflete íons na água, a salinidade mede a concentração total de sais

dissolvidos e os sólidos dissolvidos totais (TDS) englobam partículas iônicas e compostos orgânicos.

Atualmente, para avaliarmos a qualidade da água, devemos considerar a presença de contami-



▲ Figura 6 - Valores médios de condutividade, integridade ambiental, pH, oxigênio dissolvido (OD) e temperatura dos igarapés monitorados na Mineração Paragominas S.A. Imagem: Laboratório de Ecologia de Conservação - UFPA.

nantes e poluentes. Os ambientes aquáticos, em última instância, tornam-se receptáculos das substâncias resultantes das atividades antropogênicas, seja por lançamentos diretos ou indiretos, via lixiviação e deposição atmosférica³⁵. Nesse contexto, as substâncias podem se comportar como contaminantes e/ou poluentes. A distinção entre ambos reside na toxicidade que exercem sobre os organismos. Enquanto um contaminante é uma substância encontrada em níveis inesperados ou acima das concentrações naturais³⁵, torna-se um poluente quando causa toxicidade a organismos³⁵. A compreensão dessa diferença é vital para avaliar a qualidade da água, especialmente porque corpos d'água podem variar consideravelmente, até mesmo dentro de uma mesma região. A mesma concentração de um metal, por exemplo, pode ser biodisponível em diferentes graus e diferentes ambientes, levando-o a ser contaminante em um local e poluente em outro. O mesmo raciocínio vale para as características geológicas. Entendemos, portanto, que a avaliação da contaminação exige compreender as características físico-químicas e geoquímicas, e em diferentes escalas, juntamente com suas

variações naturais. É crucial que as leis sejam adaptadas a cada ambiente, algo que ainda é raro na maioria dos estados brasileiros.

A detecção de efeitos tóxicos nos organismos aquáticos residentes é fundamental na avaliação da qualidade das águas do ponto de vista biológico. Afinal, o seu monitoramento busca assegurar condições adequadas para a sobrevivência das diversas espécies nos ecossistemas. Entretanto, a mera presença de compostos químicos potencialmente tóxicos não implica, por si só, em efeitos prejudiciais para os organismos³⁵. Os poluentes podem afetar os sistemas biológicos em todos os níveis de organização, mas todos começam alterando as propriedades das moléculas essenciais para as atividades celulares, gerando efeitos tóxicos³⁵. Compreender esses efeitos em níveis bioquímicos e celulares auxiliam na compreensão de efeitos observados em níveis superiores de organização³⁵. Em caso de misturas complexas de poluentes, mudanças bioquímicas específicas podem indicar o poluente predominante³⁵. Portanto, as propriedades bioquímicas e celulares alteradas em organismos residentes podem servir como biomarcadores, indicando

a presença de um poluente em quantidade e tempo suficientes para gerar uma resposta biológica³⁵. Para uma avaliação mais precisa da exposição dos organismos aos poluentes, é crucial conectar os níveis de exposição externos aos níveis internos de contaminação nos tecidos e aos efeitos adversos primários³⁵. Com muitos poluentes interagindo com biomoléculas, compreender seus efeitos em níveis de organização biológica mais baixos é essencial para estratégias de biomonitoramento, avaliação de impactos e de gestão ambiental³⁵.

A complexidade da avaliação da qualidade ambiental e da água em igarapés é agravada pela variedade de usos da terra nas regiões. A região de Paragominas é um exemplo que passou de pouco alterada nos anos 1980, para uma região com intensa atividade agrícola, pecuária e mineradora, coexistindo com diversas espécies. Isso demanda monitoramento constante para garantir a qualidade ambiental a longo prazo. O trabalho na MPSA, onde dados ambientais e biológicos são coletados em gradientes de uso de solo, demonstra práticas de monitoramento eficazes (Figura 6).

-régia, cuja lenda narra a história da espécie *Victoria amazonica*, também conhecida como a estrela das águas. Nas artes, as macrófitas também têm seu lugar de destaque, como evidenciado nas pinturas do francês Claude Monet (1840 – 1926), um expoente do Impressionismo. Monet, inspirado pelas macrófitas de seu jardim, pintou renomadas obras com ninféias (macrófitas do gênero *Nymphaea*), como a série de "*Cycle des Nymphéas*" (1926), dedicada ao seu jardim de plantas aquáticas (Figura 7).

Ecologicamente, as macrófitas compreendem diversas espécies de plantas que desenvolveram estratégias para colonizarem variados ecossistemas aquáticos, como margens de lagos, rios, igarapés, reservatórios, em regiões costeiras estuarinas e mares, e até mesmo cachoeiras^{20,39}. São colonizadoras de seus habitats e desempenham funções essenciais na produção primária (transformação da radiação solar em biomassa por meio da fotossíntese, onde essa biomassa pode servir de alimento para outros organismos) e na produção de oxigênio, juntamente com as algas planctônicas²⁰. São refúgio, berçário e fonte de alimento para diversos

organismos, sendo especialmente associadas a peixes e invertebrados^{14,39}. A presença de macrófitas confere ao ambiente uma heterogeneidade e complexidade estrutural que favorece a biodiversidade³⁹.

As macrófitas podem ser classificadas de acordo com suas adaptações morfológicas ao meio aquático, sendo agrupadas em biótopos ou grupos ecológicos. Conforme definido por Esteves²⁰, existem seis grupos ecológicos: emergentes, flutuantes livres, submersas enraizadas, submersas livres, com folhas flutuantes, e as anfíbias. As macrófitas emergentes possuem raízes no substrato e suas folhas ficam acima da água (Figura 8), predominando em áreas mais rasas, como as margens. As flutuantes livres crescem livremente na lâmina d'água, utilizando suas raízes para absorver nutrientes da água, se desenvolvem em locais protegidos do vento ou com pouca correnteza. As submersas enraizadas têm crescimento fixo nos leitos de rios e lagos, suas folhas totalmente submersas, e apenas suas partes reprodutivas (as flores) emergindo acima da coluna d'água. As submersas livres apresentam raízes pouco desenvolvidas, flutuando abaixo da

coluna d'água em locais com pouca correnteza, frequentemente presas ou ancoradas em outras estruturas vegetais. Já as macrófitas com folhas flutuantes possuem raízes e caules submersos, com folhas flutuantes na lâmina d'água. Também existem as macrófitas anfíbias, que habitam ambientes encharcados e conseguem sobreviver tanto em período de cheia quanto de estiagem, frequentemente apresentando morfologias distintas nas fases terrestre e aquática²⁰.

Este grupo de plantas possui grande riqueza e diversidade de espécies na região Neotropical (984 espécies e 192 gêneros)⁴⁰, incluindo a Bacia Amazônica, onde foram registradas 539 espécies, das quais 48 são endêmicas do Brasil⁴¹. Especificamente para o Estado do Pará, há o registro de 434 espécies⁴¹. Isto provavelmente se deve à ampla porção de solo constantemente inundada na Amazônia, aliada a um clima com alta precipitação⁴². Cerca de 20% da Bacia Amazônica é composta por áreas alagadas diversas, resultando em habitats variados que fomentam a diversidade das assembleias de macrófitas aquáticas e contribuem para a riqueza da região^{41,42}, incluindo

Macrófitas aquáticas

Nos ecossistemas aquáticos, encontram-se diversos organismos, incluindo as plantas que são chamadas de macrófitas aquáticas. Esse termo refere-se às plantas macroscópicas que podem ser observadas a olho nu e habitam ambientes aquáticos, excluindo algas filamentosas ou planctônicas^{36,37}. Essas plantas possuem folhas que permanecem submersas na água de forma permanente ou, pelo menos, durante vários meses

do ano, podendo também flutuar na superfície.

Embora o nome “macrófitas” possa soar pouco familiar, essas plantas desempenham um papel importante em nossa vida. Quem nunca comeu arroz? Esse é um clássico exemplo de uma macrófita comestível originária da Ásia (*Oryza sativa*). Nossa flora nativa também apresenta muitas plantas alimentícias, embora menos conhecidas

que o arroz, e são consideradas como PANCs (plantas alimentícias não convencionais). Algumas macrófitas com alto valor nutricional e comestíveis incluem o brejo d'água (*Alternanthera philoxeroides*), agrião-do-brejo (*Heteranthera reniformis*), chapéu-de-couro (*Echinodorus grandiflorus*) e a taboa (*Typha brasiliana*)³⁸. Além disso, existe uma macrófita que desempenha um papel marcante no folclore brasileiro, a vitória-



▲ Figura 7 - Foto da pintura *Cycle des Nymphéas* (1926) de Claude Monet, em exibição no Musée de L'Orangerie.

do um número significativo de espécies endêmicas⁷.

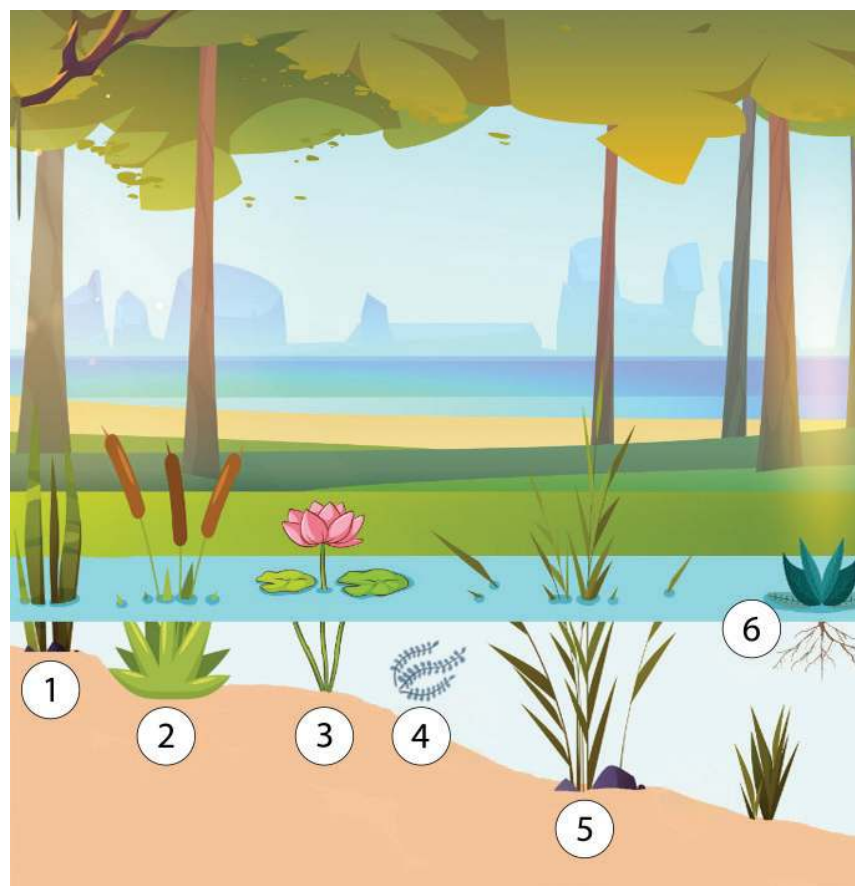
Em Paragominas, macrófitas podem ser encontradas em lagos, lagoas e áreas alagadas formadas próximas a estradas ou em propriedades privadas, bem como em igarapés com vegetação ripária menos densa e com maior incidência de luz^{43,44}. Na região já foram identificadas 49 espécies, abrangendo 37 gêneros e 23 famílias (Tabela S1 – tabela com as espécies de macrófitas aquáticas disponíveis no material suplementar). Encontramos principalmente aglomerados de *Eleocharis interstincta* conhecida como cebola-d'água ou cebolinha, uma macrófita emergente, comum nas margens de lagos e lagoas, junto com outras espécies da família Cyperaceae, popularmente denominadas de capins, tiriricas ou juncos. Durante o verão, é possível avistar botões de ninfêias (*Nymphaea rudgeana*) que são parentes da vitória-régia (Figura 9) em lagos, lagoas e igarapés com menor correnteza, sendo suas flores abertas somente ao anoitecer⁴⁵.

Em ecossistemas aquáticos de baixa correnteza na região de Paragominas, como lagos e lagoas, é possível observar diversas espécies de macrófitas submersas⁴³ (Figura 8), que muitas pessoas podem associar às plantas comumente utilizadas em aquários, conhecidas pelo nome popular de “lodo”⁴⁵. Entre essas, destacamos as espécies *Cabomba aquatica* (Figura 9), que apresenta dois tipos de folhas – folhas submersas pequenas, dispostas como fiapos de pêlo liso, e folhas flutuantes em formato arredondado, acompanhando flores amarelas que emergem acima da coluna d'água. A *Apalanthe granatensis* (lodinho-branco; Figura 9), semelhante às plantas de aquários, possui pequenas folhas em formato de elipse com pontas em forma de lança, que ficam submersas na água e pequenas flores brancas⁴⁵. É importante destacar que essa

espécie, embora semelhante a uma espécie exótica invasora como a *Hydrilla verticillata*, que tem causado danos em ecossistemas aquáticos no sul do país (descrição no Quadro 1), é uma espécie nativa e rara na região, requerendo atenção para evitar de ser extinta localmente.

Outras espécies comuns na região pertencem ao gênero *Utricularia* (“lodo”, Figura 9), predominando em lagos, lagoas e igarapés com características específicas, como alta incidência de luz no canal, alta profundidade e baixo fluxo de correnteza⁴⁶. Isto ocorre devido às características peculiares desta espécie. Ela é uma espécie submersa livre, o que significa que possuem raízes pouco desenvolvidas e não estão fixas no leito dos ambientes

aquáticos⁴⁵. Geralmente, ancoram-se ou se prendem, por meio dos seus caules flexíveis, em outras plantas ou estruturas próximas. Além disso, as espécies do gênero *Utricularia* não produzem muitas folhas convencionais. Em vez disso, desenvolvem folhas modificadas em pequenas armadilhas (chamadas de utrículos – de onde vem o nome do gênero) que capturam pequenos organismos que vivem na água, como os chamados zooplâncton e fitoplâncton⁴⁷. Devido a essa característica alimentar peculiar, as espécies de *Utricularia* são consideradas plantas carnívoras, adaptadas a viverem em ambientes com poucos nutrientes e, por possuírem raízes e folhas pouco desenvolvidas, dependem desta forma adicional de captura de microrganismos para complementar sua dieta⁴⁷.



▲ Figura 8 - Diversidade de formas de vida das macrófitas aquáticas: (1) anfíbia; (2) emergente; (3) com folhas flutuantes; (4) submersa livre; (5) submersa enraizada; (6) flutuante livre. Imagem: Rhainer Guillermo Nascimento Ferreira.

A atenção deve ser reforçada nas áreas onde *Urochloa arrecta* está presente, pois esta planta é uma fonte de preocupação em diversas localidades, levando à redução da diversidade das espécies nativas⁴⁹, acarretando efeitos negativos nas comunidades aquáticas. O monitoramento rigoroso dessa espécie é crucial, dado que seu estabelecimento nos locais invadidos impacta negativamente outros grupos de organismos, como a diminuição da abundância de peixes⁵⁰, o que pode ter consequências catastróficas para a diversidade desses ambientes.

Apesar de a região amazônica ainda abrigar uma elevada riqueza de espécies, ela permanece vulnerável às ações humanas que degradam e desmatam a floresta, tendência que vem se intensificando nos últimos anos⁵¹. A biodiversidade aquática é totalmente dependente da floresta ao seu entorno, pois esta desempenha papel vital na preservação dos corpos aquáticos, na regulação climática e na criação de condições ideais para a sobrevivência das espécies, além de prevenir o assoreamento¹⁶. Portanto, o uso sustentável da terra ao redor dos corpos d'água e a preservação dessas áreas se tornam de extrema importância para evitar possíveis extinções de espécies, especialmente de macrófitas aquáticas, preservando a produtividade da região e a manutenção dos igarapés e rios da região de Paragominas.

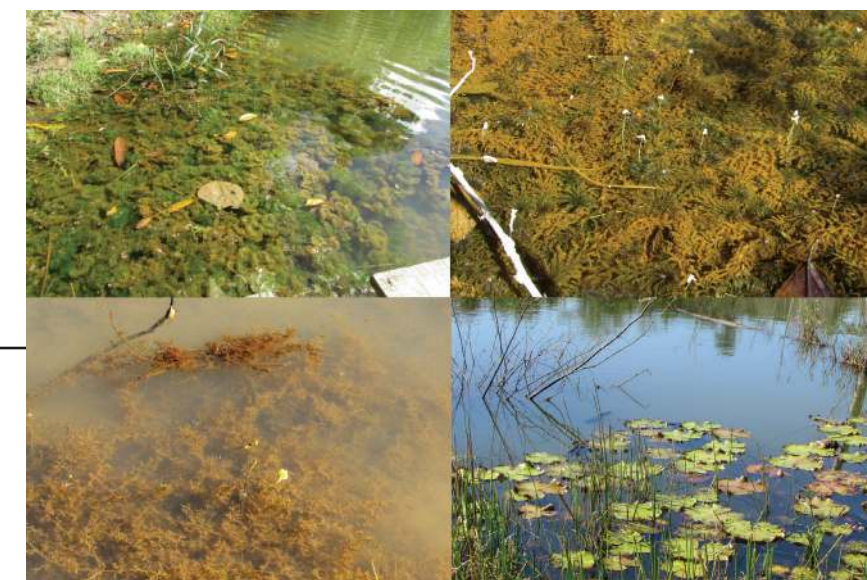
► Figura 9 - Macrófitas aquáticas encontradas na região de Paragominas, PA. Da esquerda para a direita, de cima para baixo: *Cabomba aquatica*; *Apalanthe granatensis*; *Utricularia gibba*; e *Nymphaea rudgeana*. Fotos: Ana Luísa Biondi Fares

Quadro 1 - Definição de espécie exótica invasora

Espécies exóticas invasoras são aquelas que foram levadas (intencionalmente ou acidentalmente) para fora da sua distribuição natural, podendo causar impactos negativos na biodiversidade e no ecossistema no novo local aonde foram introduzidas⁴⁸. Durante as pesquisas desenvolvidas na região da MPSA, na Bacia do rio Capim, situada no município de Paragominas, houve a emissão de um sinal de alerta para a região, pois foi identificado que os ambientes aquáticos estão nos estágios iniciais de invasão por uma espécie exótica – *Urochloa arrecta* (Poaceae). Este é o primeiro registro dessa espécie invasora no Estado do Pará, acendendo uma preocupação para a região⁴⁶.



Registro de *Urochloa arrecta* na região da MPSA. Foto: Ana Luísa Biondi Fares e Thaisa Sala Michelin.



Macroinvertebrados aquáticos

O grupo dos macroinvertebrados aquáticos inclui insetos, moluscos, crustáceos, anelídeos e outros organismos que podem ser vistos a olho nu⁵². Esses invertebrados podem habitar a superfície da água, a interface entre água e o ar (pleuston), flutuar ou nadar ativamente na coluna d'água (plâncton e do nécton, respectivamente). No entanto, a maioria apresenta um comportamento bentônico (*benthos* = fundo, em grego), ou seja, vivem na superfície ou enterrados nos diferentes tipos de substratos existentes no fundo dos ambientes aquáticos, que podem ser orgânicos (como bancos de folhas, detritos finos, musgos e pedaços de madeira) ou inorgânicos (como argila, areia, cascalho e seixos)⁵².

Os macroinvertebrados são responsáveis por diversos processos ecológicos essenciais na manutenção da vida aquática, como a ciclagem de nutrientes e o fluxo de energia nos ecossistemas. Muitas espécies estão diretamente envolvidas na decomposição da matéria orgânica, liberando energia e os nutrientes dos detritos foliares que se acumulam no leito dos corpos d'água²⁰. Além disso, os macroinvertebrados são componentes cruciais das teias tróficas, se alimentando de organismos menores (como microcrustáceos, protozoários e microalgas) e servindo de alimento para animais maiores, como peixes, répteis e outros vertebrados⁵³. No entanto, os macroinvertebrados também podem preda animais maiores, como evidenciado em

algumas espécies de Odonata com aparelhos bucais altamente desenvolvidos (Figura 10).

Entre os macroinvertebrados, os insetos destacam-se como o grupo mais abundante e diverso nos ecossistemas de água doce⁵⁴, incluindo os igarapés amazônicos. Devido à alta diversidade de tamanhos, formas e funções ecológicas, os insetos também têm um papel central em estudos de biodiversidade e monitoramento das condições ambientais⁵⁵. No Quadro 2 são apresentadas informações gerais sobre como as mudanças na paisagem afetam os insetos aquáticos.

No material suplementar (Tabela S2), apresentamos classificação taxonômica e abundância das espécies das cinco ordens de insetos (Hemiptera, Odonata, Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera, conjuntamente denominadas EPT) que possuem maior representatividade e importância nos igarapés da MPSA, localizadas na Bacia do rio Capim, no município de Paragominas, PA. Essas ordens também desempenham um papel significativo nos igarapés amazônicos de maneira geral⁶³.

◀ Figura 10 - Representantes de insetos aquáticos coletados nos igarapés que drenam a MPSA, em Paragominas. Da esquerda para a direita, de cima para baixo: Odonata – *Chalcopteryx rutilans*; Heteroptera – *Tachygerris adamsoni*; Ephemeroptera – *Campylocia*; Plecoptera – *Anacroneuria*; e Trichoptera – *Smicridea*. Fotos: Myllena Suzi Lima Silva, Viviane Caetano e Gabriel Martins.



Quadro 2 - Impactos das atividades humanas na qualidade física dos igarapés e nas ordens de insetos aquáticos estudados

As atividades antrópicas alteram a paisagem terrestre, afetando significativamente as condições naturais dos ambientes aquáticos¹⁶. No Brasil, especialmente na Amazônia, sistemas aquáticos estão sofrendo impactos decorrentes de atividades como pastagens, agricultura, exploração madeireira e mineração. Essas atividades resultam em remoção da vegetação marginal, assoreamento do leito dos canais, mudanças nos parâmetros físico-químicos da água e perda de heterogeneidade e integridade ambiental^{17,52,56}. Essas alterações influenciam na composição das comunidades de organismos aquáticos, que dependem fortemente das condições locais e da área de drenagem ao seu redor⁵⁷. As espécies podem ser categorizadas como sensíveis (sobrevivem em condições ambientais muito específicas e são vulneráveis às mudanças nos ecossistemas) ou tolerantes (capazes de sobreviver em uma variedade maior de condições ambientais, sobrevivendo melhor às mudanças que ocorrem nos ecossistemas), tornando-as bioindicadoras eficientes de integridade ambiental. São utilizadas globalmente em programas de monitoramento das condições ecológicas de ambientes aquáticos⁵⁵. Na Amazônia, várias espécies de Odonata, como *Erythrodiplax basalis*, *Erythrodiplax fusca*, *Diastatops obscura*, e *Acanthagrion adustum*, têm sido identificadas como indicadoras de ambientes alterados⁵⁸. Com exceção de *A. adustum*, pertencente à subordem Zygoptera, as demais espécies pertencem à subordem Anisoptera e demonstram preferência por igarapés

com menor cobertura vegetal e maior incidência solar devido à sua necessidade de termorregulação. A presença de macrófitas nestes ambientes abertos pode beneficiar larvas de algumas espécies de Zygoptera, como a *A. adustum*⁵⁹. Por outro lado, igarapés com menor cobertura vegetal pode resultar em mudanças ambientais, como aumento na temperatura da água, levando à perda de espécies sensíveis como *Heteragrion aurantiacum*, *Protoneura tenuis*, *Mnesarete aenea*, *Argia infumata*, e *Chalcopteryx rutilans*, que são espécies indicadoras de ambientes preservados⁵⁹. Em outros biomas, essas espécies também atuam como indicadoras de condições ecológicas, como *Perithemis lais*, indicadora de ambientes alterados, e *Argia mollis* e *Argia tinctipennis*, para ambientes preservados^{60,61}.

Para a ordem Ephemeroptera encontrados na região, os gêneros *Aturbina*, *Callibaetis*, *Waltzophius*, *Zelus* (família Baetidae), *Tricorythopsis* (Leptohyphidae), e *Caenis* (Caenidae) são indicadores de boa integridade ambiental. Os gêneros *Miroculis* e *Ulmeritoides* (Leptophlebiidae) são mais tolerantes às ações antrópicas⁶². A ordem Plecoptera é particularmente sensível às alterações antropogênicas, como aumento de temperatura da água e redução da velocidade da água⁶³. Os gêneros de Trichoptera *Phylloicus* e *Helicopsyche*, também encontrados nos igarapés da bacia do Capim, são extremamente sensíveis às alterações ambientais.



Da esquerda para direita: riacho impactado por atividades antrópicas, riacho preservado e indivíduo de Odonata do gênero *Heteragrion* sp. (elas são muito sensíveis às alterações ambientais e são só encontradas em igarapés preservados). Fotos: Cristian Camilo Mendoza Penagos.

Percevejos (Hemiptera)

Os Hemiptera, conhecidos popularmente como percevejos⁶³, dividem-se em quatro subordens: Auchenorrhyncha (antigamente denominados Homoptera), Sternorrhyncha, Coleorrhyncha e Heteroptera. A subordem Heteroptera compreende 38.000 espécies descritas em 75 famílias e são amplamente distribuídas pelo mundo, compreendendo as espécies associadas aos ecossistemas aquáticos geralmente conhecidos como insetos Jesus, aranhas d'água e baratas d'água⁶³. Os Heteroptera aquáticos são predominantemente distribuídos em duas infraordens, divididos

em Nepomorpha, que vivem na coluna d'água ou nos substratos do fundo dos ambientes aquáticos, e Gerromorpha, que vivem na superfície aquática, na interface água-ar conhecidos como inseto “Jesus” por caminharem sobre a água. No Brasil, essas duas infraordens têm 480 espécies, sendo 47% registradas somente no país⁶³. Os Nepomorpha são mais frequentes sobre o folheto submerso, enquanto os Gerromorpha são adaptados a uma ampla gama de habitats aquáticos, incluindo águas estagnadas, água corrente, praias costeiras e fitotelmos (pequenas acumulações de água em bromélias e outras

estruturas vegetais). A maioria das espécies são predadoras, alimentando-se de outros insetos e ocasionalmente de pequenos vertebrados, como pequenos peixes e girinos. Algumas espécies raspam biofilmes nas superfícies aquáticas, enquanto outras se alimentam de pedaços de material vegetal ou algas filamentosas⁶³. Estudos realizados na MPSA encontraram quatro famílias de Gerromorpha, compreendendo 12 gêneros e 22 espécies. As espécies *Cilyndrosthetus palmaris* (Gerridae) e *Rhagovelia elegans* (Veliidae) foram as que apresentaram maior abundância de indivíduos.

Libélulas (Odonata)

A ordem Odonata, comumente conhecida como libélulas, libelinhas, jacinta, helicóptero e cambito⁶⁴, engloba mais de 6.400 espécies mundialmente, sendo o Neotrópico a região mais diversa. No Brasil, existem 901 espécies de libélulas descritas, sendo 195 endêmicas⁶⁵ – somente a Amazônia brasileira apresenta 15 famílias e 90 gêneros^{65,66}. Esses insetos possuem larvas aquáticas e adultos terrestres. As larvas são predadoras que podem emboscar sua presa ou do tipo “senta-e-espera”, permanecendo imóveis à espera da presa e, no momento

propício, atacam. As larvas habitam diversos habitats aquáticos, incluindo substratos finos, macrófitas e fitotelmatas da água acumulada em bromélias e troncos das árvores⁶⁷. Por conta da sua sensibilidade às mudanças ambientais, são usadas como bioindicadores de qualidade ambiental⁶⁸, para monitoramento das Unidades de Conservação Federal na Amazônia⁶⁹ e apresentam estreita relação com outros organismos aquáticos (Quadro 3). Na MPSA, registraram-se 117 espécies de Odonata, incluindo algumas com interesse para a conservação^{34,74}; destas

Epipleoneura haroldoi é considerada como ‘quase ameaçada’. *Chalcopteryx radians*, *Phyllogomphoides cepheus*, *Macrothemis lutea* e *Argia tupi* são as quatro espécies com dados insuficientes e que merecem mais estudos. Outras espécies, como *Acanthagrion aepiolum*, *Acanthagrion kennedii*, *Acanthagrion apicale*, *Acanthagrion ascendens*⁷⁰, *Macrothemis ludia* e *Telebasis sanguinalis* não possuem avaliação pela IUCN, e 85 são classificadas como ‘pouco preocupantes’ na avaliação das espécies ameaçadas no Brasil⁷¹.

Ephemeroptera, Plecoptera & Trichoptera

As ordens Ephemeroptera (efemérides) (Figura 11), Plecoptera e Trichoptera, juntas conhecidas como “EPT”, são bioindicadores confiáveis da integridade ecológica dos ambientes aquáticos devido à sua sensibilidade às alterações dos habitats bem como pela relativa facilidade na captura e identificação de suas larvas^{62,72}.

A ordem Ephemeroptera possui aproximadamente 3.500 espécies descritas mundialmente⁷³ e é considerada uma das mais antigas, do período Carbonífero (em torno de 300 milhões de anos)⁷⁴. O nome da ordem é referente ao curto período de vida dos adultos, vive de poucos dias a poucas horas enquanto as ninfas podem viver

de vários meses a vários anos⁷⁴. Em muitas espécies, os adultos até mesmo carecem de aparato bucal e digestivo, e sua única função é a reprodução, sendo realizada em grandes revoadas. Enquanto ninfas, vivem nos mais diversos habitats aquáticos, de substratos finos a grosseiros, em corredeiras e remansos, podendo ser predadores,

raspadores de biofilme ou coletores de matéria orgânica fina⁷⁵. Estudos realizados até o momento registraram 27 gêneros de Ephemeroptera, pertencentes a sete famílias, na bacia do rio Capim, na MPSA⁷².

Os Plecoptera, com cerca de 3.500 espécies descritas, têm 143 espécies registradas no Brasil. São organismos que atuam primariamente como predadores ou fragmentadores de material vegetal. As ninfas são típicas de águas correntes e frias, por isso

as abundâncias são relativamente baixas na região Amazônica⁶². Na região da MPSA até o momento foram encontrados três gêneros de Perlidae, incluindo *Anacroneuria*, *Enderleina* e *Macrogynoplax*⁷⁶. A ordem Trichoptera é a mais diversa entre os EPT, apresentando cerca de 14.500 espécies descritas, sendo aproximadamente 660 registradas no Brasil e 130 na região amazônica⁷⁷. As larvas habitam os mais variados habitats aquáticos e são conhecidas por fazerem abrigos móveis ou fixos ao substrato de

fundo no intuito de se abrigarem de predadores ou coletar alimento. Para isso, utilizam materiais dos mais diversos, incluindo pequenas pedras, galhos e folhas, por esse motivo sendo chamados de “arquitetos das águas”. Na bacia do rio Capim, até o momento, foram registrados 19 gêneros de Trichoptera, em 10 famílias⁷⁶. Dentre os gêneros mais abundantes na região, podemos citar *Macroster-num* (Hydropsychidae) e *Cernotina* (Polycentropodidae).



◀ Figura 11 - De cima para baixo: grupo Ephemeroptera, ninfa de *Miroculis* sp. (Leptophlebiidae); adulto de *Hermanellopsis* sp. (Leptophlebiidae). Fotos: Myllena Suzi Lima Silva.

Quadro 3 - Interações entre as espécies de adultos de Odonata e outros organismos, incluindo EPT, macrófitas e peixes.

As especificidades ambientais de cada táxon aquático desempenham um papel fundamental na configuração das comunidades nos igarapés. Além disso, fatores emergentes, como as complexas interações bióticas entre as espécies, exercem uma influência significativa na estruturação das comunidades. Calvão e colaboradores⁷⁰ observaram que a composição de Odonata é dependente das relações com EPT, macrófitas e peixes.

Portanto, uma análise dessas interações no espaço e no tempo, considerando diferentes usos da terra, podem elucidar questões-chave para a conservação não apenas das espécies, mas também das conexões que mantêm com o meio biótico e abiótico circundante. Como consequência desses esforços, é possível contribuir para a preservação da biodiversidade e para a garantia da qualidade da água para toda a bacia hidrográfica.



De cima para baixo: indivíduo de Zygoptera do gênero *Argia* cuja ocorrência está relacionada com os grupos funcionais de peixes e; Anisoptera do gênero *Zenithoptera* cuja presença nos riachos é afetada positivamente pela presença de macrófitas, ausência de EPT e baixo valor de índice de integridade. Fonte: Calvão *et al.* 2020. Foto: Cristian Camilo Mendoza Penagos.

Peixes



▲ Figura 12 - Da esquerda para a direita, de cima para baixo: representantes das principais famílias de peixes coletadas em igarapés que drenam a área da MPSA, em Paragominas, PA. Incluindo os Characidae (*Hemigrammus ocellifer* e *Moenkhausia commis*), os Loricariidae (*Farlowella* sp. e *Rineloricaria hasemani*), e os Cichlidae (*Satanoperca jurupari* e *Aequidens tetramerus*). Imagem: Gilberto Nepomuceno Salvador.

De riqueza imensurável, a região Neotropical abriga a fauna de peixes de água doce mais diversificada do planeta, com estimativas variando entre 8.000 e 9.000 espécies, sendo mais de 5.150 espécies formalmente descritas^{78,79}. Apenas na Bacia Amazônica, reconhecida como a mais rica em diversidade de água doce, há o registro de 2.700 espécies de peixes, distribuídas em 60 famílias e 18 ordens⁷⁹. Vale ressaltar que aproximadamente 1.700 destas espécies são exclusivas dessa bacia, reforçando a importância de preservação da biodiversidade aquática deste bioma.

Em termos de riqueza de espécies e número, os peixes amazônicos

estão organizados da seguinte forma: 1) Characiformes: piabas, traíras, piranhas, pacus, jaraquis e outros peixes com escamas pelo corpo, com aproximadamente 1.070 espécies distribuídas em 17 famílias, sendo Characidae (principalmente os peixes-tetras e as piabas) a mais representativa, com aproximadamente 635 espécies; 2) Siluriformes: peixes de couro ou placas ósseas, como os bagres e acaris, contendo em torno de 960 espécies pertencentes a 12 famílias, onde os Loricariidae (acaris) apresentam a maior riqueza, com aproximadamente 365 espécies; 3) Cichliformes: acarás, jacundás e tucunarés, com 260 espécies aproximadamente alocadas em Cichlidae, e com

maior riqueza dentre as famílias⁷⁹ (Figura 12).

Abaixo, apresentamos as informações do inventário biológico, realizado em 18 igarapés nas bacias hidrográficas que drenam nos arredores da MPSA, localizadas na Bacia do rio Capim em Paragominas, PA. Nessa pesquisa, registramos 3.695 peixes, representando 60 espécies pertencentes a 20 famílias e seis ordens (Tabela S3 - classificação taxonômica e abundância das espécies de peixes disponível no material suplementar). Como esperado para a Bacia Amazônica, os Characiformes predominaram, representando 77,24% dos indivíduos capturados, seguidos por



▲ Figura 13 - Representantes das espécies de peixes coletadas em igarapés que drenam a MPSA, em Paragominas, PA. Da esquerda para a direita, de cima para baixo: *Hyphessobrycon heterorhabdus*; *Hemigrammus bellottii*; *Nannostomus trifasciatus*; *Copella arnoldi*; *Erythrinus erythrinus*; *Hoplias malabaricus*; *Helogenes marmoratus*; *Gymnotus anguilaris*; *Apistogramma gr. regani*; *Apistogramma agassizii*. Imagem: Gilberto Nepomuceno Salvador

10,70% de Cichliformes. As espécies mais abundantes foram as piabas *Hemigrammus bellottii* e *Hyphessobrycon heterorhabdus* (N = 830 e 663, respectivamente)⁸⁰ (Figura 13).

A alta diversidade de peixes na área de estudo abrange uma variedade de características ecológicas,

gerando serviços ecossistêmicos complementares. O inventário biológico destacado contém espécies que ocupam diferentes micro-habitats nos igarapés, pertencentes a distintas guildas tróficas, com uma gama variada de hábitos reprodutivos e de comportamentos ecológicos. No Quadro 4

estão resumidas algumas dessas informações para cada ordem de peixe documentada no estudo.

É importante lembrar que algumas das espécies registradas nos estudos desempenham papéis ecológicos significativos. Por exemplo, as traíras (*Hoplias*

Quadro 4 - Características ecológicas das ordens de peixes registradas em 18 igarapés na bacia do rio Capim em Paragominas, PA⁸¹.

A ordem mais diversa e abundante entre os peixes de água doce é a Characiformes. Seu corpo é coberto por escamas e compreende indivíduos de diferentes tamanhos, variando de pequenos (p.ex., espécies de piabas do gênero *Hemigrammus*) a grandes (p.ex., espécies de tambaqui do gênero *Colossoma*). A diversidade dentro dessa ordem também abrange os hábitos alimentares, incluindo espécies onívoras, carnívoras, piscívoras e herbívoras. Esses peixes podem ocupar diferentes micro-habitat nos ecossistemas aquáticos, desde a superfície até o substrato, associados a estruturas (p.ex., troncos e rochas), próximo às margens, e em áreas mais profundas. A incrível plasticidade ecológica dos Characiformes os capacita a se adaptar a ambientes variados com diferentes níveis de integridade ambiental.

A ordem Cichliformes também é muito diversa, com aproximadamente 400 espécies descritas na América do Sul, concentrando-se principalmente na Amazônia. Esses peixes possuem corpos cobertos por escamas e variam em tamanho, desde poucos centímetros (espécies do gênero *Apistogramma*), até quase um metro (espécies do gênero *Cichla*). Muitas espécies de Cichliformes possuem importância econômica (p.ex., aquarismo, pesca comercial e esportiva), além de relevância ecológica. Apresentam comportamentos distintos, como a defesa de territórios e cuidado parental. Sua alimentação inclui invertebrados, peixes e plânctons, tornando-os essencialmente onívoros.

Os peixes da ordem Cyprinodontiformes, representados aqui pela família Rivulidae, são de pequeno porte e possuem corpo coberto por escamas. Caracterizam-se por possuir ciclo de vida anual e são frequentemente encontrados em ambientes temporários (p.ex., poças laterais aos igarapés) e trechos mais calmos de águas paradas (lênticos). Devido à sua habilidade de se deslocar entre os diferentes habitats aquáticos, são chamados de peixes-saltadores. Sua boca voltada para cima

permite a alimentação de invertebrados oriundos do ambiente terrestre (alóctones).

Os peixes da ordem Gymnotiformes, conhecidos como sarapós e/ou ituí, variam em tamanho de poucos centímetros a metros, sendo o poraquê (espécies do gênero *Electrophorus*) o membro mais famoso. Todos os peixes desta ordem possuem um sistema de eletrolocalização eficiente, que lhes permite gerar e captar impulsos elétricos para perceber objetos e outros organismos. Possuem principalmente hábitos alimentares carnívoros e piscívoros, consumindo pequenos invertebrados e outros peixes. Habitam áreas com águas mais lentas, frequentemente associadas a bancos de folhas e matéria orgânica acumulada. Algumas espécies (p.ex., peixes das famílias Gymnotidae e Hypopomidae) possuem respiração aérea acessória, permitindo-lhes tolerar baixas concentrações de oxigênio dissolvido.

A ordem Siluriformes é altamente diversa, englobando peixes de corpo liso (de couro, os bagres), e aqueles cobertos por placas ósseas (cascudos). Geralmente, esses peixes são associados ao substrato ou a estruturas como troncos e rochas. O hábito alimentar predominante é carnívoro, com algumas espécies consumindo ainda frutos e sementes.

Os peixes da ordem Synbranchiformes, representados pela família Synbranchidae, incluem o muçum, (*Synbranchus marmoratus*). Apresentam corpos alongados (serpentiforme) e uma única abertura branquial na parte inferior da cabeça. Esses peixes podem ser encontrados em diferentes ambientes aquáticos, preferencialmente em tocas no substrato ou associados à vegetação aquática. Alimentam-se principalmente de invertebrados aquáticos e peixes, e possuem capacidade de absorver oxigênio diretamente do ar, permitindo que ocupem ambientes com águas mais paradas e com baixos níveis de oxigenadas.

malabaricus) atuam como predadores, controlando as populações de outras espécies de peixes e invertebrados (Figura 14). Além disso, a espécie *Helogenes marmoratus* (Siluriformes, Cetopsidae) é uma boa indicadora de ambientes preservados, dada sua especialização em hábitos associada a bancos

de folhas depositadas no leito dos corpos d'água⁸².

Outra função crucial dos peixes nos ambientes naturais é a dispersão de sementes (ictiocoria). Neste sentido, os peixes da família Auchenipteridae, exemplificados pela espécie *Trachelyopterus*

galeatus, se destacam por possuírem dieta onívora, abrangendo uma diversidade de itens tanto de origem animal quanto vegetal, incluindo frutos e sementes variadas. Esta dieta combinada com sua habilidade de percorrer longas distâncias permite aos peixes dessa família transportar sementes de

um local para outro, por meio da ingestão em um local e regurgitação em outro, promovendo a regeneração e manutenção das áreas ripárias⁸³.

E ainda contamos com espécies que possuem grande importância econômica. É o caso dos caracídeos (Characidae), espécies do gênero *Hemigrammus*, popularmente conhecidos como tetras, piabas ou lambaris. Esses peixes apresentam cores vibrantes, hábito generalista, adaptabilidade a diferentes níveis de impactos e uma alimentação predominantemente composta por inverte-

brados⁸⁴. Outros peixes bastante apreciados no aquarismo são os ciclídeos (Cichlidae), particularmente espécies do gênero *Apistogramma* (Figura 15), conhecidos popularmente como acarazinho, que exibem padrões distintos de cores. A espécie *Farlowella amazonum* (Loricariidae), um acari cachimbo, também desperta interesse devido seu hábito bentônico, normalmente associado a estruturas como galhos e rochas, onde sua aparência e cores contribuem para sua camuflagem no ambiente, proporcionando eficácia na busca por recursos e proteção contra predadores⁸⁵.

Conheça a lista de macrófitas e macroinvertebrados do município de Paragominas, Pará, Brasil. Utilize o QR code abaixo para acessar as tabelas S1 e S2.



◀ Figura 14 - Exemplar de traíra *Hoplías malabaricus* (foto subaquática), um dos principais predadores de igarapés. Foto: Gabriel Brejão.



◀ Figura 15 - Foto subaquática de um exemplar do gênero *Apistogramma* da bacia do rio Capim. Foto: Gabriel Brejão.

Avanços e desafios futuros

Como destacado neste capítulo, os igarapés de pequeno porte desempenham papel fundamental na formação e sustentação da bacia hidrográfica da Amazônia, com enfoque especial nos estudos realizados na bacia do rio Capim. As condições climáticas têm impacto significativo no fluxo de água e em sua perenidade ao longo do ano. Devido à intrínseca ligação com a paisagem circundante, esses igarapés são altamente influenciados pela mata ciliar adjacente às suas margens. Mudanças físicas nas margens, resultantes das atividades de uso da terra, podem resultar na diminuição da mata ciliar, ao assoreamento do canal, e à uniformização (homogeneização) dos substratos e do canal, resultando na redução da integridade e da complexidade do ambiente. Tais alterações também afetam os parâmetros químicos da água como o pH, temperatura, oxigênio dissolvido, condutividade e sólidos dissolvidos, entre outros. As mudanças desses parâmetros, isoladamente ou em conjunto, impactam diretamente na biodiversidade, podendo reduzir a abundância, causar a extinção local das espécies, provocar mudanças na composição de espécies e ainda favorecer a entrada de espécies exóticas invasoras.

Portanto, uma estratégia para avaliar esses efeitos ou as consequências dessas alterações é realizando o monitoramento da biodiversidade de grupos sensíveis, como os insetos aquáticos (EPT, Heteroptera e Odonata), macrófitas aquáticas e peixes, que pode ser realizado observando variações da abundância ou na distribuição das comunidades biológicas, com base em espécies bioindicadoras ou na detecção da presença de substâncias tóxicas nos organismos aquáticos residentes.

No estudo realizado nessa região, encontramos alta biodiversidade aquática, com mais de 248 espécies. Foram registradas 49 espécies de macrófitas aquáticas, 22 espécies de Heteroptera, 117 espécies de Odonata, 60 espécies de peixes e 49 gêneros para EPT. É válido ressaltar que uma parte significativa dessa biodiversidade contribui de maneira essencial para os serviços ecossistêmicos do ambiente aquático, desempenhando um papel crucial na manutenção da qualidade da água. Além disso, muitas espécies possuem alto grau de endemidade e são de grande interesse para a conservação, com seus status sendo avaliados nas listas nacionais e internacionais da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN).

Estudos de monitoramentos da biodiversidade aquática, como os apresentados neste capítulo, são muito importantes para diminuir as lacunas de conhecimento existentes na Amazônia e na ampliação

de nosso entendimento do funcionamento dos sistemas aquáticos e como podemos assegurar sua conservação. Somente por meio dessas informações e de pesquisas de longo prazo poderemos alcançar os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável no Brasil (proposta pelas Nações Unidas Brasil). Entre eles, "garantir a continuidade de serviços essenciais como o acesso à água limpa e de qualidade de vida", conforme preconiza o objetivo 06 (que garante o acesso à água potável e o saneamento), o objetivo 13 (focado no desenvolvimento de ação contra a mudança global do clima), e o objetivo 14 (que garante a vida na água).

É notável como a ciência pode impactar direta e indiretamente na vida das pessoas, ao gerar conhecimento que é aplicado à sociedade. Preservar e cuidar desses ambientes aquáticos é sinônimo de conservar a biodiversidade e de garantir um futuro mais promissor e sustentável para todos.

Sugestões de leitura

- CALVÃO, L. B.; PAIVA, C. K. S. de; BRITO, J. S.; FARES, A. L.; MAIA, C.; MICHELAN, T. S.; MONTAG, L. F. A.; JUEN, L. Influence of Biotic and Abiotic Factors On Adult Odonata (Insecta) In Amazon Streams. *Animal Biology*, v. 71, p. 67-84, 2020. Doi: 10.1163/15707563-bja10047
- FARES, A. L. B.; CALVÃO, L. B.; TORRES, N. R.; GURGEL, E. S. C.; MICHELAN, T. S. Environmental factors affect macrophyte diversity on Amazonian aquatic ecosystems inserted in an anthropogenic landscape. *Ecological Indicators*, v. 113, 2020. Doi: 10.1016/j.ecolind.2020.106231
- MAIA, C.; SALVADOR, G. N.; BEGOT, T. O.; FREITAS, P. V.; NONATO, F. A. S.; TORRES, N. R.; JUEN, L.; MONTAG, L. F. A. Fish functional responses to local habitat variation in streams within multiple land uses areas in the Amazon. *Neotropical Ichthyology*, v. 20, p. e220091, 2022. Doi: 10.1590/1982-0224-2022-0091
- MENDES, T. P.; MONTAG, L. F. A.; MICHELAN, T. S.; JUEN, L. *et al.* Recovery processes in areas affected by mining: a scientometric review. *Ciência e Natura*, v. 43, 2021. Doi: 10.5902/2179460X44045
- PAIVA, C. K. S.; FARIA, A. P. J.; CALVÃO, L. B.; JUEN, L. (2021). The anthropic gradient determines the taxonomic diversity of aquatic insects in Amazonian streams. *Hydrobiologia*, v. 848, p. 1073-1085, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04515-y>

Referências

1. VENTICINQUE, E; FORSBERG, B; BARTHEM, R; PETRY, P; HESS, L; MERCADO, A. *et al.* An explicit GIS-based river basin framework for aquatic ecosystem conservation in the Amazon. *Earth Syst Sci Data*, v. 8, p. 651–661, 2016. Doi:10.5194/essd-8-651-2016
2. WOHL, E. E. Hydrology and Discharge. In: GUPTA, A. (Ed.) *Large rivers: Geomorphology and management*. Nova Jersey, EUA: John Wiley & Sons Ltd, 2007.
3. WELCOMME, R. *River fisheries*. FAO Fish, editor. Rome; 1985.
4. SORRIBAS, M. V; PAIVA, R. C. D; MELACK, J. M; BRAVO, J. M; JONES, C; CARVALHO, L. *et al.* Projections of climate change effects on discharge and inundation in the Amazon basin. *Climate Change*, v. 136, p. 555–570, 2016. Doi:10.1007/s10584-016-1640-2
5. WONGCHUIG, C. S; PAIVA, R. C. D; ESPINOZA, J. C; COLLISCHONN, W. Multi-decadal Hydrological Retrospective: Case study of Amazon floods and droughts. *J Hydrol (Amst)*, v. 549, p. 667–684, 2017. Doi:10.1016/j.jhydrol.2017.04.019
6. JUNK, W. J. Structure and Function of the Large Central Amazonian River Floodplains: Synthesis and Discussion. In: JUNK, Wolfgang J. (Ed.) *The central Amazon floodplain*. Oklahoma: Springer, 1997. p. 455–472. doi:10.1007/978-3-662-03416-3_23
7. MOEGENBURG, S. M. Spatial and Temporal Variation in Hydrochory in Amazonian Floodplain Forest1. *Biotropica*, v. 34, p. 606–612, 2002. Doi:10.1111/j.1744-7429.2002.tb00581.x
8. JUNK, W. J; SOARES, M. G. M; BAYLEY, P. B. Freshwater fishes of the Amazon River basin: their biodiversity, fisheries, and habitats. *Aquat Ecosyst Health Manag.*, v. 10, p. 153–173, 2007. Doi:10.1080/14634980701351023
9. PIEDADE, M. T. F; JUNK, W; D'ÂNGELO, S. A; WITTMANN, F; SCHÖNGART, J; BARBOSA, K. M do N. *et al.* Aquatic herbaceous plants of the Amazon floodplains: state of the art and research needed. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 22, p. 165–178, 2010. Doi:10.4322/actalb.02202006
10. JUEN, L; CUNHA, E. J; CARVALHO, F. G; FERREIRA, M. C; BEGOT, T. O; ANDRADE, A. L; SHIMANO, Y. F; LEÃO, H.; POMPEU, P.; MONTAG, L. F. A. Effects of oil palm plantations on the habitat structure and biota of streams in eastern amazon. *River Res Appl.*, v. 22, p. 1085–1095, 2016. Doi:10.1002/rra
11. MONTAG, L. F. A; LEÃO, H; BENONE, N. L.; MONTEIRO-JÚNIOR, C. S; FARIA, A. P. J; NICACIO, G. *et al.* Contrasting associations between habitat conditions and stream aquatic biodiversity in a forest reserve and its surrounding area in the Eastern Amazon. *Hydrobiologia*, v. 826, p. 263–277, 2019. Doi:10.1007/s10750-018-3738-1
12. BRASIL, L. S; LIMA, E. L; SPIGOLONI, Z. A; RIBEIRO-BRASIL, D. R. G; JUEN, L. The habitat integrity index and aquatic insect communities in tropical streams: A meta-analysis. *Ecol Indic.* v. 116, p. 106495, 2020. doi:10.1016/j.ecolind.2020.106495
13. BRITO, J. S; MICHELAN, T. S; JUEN, L. Aquatic macrophytes are important substrates for Libellulidae (Odonata) larvae and adults. *Limnology* (Tokyo), v. 22, p. 139–149, 2021. Doi:10.1007/s10201-020-00643-x
14. NONATO, F. A. S; MICHELAN, T. S; FREITAS, P. V; MAIA, C; MONTAG, L. F. A. Heterogeneity of macrophyte banks affects the structure of fish communities in flooded habitats of the Amazon Basin. *Aquat Ecol.*, v. 55, p. 215–226, 2021. Doi:10.1007/s10452-020-09823-4
15. CASTELLO, L; MACEDO, M. N. Large-scale degradation of Amazonian freshwater ecosystems. *Glob Chang Biol.* v. 22, p. 990–1007, 2016. doi:10.1111/gcb.13173
16. DALA-CORTE, R. B; MELO, A. S; SIQUEIRA, T; BINI, L. M; MARTINS, R. T; CUNICO, A. M. *et al.* Thresholds of freshwater biodiversity in response to riparian vegetation loss in the Neotropical region. *Journal of Applied Ecology*, v. 57, p. 1391–1402, 2020. Doi:10.1111/1365-2664.13657
17. CARVALHO, F. G; ROQUE, O. F; BARBOSA, L; MONTAG, L. F. A; JUEN, L. Oil palm plantation is not a suitable environment for most forest specialist species of Odonata in Amazonia. *Anim Conserv.*, v. 21, p. 526–533, 2018. Doi:10.1111/acv.12427
18. TUNDISI, J. G; MATSUMURA-TUNDISI, T; TUNDISI, J. E. M. Reservoirs and human well-being: new challenges for evaluating impacts and benefits in the neotropics. *Brazilian Journal of Biology*, v. 68, p. 1133–1135, 2008. Doi:10.1590/S1519-69842008000500020
19. WU, H; HAO, B; JO, H; CAI, Y. Seasonality and Species Specificity of Submerged Macrophyte Biomass in Shallow Lakes Under the Influence of Climate Warming and Eutrophication. *Front Plant Sci.*, v. 12, 2021. Doi:10.3389/fpls.2021.678259
20. ESTEVES, F. D. A. *Fundamentos de Limnologia*. 3ª edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
21. VANNOTE, R. L; MINSHALL, G. W; CUMMINS, K. W; SEDELL, J. R; CUSHING, C. E. The River Continuum Concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. n. 37, p. 130–137, 1980. doi:10.1139/f80-017
22. CUMMINS, K. W; MERRITT, R.W; ANDRADE, P. C. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. *Stud. Neotrop. Fauna Environ.* v. 40, p. 69–89, 2005. Doi:10.1080/01650520400025720
23. COE, M. T; MACEDO, M. N; BRANDO, P. M; LEFEBVRE, P; PANDAY, P; SILVÉRIO, D. The Hydrology and Energy Balance of the Amazon Basin. In: NAGY, Laszlo; ARTAXO, Paulo; FORSBERG, Bruce . *Rider Ecological Studies Interactions Between Biosphere, Atmosphere and Human Land Use in the Amazon Basin*, Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2016. p. 35–53. Doi:10.1007/978-3-662-49902-3_3
24. WANG, S; WANG, T. T; TANG, J. P; WANG, L; YANG, Y; LIN, H-J. *et al.* Longitudinal variation in fish prey utilization, trophic guilds, and indicator species along a large subtropical river, China. *Ecol Evol.* n. 8, p. 11467–11483, 2018. Doi:10.1002/lece3.4577
25. OBERDORFF, T; DIAS, M. S; JÉZÉQUEL, C; ALBERT, J. S; ARANTES, C. C; BIGORNE, R. *et al.* Unexpected fish diversity gradients in the Amazon basin. *Sci Adv.*, v. 5, 2019. Doi:10.1126/sciadv.aav8681
26. HORTAL. J; BELLO, F.; DINIZ-FILHO, J. A. F.; LEWIN-SOHN, T. M.; LOBO, J. M.; LADLE, R. J. Seven Shortfalls that Beset Large-Scale Knowledge of Biodiversity. *Annu Rev Ecol Evol Syst.*, v. 46, p. 523–549, 2015. Doi:10.1146/annurev-ecolsys-112414-054400
27. CARDOSO, M. N.; SHIMANO, Y.; CRUZ, P.; BOLDRINI, R.; MARIANO, R.; NESSIMIAN, J. L. *et al.* Assessing the distribution of mayflies (Ephemeroptera: Insecta) in the Brazilian Amazon to guide more effective conservation. *Aquat Conserv.*, v. 33, p. 337–348, 2023. Doi:10.1002/aqc.3934
28. FEARNSIDE, P. M. Amazon Forest maintenance as a source of environmental services. *An Acad Bras Cienc.*, v. 80, p. 101–114, 2008. Doi:10.1590/S0001-37652008000100006
29. KAUFMANN, P. R.; LEVINE, P.; ROBISON, E. G.; SEELIGER, C.; PECK, D. V. *Quantifying Physical habitat in Wadeable streams*. Office of Research and Development UEPa, editor. Environmental Effects Research Laboratory. EPA/620/R-99/003, jul. 1999.
30. NESSIMIAN, J. L.; VENTICINQUE, E. M.; ZUANON, J.; DE MARCO, P.; GORDO, M.; FIDELIS, L. *et al.* Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia*, v. 614, p. 117, 2008. Doi:10.1007/s10750-008-9441-x
31. CUNHA, E. J.; JUEN, L. Impacts of oil palm plantations on changes in environmental heterogeneity and Heteroptera (Gerromorpha and Nepomorpha) diversity. *J Insect Conserv.*, v. 21, p. 111–119, 2017. Doi:10.1007/s10841-017-9959-1
32. MIGUEL, T. B.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B.; LIGEIRO, R.; JUEN, L. Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. *Ecol Indic.* n. 81, p. 555–566, 2017. Doi:10.1016/j.ecolind.2017.06.010
33. MENDES, T. P.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B.; CABETTE, H. S. R.; BATISTA, J. D.; JUEN, L. Congruence and the Biomonitoring of Aquatic Ecosystems: Are Odonate Larvae or Adults the Most Effective for the Evaluation of Impacts. *Neotrop. Entomol.*, v. 46, p. 631–641, 2017. Doi:10.1007/s13744-017-0503-5
34. OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B de; DE MARCO, P. J.; DIAS-SILVA, K.; LEITÃO, R. P.; LEAL, C. G.; POMPEU, P. S. *et al.* Effects of human disturbance and riparian conditions on Odonata (Insecta) assemblages in eastern Amazon basin streams. *Limnologia*, v. 66, p. 31–39, 2017. Doi:10.1016/j.limno.2017.04.007
35. NEWMAN, M. C. *Fundamentals of Ecotoxicology - The Science of Pollution*. Boca Raton, Flórida: CRC Press, 2020. P. 50–100.
36. BORNETTE, G.; PUIJALON, S. Response of aquatic plants to abiotic factors: a review. *Aquat Sci.*, v. 73, p. 1–14, 2011. doi:10.1007/s00027-010-0162-7
37. POMPÊO, M. *Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros*. Universidade de São Paulo. Instituto de Biociências; 2023. Doi:10.11606/9788585658670
38. KINUPP, V. F.; BARROS, I. B. I. Teores de proteína e minerais de espécies nativas, potenciais hortaliças e frutas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 28, p. 846–857, 2008. Doi:10.1590/S0101-20612008000400013
39. THOMAZ, S. M.; CUNHA, E. R. The role of macrophytes in habitat structuring in aquatic ecosystems: methods of measurement, causes and consequences on animal assemblages' composition and biodiversity. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 22, p. 218–236, 2010. doi:10.4322/actalb.02202011.
40. CHAMBERS, P. A.; LACOUL, P.; MURPHY, K. J.; THOMAZ, S. M. Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. Freshwater Animal Diversity Assessment. Dordrecht: Springer Netherlands, 2007. p. 9–26. Doi:10.1007/978-1-4020-8259-7_2.
41. MOURA, E. G. J.; PAIVA, R. M. S.; FERREIRA, A.C.; PACOPAHYBA, L. D.; TAVARES, A. S.; FERREIRA, F.A. *et al.* Updated checklist of aquatic macrophytes from Northern Brazil. *Acta Amazon.* v. 45, p. 111–132, 2015. Doi:10.1590/1809-4392201402662.
42. JUNK, W. J.; HOWARD-WILLIAMS, C. Ecology of aquatic macrophytes in Amazonia. In: JUNK, W. J.; HOWARD-WILLIAMS, C. *The Amazon*. Oklahoma, EUA: Springer, 1984. P. 269–293. Doi:10.1007/978-94-009-6542-3_10.
43. FARES, A. L. B.; CALVÃO, L. B.; TORRES, N. R.; GURGEL, E. S. C.; MICHELAN, T. S. Environmental factors affect macrophyte diversity on Amazonian aquatic ecosystems inserted in an anthropogenic landscape. *Ecol Indic.* v. 113, p. 106231, 2020. Doi:10.1016/j.ecolind.2020.106231
44. FARES, A. L. B.; SOUSA, R. L. M.; GURGEL, E. S. C.; GIL, A. S. B.; SILVA, C. A. S.; MICHELAN, T. S. Diversity of macrophytes in the Amazon deforestation arc: information on

- their distribution, life-forms and habits. *Rodriguésia*, n. 72, 2021. Doi:10.1590/2175-7860202172117
45. POTT, V. J.; POTT, A.; LIMA, L. C. P.; MOREIRA, S. N.; OLIVEIRA, A. K. M. Aquatic macrophyte diversity of the Pantanal wetland and upper basin. *Brazilian Journal of Biology*, v. 71, p. 255–263, 2011. Doi:10.1590/S1519-69842011000200004
 46. FARES, A. L. B.; NONATO, F. A. S.; MICHELAN, T. S. New records of the invasive macrophyte, *Urochloa arrecta* extend its range to eastern Brazilian Amazon altered freshwater ecosystems. *Acta Amazon.*, n. 50, p. 133–137, 2020. Doi:10.1590/1809-4392201903831
 47. KOLLER-PEROUTKA, M.; LENDL, T.; WATZKA, M.; ADLASSNIG, W. Capture of algae promotes growth and propagation in aquatic Utricularia. *Ann Bot.*, v. 115, p. 227–236, 2015. Doi:10.1093/aob/mcu236
 48. PYŠEK, P.; RICHARDSON, D. M. Invasive Species, Environmental Change and Management, and Health. *Annu Rev Environ Resour.*, v. 35, p. 25–55, 2010. Doi:10.1146/annurev-environ-033009-095548
 49. MICHELAN, T. S.; THOMAZ, S. M.; MORMUL, R. P.; CARVALHO, P. Effects of an exotic invasive macrophyte (tropical signalgrass) on native plant community composition, species richness and functional diversity. *Freshw Biol.*, v. 55, p. 1315–1326, 2010. Doi:10.1111/j.1365-2427.2009.02355.x
 50. CARNIATTO, N.; THOMAZ, S. M.; CUNHA, E. R.; FUGI, R.; OTA, R. R. Effects of an Invasive Alien Poaceae on Aquatic Macrophytes and Fish Communities in a Neotropical Reservoir. *Biotropica*, v. 45, p. 747–754, 2013. Doi:10.1111/btp.12062
 51. CARVALHO, W. D.; MUSTIN, K.; HILÁRIO, R. R.; VASCONCELOS, I. M.; EILERS, V.; FEARNSSIDE, P. M. Deforestation control in the Brazilian Amazon: A conservation struggle being lost as agreements and regulations are subverted and bypassed. *Perspect Ecol Conserv.*, v. 17, p. 122–130, 2019. Doi:10.1016/j.pecon.2019.06.002
 52. ALLAN, J. D.; CASTILLO, M. M. Stream Ecology. Dordrecht: Springer Netherlands, 2007. Doi:10.1007/978-1-4020-5583-6
 53. COVICH, A. P.; PALMER, M. A.; CROWL, T. A. The Role of Benthic Invertebrate Species in Freshwater Ecosystems. *Bioscience*, v. 49, p. 119, 1999. Doi:10.2307/1313537
 54. DIJKSTRA, K-D. B.; MONAGHAN, M. T.; PAULS, S. U. Freshwater Biodiversity and Aquatic Insect Diversification. *Annu Rev Entomol.*, v. 59, p. 143–163, 2014. Doi:10.1146/annurev-ento-011613-161958
 55. RUARO, R.; GUBIANI, É. A.; HUGHES, R. M.; MORMUL, R. P. Global trends and challenges in multimetric indices of biological condition. *Ecol Indic.*, v. 110, p. 105862, 2020. Doi:10.1016/j.ecolind.2019.105862
 56. DIAS-SILVA, K.; BRASIL, L. S.; VELOSO, G. K. O.; CABETTE, H. S. R.; JUEN, L. Land use change causes environmental homogeneity and low beta-diversity in Heteroptera of streams. *Annales de Limnologie - International Journal of Limnology*, v. 56, p. 9, 2020. Doi:10.1051/limn/2020007
 57. BIRK, S.; CHAPMAN, D.; CARVALHO, L.; SPEARS, B. M.; ANDERSEN, H. E.; ARGILLIER, C. *et al.* Impacts of multiple stressors on freshwater biota across spatial scales and ecosystems. *Nat Ecol Evol.*, n. 4, p. 1060–1068, 2020. Doi:10.1038/s41559-020-1216-4
 58. OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B.; JUEN, L. The Zygoptera/Anisoptera Ratio (Insecta: Odonata): a New Tool for Habitat Alterations Assessment in Amazonian Streams. *Neotrop Entomol.*, v. 48, p. 552–560, 2019. Doi:10.1007/s13744-019-00672-x
 59. OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B.; SHIMANO, Y.; GARDNER, T. A.; HUGHES, R. M.; DE MARCO, P. J.; JUEN, L. Neotropical dragonflies (Insecta: Odonata) as indicators of ecological condition of small streams in the eastern Amazon. *Austral Ecol.*, v. 40, p. 733–744, 2015. Doi:10.1111/aec.12242
 60. CALVÃO, L. B.; NOGUEIRA, D. S.; ASSIS, Montag L. F.; LOPES, M. A.; JUEN, L. Are Odonata communities impacted by conventional or reduced impact logging? *For. Ecol. Manage.*, v. 382, p. 143–150, 2016. Doi:10.1016/j.foreco.2016.10.013
 61. CALVÃO, L. B.; SIQUEIRA, T.; FARIA, A. P. J.; PAIVA, C. K. S.; JUEN, L. Correlates of Odonata species composition in Amazonian streams depend on dissimilarity coefficient and oviposition strategy. *Ecol Entomol.*, n. 47, p. 998–1010, 2022. Doi:10.1111/een.13188
 62. FARIA, A. P. J.; LIGEIRO, R.; CALLISTO, M.; JUEN, L. Response of aquatic insect assemblages to the activities of traditional populations in eastern Amazonia. *Hydrobiologia*, v. 802, p. 39–51, 2017. Doi:10.1007/s10750-017-3238-8
 63. HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. Insetos aquáticos na Amazônia Brasileira: taxonomia, biologia e ecologia. Manaus: INPA, 2014.
 64. ALVES-MARTINS, F.; BRASIL, L. S.; JUEN, L.; DE MARCO, P.; STROPP, J.; HORTAL, J. Metacommunity patterns of Amazonian Odonata: The role of environmental gradients and major rivers. *PeerJ.*, 2019. Doi:10.7717/peerj.6472
 65. LENCIONI, F. A. A. *Damselflies of Brazil, an illustrated identification guide: II – Coenagrionidae families*. São Paulo, 2006.
 66. LENCIONI, F. A. A. Diagnoses and discussion of the group 1 and 2 Brazilian species of Heteragrion, with descriptions of four new species (Odonata: Megapodagrionidae). *Zootaxa*, v. 3685, p. 1-80, 2013. Doi:10.11646/zootaxa.3685.1.1
 67. NEISS, U. G.; HAMADA, N. Ordem Odonata. *In*: HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia. Manaus: Editora do INPA, 2014. P. 217-282
 68. MIGUEL, T. B.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B.; LIGEIRO, R.; JUEN, L. Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. *Ecol Indic.*, v. 81, p. 555–566, 2017. Doi:10.1016/j.ecolind.2017.06.010
 69. BRASIL, L. S.; ANDRADE, A. F. A.; RIBEIRO, B. R.; SPIGOLONI, Z. A.; JUEN, L.; DE MARCO, P. J. A niche-based gap analysis for the conservation of odonate species in the Brazilian Amazon. *Aquat Conserv.*, v. 31, p. 1150–1157, 2021. Doi:10.1002/aqc.3599
 70. CALVÃO, L. B.; PAIVA, C. K. S. de; BRITO, J. S.; FARES, A. L.; MAIA, C.; MICHELAN, T. S. *et al.* Influence of biotic and abiotic factors on adult Odonata (Insecta) in Amazon streams. *Animal Biology*, v. 71, p. 67–84, 2020. Doi:10.1163/15707563-bja10047
 71. ICMBio/MMA. *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: 2018*. Brasília, DF: 2018. 7 vol.
 72. KAORY, C.; PAIVA, S. Effect of oil palm on the Plecoptera and Trichoptera (Insecta) assemblages in streams of eastern Amazon. *Environ Monit Assess.*, n. 8, p. 189–393, 2017. Doi:10.1007/s10661-017-6116-y
 73. CARDOSO, M. N.; SHIMANO, Y.; NABOUT, J. C.; JUEN, L. An estimate of the potential number of mayfly species (Ephemeroptera, Insecta) still to be described in Brazil. *Rev Bras Entomol.*, v. 59, p. 147–153, 2015. Doi:10.1016/j.rbe.2015.03.01
 74. DOMINGUEZ, E.; MOLINERI, C.; PESCADOR, M.; HUBBARD, M.; NIETO, C. Aquatic Biodiversity in Latin America: Biodiversidad Acuática en América Latina: Ephemeroptera of South America: Ephemeroptera de América del Sur. Sofia, Bulgária: Pub. Pensoft, 2006.
 75. Barber-James HM, Gattolliat J-L, Sartori M, Hubbard MD. Global diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in freshwater. *Hydrobiologia*. 2008;595: 339–350. doi:10.1007/s10750-007-9028-y
 76. PAIVA, C. K. S. de; FARIA, A. P. J.; CALVÃO, L. B.; JUEN, L. The anthropic gradient determines the taxonomic diversity of aquatic insects in Amazonian streams. *Hydrobiologia*, v. 848, p. 1073–1085, 2021. Doi:10.1007/s10750-021-04515-y
 77. BERENZEN, N.; KUMKE, T.; SCHULZ, H. K.; SCHULZ, R. Macroinvertebrate community structure in agricultural streams: impact of runoff-related pesticide contamination. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, v. 60, p. 37–46, 2005. Doi:10.1016/j.ecoenv.2003.10.010
 78. REIS, R. E.; ALBERT, J. S.; DI DARIO, F.; MINCARONE, M. M.; PETRY, P.; ROCHA, L. A. Fish biodiversity and conservation in South America. *J Fish Biol.*, n. 89, p. 12–47, 2016. Doi:10.1111/jfb.13016
 79. DAGOSTA, F. C. P.; PINNA, M. de. The Fishes of the Amazon: Distribution and Biogeographical Patterns, with a Comprehensive List of Species. *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.*, v. 1, 2019. Doi:10.1206/0003-0090.431.1.1
 80. MAIA, C.; SALVADOR, G. N.; BEGOT, T. O.; FREITAS, P. V.; NONATO, F. A. S.; TORRES, N. R.; JUEN, L.; MONTAG, L. F. A. Fish functional responses to local habitat variation in streams within multiple land uses areas in the Amazon. *Neotropical Ichthyology*, v. 20, p. e220091, 2022. Doi:10.1590/1982-0224-2022-0091
 81. ZUANON, J.; MENDONÇA, F. P.; ESPÍRITO-SANTO, H. M. V.; DIAS, M. S.; GALUC, V.; AKAMA, A. Guia de Peixes da Reserva Ducke - Amazônia Central. Manaus: Editora INPA, 2015.
 82. FERREIRA, M. C.; BEGOT, T. O.; PRUDENTE, B. S.; JUEN, L.; MONTAG, L. F. A. Effects of oil palm plantations on habitat structure and fish assemblages in Amazon streams. *Environ. Biol. Fishes*, v. 101, p. 547–562, 2018. Doi:10.1007/s10641-018-0716-4
 83. FREITAS, T. M. S.; MONTAG, L. F. A.; BARTHEM, R. B. Distribution, feeding and ecomorphology of four species of Auchenipteridae (Teleostei: Siluriformes) in Eastern Amazonia, Brazil. *Iheringia Ser. Zool.*, v. 107, 2017. Doi:10.1590/1678-4766e2017008
 84. GONÇALVES, A. F. G.; PRUDENTE, B. S.; CARVALHO FILHO, F. S.; MONTAG, L. F. A. Feeding ecology of Dash-dot Tetra Hemigrammus belottii (Steindachner 1882) (Characiformes: Characidae) in the streams of the Urucu River basin, Central Amazonia, Brazil. *Biota Neotrop.*, v. 13, p. 141–147, 2013. Doi:10.1590/S1676-06032013000300018
 85. BREJAO, G. L.; GERHARD, P.; ZUANON, J. Functional trophic composition of the ichthyofauna of forest streams in eastern Brazilian Amazon. *Neotropical Ichthyology*, v. 11, p. 361–373, 2013. Doi:10.1590/S1679-62252013005000006

Figura

- CARVALHO FG, DUARTE L, NAKAMURA G, SEGER GDS, JUEN L. Changes of Phylogenetic and Taxonomic Diversity of Odonata (Insecta) in Response to Land Use in Amazonia. Forests. 2021.

Capítulo 5: Artrópodes Terrestres

José Antônio Marin Fernandes, Abel Bustamante Ferrada, Amanda Matos Quadros, Angélico Fortunato Asenjo Flores, Beatriz Woiski Teixeira Coelho, Bruno Gouvea, Fernando da Silva Carvalho-Filho, Flávio Roberto de Albuquerque Almeida, Gustavo Costa Tavares, Gustavo Rodrigo Sanches Ruiz, Joicilene da Silva Palheta, Marlúcia Bonifácio Martins, Orlando Tobias Silveira, Rodrigo de Oliveira Brito, Rogério Rosa Silva, Rosângela Santa-Brígida, Valéria Juliete da Silva e Roberta de Melo Valente

Aspectos gerais dos artrópodes na Amazônia

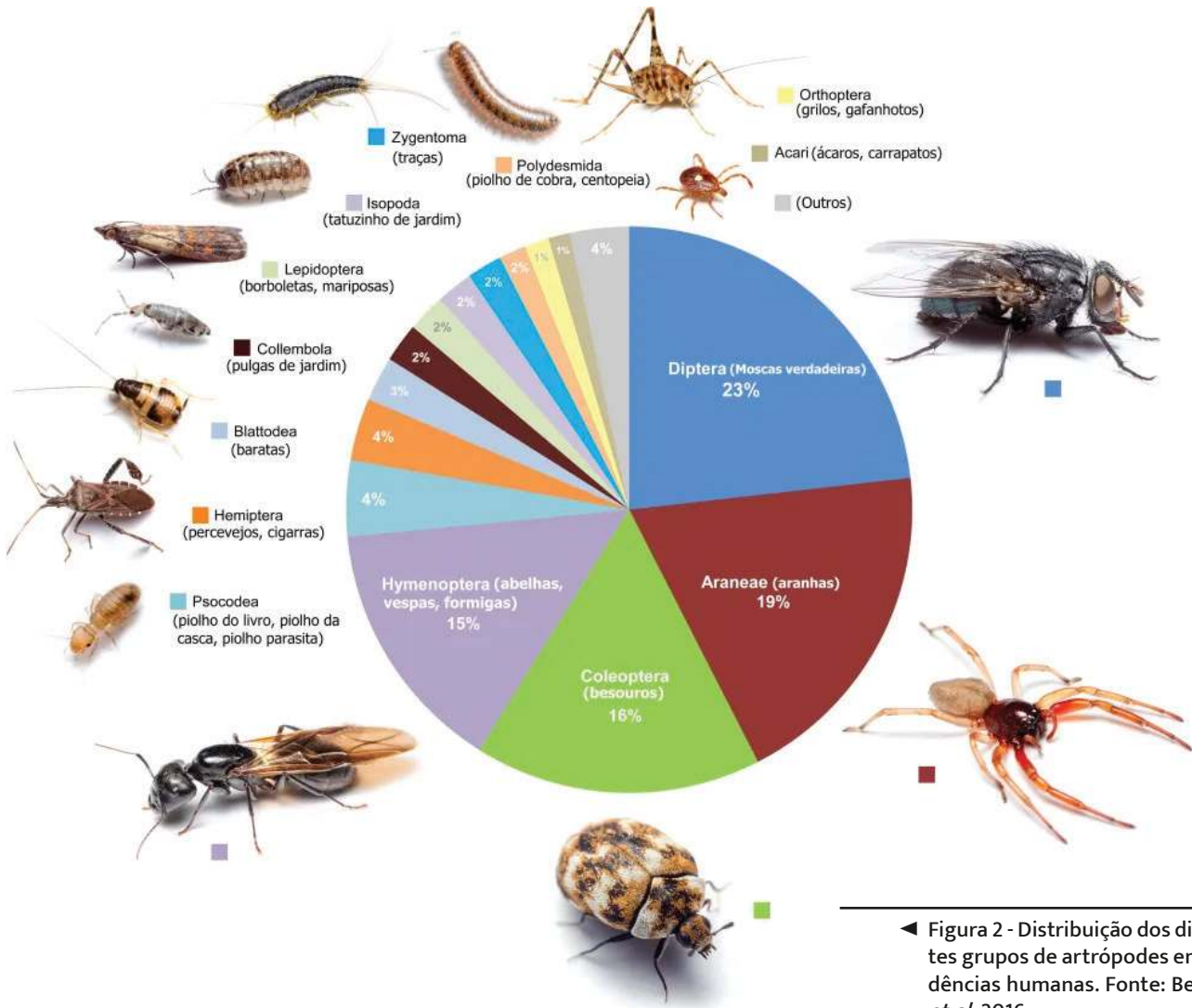
Os artrópodes (Figura 1) representam o grupo de seres vivos mais diverso do mundo, com mais de 1,5 milhão de espécies conhecidas, podendo alcançar uma diversidade entre 5-10 milhões¹. Esses invertebrados possuem corpo coberto por carapaça (exoesqueleto) e pernas articuladas, e incluem os insetos, aranhas, escorpiões, lacraias, piolhos-de-cobra, caranguejos, camarões, lagostas, tatuzinhos de jardim, entre muitos outros. Nos ambientes terrestres, os grupos mais abundantes e comuns de artrópodes são os insetos e as aranhas. Os insetos representam a maior parte da riqueza

de artrópodes, com mais de 1,2 milhão de espécies descritas, seguido das aranhas com mais de 52 mil espécies. Insetos e aranhas são encontrados em todos os continentes e em todos os ambientes do planeta. São pouco abundantes em regiões polares e em desertos, aumentando progressivamente seu número de espécies nas regiões semiáridas, passando por campos e florestas temperadas, e atingindo o ápice de sua riqueza nas florestas tropicais, como a Amazônia. Tanto nos insetos como nos aracnídeos, um dos fatores que permite sua

sobrevivência e manutenção em diferentes ambientes desfavoráveis é a presença de uma camada de cera sobre a carapaça do corpo, que impede a perda de água para o ambiente. Essa característica contribuiu para a sua capacidade de sobreviver e prosperar, incluindo em ambientes alterados, como dentro de residências humanas (Figura 2). O número de espécies de insetos registrados na floresta amazônica nunca foi precisamente estimado. No entanto, pelo que já conhecemos, mais de 90% de todas as espécies de animais da Amazônia



▲ Figura 1 - Diversidade de artrópodes e de habitats nos quais eles são encontrados. Da esquerda para a direita, de cima para baixo: percevejo, *Edessa* sp. (Pentatominae); percevejo, *Anisoscelis* sp. (Coreidae); besouro, *Dynastes* sp. (Scarabaeidae); borboleta, *Morpho* sp. (Nymphalidae); aranha papa-mosca, *Psecas* sp. (Salticidae); esperanço, *Orophus* sp. (Tettigoniidae); cigarra, *Zammara* sp. (Cicadidae); formiga-cortadeira, *Atta* sp. (Formicidae); besouro, *Titanus giganteus* (Cerambycidae); abelha, *Exaerete* sp. (Euglossini); cupim, *Macrotermes* sp. (Termitidae); larva de libélula no ambiente aquático (Aeshnidae). Fotos: Shutterstock.



◀ Figura 2 - Distribuição dos diferentes grupos de artrópodes em residências humanas. Fonte: Bertone et al. 2016.

são insetos: estima-se que na Amazônia vivam até 2,5 milhões de espécies de insetos, embora apenas uma pequena parte desse número tenha sido descrita pelos cientistas. No Brasil são registradas cerca de 100 mil espécies de insetos. Desses, uma pequena parte está registrada no SIBBr - Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira, somando pouco mais de 3.800 espécies para a Amazônia brasileira. Em relação às aranhas, temos cerca de 4.000 espécies conhecidas para a Amazônia como um todo, mas esse número pode estar bastante subestimado, visto que estamos tratando de um bioma ainda pouco conhecido.

Nas florestas tropicais, os insetos e aranhas podem ser encontrados em todos os tipos de habitats: no

solo e subsolo, na copa das árvores, sobre as folhas, troncos, flores e frutos, dentro de troncos caídos em decomposição, no folhiço depositado no chão da floresta, em carcaças de animais mortos, embaixo de pedras, dentro de cavernas, além daqueles que atingem grandes altitudes com o voo.

Os insetos desempenham papel essencial na manutenção da vida no planeta Terra, pois são extremamente importantes para o funcionamento dos diferentes ecossistemas terrestres. Insetos são particularmente importantes na recuperação de áreas degradadas, onde colaboram com a movimentação dos nutrientes no solo, ajudam fungos e bactérias na decomposição da matéria orgânica, na ciclagem dos nutrientes,

realizam polinização e dispersão de sementes, entre outras funções. Aliado a isso, os insetos apresentam alta taxa de reprodução e gerações curtas, produzindo grande quantidade de indivíduos, que colaboram com as funções ecossistêmicas mencionadas, além de atraírem outros animais para essas áreas por servirem como alimento para aves, anfíbios, mamíferos e répteis. Aracnídeos geralmente são predadores e controlam as populações de outros invertebrados terrestres, ajudando no equilíbrio ambiental dos diferentes ecossistemas. As aranhas são os principais predadores de insetos, os quais se reproduzem exponencialmente e poderiam consumir completamente os recursos vegetais, especialmente em áreas em recuperação.

Diversidade de artrópodes em Paragominas

Devido à sua enorme diversidade, grupos-alvo de insetos e aranhas foram escolhidos para serem estudados na Mineração Paragominas S.A. (MPSA). Para tanto, uma combinação de métodos de coleta foi utilizada para capturar uma gama muito mais ampla de espécies, cobrindo diferen-

tes habitats, comportamentos, tamanhos e micro-habitats. Isso garantiu uma amostragem mais representativa da biodiversidade total de insetos e aranhas na área de estudo (Figura 3).

Ao analisar os artrópodes coletados, podemos organizar os espéci-

mes em grupos maiores (ordens), discutindo suas características e a diversidade dentro de cada grupo. Abaixo, apresentamos os principais grupos de artrópodes terrestres presentes na MPSA.



▲ Figura 3 - Métodos usados na coleta de insetos e aranhas na MPSA. Da esquerda para a direita, de cima para baixo: guarda-chuva entomológico; rede de varredura; malaise; extratores de winker; armadilha luminosa de lençol; prato amarelo.

Aranhas (Ordem Araneae)

Diferentemente de outros aracnídeos, as aranhas possuem glândulas de seda no interior de seu abdômen, e seu produto, um líquido que se solidifica em contato com o ar (o fio de seda que forma a teia em algumas espécies), sai por estruturas únicas que diferenciam este grupo dos demais artrópodes - as fiandeiras - sendo uma das características mais marcantes das aranhas². Além das glândulas de seda, as aranhas de forma geral apresentam peçonha para ajudar na caça ou defesa. A peçonha é uma substância tóxica produzida em glândulas localizadas na região anterior do cefalotórax e

inoculada pelas quelíceras. Quimicamente, a peçonha das aranhas é bastante diversa e só uma pequena quantidade de espécies é perigosa ao ser humano. As formas de caça das aranhas vão desde a caça ativa sem uso de seda até modos mais especializados, com a construção de teias de seda, com diferentes graus de complexidade³. Algumas aranhas permanecem boa parte da vida em suas teias ou tocas no solo, outras caminham sobre o solo atrás de presas. Há ainda aquelas que conseguem caminhar sobre a água com a ajuda de cerdas hidrofóbicas, e outras ainda vivem dentro

de corpos d'água. Uma família em especial, Salticidae, agrupa uma grande diversidade de aranhas que se locomove geralmente através de pequenos saltos.

Atualmente se conhecem pouco mais de 52 mil espécies de aranhas (Figura 4), agrupadas em 135 famílias⁴. Para o Brasil, estão registradas mais de 3 mil espécies⁵. A região amazônica ainda é pouco explorada, com uma baixa amostragem, o que sugere uma grande probabilidade de ainda encontrarmos muitas espécies novas para a ciência.



▲ Figura 4 - Diversidade de aranhas presentes na Amazônia. Da esquerda para a direita, de cima para baixo: *Micrathena pungens* (família Araneidae), com espinhos no abdômen; *Theraphosa blondi* (família Theraphosidae), a maior aranha do mundo; *Stegphanopoides simoni* (família Thomisidae), com longas pernas dianteiras; *Micrathena vigorsi* (família Araneidae); *Yppuera cf. crucifera* (família Hersiliidae), com longas fiandeiras; e *Gelanor juruti* (família Mimetidae), macho com longos palpos. Foto de *Theraphosa blondi*: Shutterstock. Demais fotos: Leonardo Carvalho.

Aranhas papa-moscas

A família Salticidae, que abriga as aranhas conhecidas comumente como papa-moscas, é a família mais diversa de aranhas, com mais de 6.600 espécies no mundo e mais de 700 espécies no Brasil⁴. Todo o comportamento dessas aranhas é conduzido pela orientação visual, seja locomoção, captura de presas, corte e acasalamento, ou fuga de predadores. Para isso, os dois olhos medianos anteriores são bem desenvolvidos e possuem músculos ao redor das retinas capazes de focar em objetos, seja uma presa ou em um possível parceiro sexual. O raio de alcance da visão dessas aranhas chega a 3 m, mas só conseguem distinguir formas que estejam até 30 cm de seus olhos. As papa-moscas, ao detectarem uma presa, rebaixam seu corpo e se aproximam, como

gato caçando, pulando sobre a presa com precisão⁶. Pelo fato de terem excelente visão, existe uma seleção sexual bastante acentuada no grupo, com os machos geralmente muito diferentes das fêmeas (Figura 5), como ocorre em algumas aves e peixes. Entre as aranhas Salticidae (Figura 5), encontramos diversas formas corporais: apesar de alguns grupos possuírem as pernas alongadas típicas de aranhas (Figura 5F), a maioria das espécies de Salticidae tem pernas curtas, adaptadas ao salto (Figura 5 A-E). Vários grupos desenvolveram de forma independente o hábito de imitar formigas (Figura 5E), tanto na morfologia, quanto no comportamento de locomoção⁷. Nos últimos 20 anos, esse grupo de aranhas tem recebido atenção especial no

Brasil, com diversos trabalhos de revisão e descrições de espécies novas. Nesse sentido, a região amazônica tem se revelado como uma área pouco compreendida em termos de diversidade de aranhas papa-moscas, ou seja, com grande probabilidade de registros novos de espécies ainda desconhecidas.

Para a área da MPSA, mais de 70 espécies de aranhas papa-moscas foram coletadas. Dentre essas, destacamos *Chira trivittata* (Figura 5A e 5B) e *Chira spinosa* (Figura 5C e 5D), *Sidusa angulitarsis* e *Sidusa viridiaurea*, *Scopocira tenella*, além de uma grande variedade de miméticos de formigas (aranhas que imitam formigas) (Figura 5E). Além dessas, são comuns também espécies da tribo Amycini, megadiversa e pouco estudada na Amazônia, representada na área pelos gêneros *Noegus*, *Acragas*, *Hypaeus* e *Matinta*, além de várias espécies da subfamília Lyssomaninae (Figura 5F). Ainda, várias espécies coletadas na MPSA são novas para a ciência. A primeira espécie a ser descrita para a área Platô Miltônia 3 foi *Matinta tatiana*⁸. Outras já coletadas aguardam descrição formal. Entretanto, com as novas coletas e métodos complementares para amostragem de aranhas no solo, é esperado que descubramos uma fauna ainda desconhecida, com ênfase no gênero *Rhyphelia*, que agrupa pequenas espécies que caçam sobre as folhas caídas dentro das florestas e de distribuição bastante restrita.



◀ Figura 5 - Aranhas da família Salticidae: A) *Chira trivittata* macho; B) *Chira trivittata* fêmea; C) *Chira spinosa* macho; D) *Chira spinosa* fêmea; E) *Synemosyna* sp.; F) *Lysso-manes* sp. Fotos: Wayne Maddison (aranhas do gênero *Chira*) e César Favacho (demais aranhas).

Ortópteros (Ordem Orthoptera)

Orthoptera é a sexta maior ordem de insetos, com mais de 29.900 espécies descritas, encontradas em quase todos os continentes (com exceção da Antártida) e ocorrendo em diversos ambientes, desde campos abertos a florestas ombrófilas, do Ártico a regiões tropicais e desérticas^{9,10}. Esta ordem agrupa insetos conhecidos popularmente como gafanhotos, taquarinhas, esperanças, bicho-folha, grilos, paquinhas, entre outros. Ortópteros são reconhecidos por apresentar um par de pernas posteriores saltatórias, as quais são alongadas e robustas, modificadas para impulsionar o corpo dos insetos em grandes saltos^{11,10}.

A ordem inclui espécies conhecidas por produzirem sons de chamado ou por causarem danos a cultivos agrícolas¹². Porém, estes insetos podem ter hábitos alimentares variados, podendo ser predadores, herbívoros ou onívoros¹³. Por exemplo, gafanhotos são famosos por serem causadores de danos econômicos em cultivos, como a famosa praga bíblica de gafanhotos

do Egito^{14,15,16}. Mas a verdade é que pouquíssimas espécies são capazes de causar dano.

O hábito de produzir sons, também chamado de estridulação, serve para os machos atrair parceiros para o acasalamento, mas também pode ser de aviso, quando estão sendo perturbados, ou agonistas (emitidos para avisar machos rivais a se afastarem). Os sons são produzidos ao friccionar uma parte do corpo contra outra, podendo ser as asas, as pernas, as mandíbulas, o abdômen ou escleritos do tórax. Os ortópteros estão entre os animais capazes de produzir os sons mais altos e intensos da natureza, podendo chegar a uma frequência de 150 kHz e um volume de 125 dB^{17,18}. Para termos uma ideia, a título de comparação, a frequência máxima que um ouvido humano consegue captar sons é de 20 kHz e, quanto ao volume, a turbina de um avião a jato chega a 140 dB.

No Brasil, são registradas aproximadamente 2.000 espécies, das quais mais de 600 são conhecidas na

região Norte, sendo esta a região com maior diversidade⁹. Destas, 228 espécies de Orthoptera ocorrem no estado do Pará, enquanto para a região de Paragominas foram registradas até o momento aproximadamente 30 espécies, pertencentes a 10 famílias. Ao menos três dessas espécies já foram confirmadas como novas e as outras compreendem novos registros para o município de Paragominas. Uma dessas é a menor espécie de grilo já encontrada no mundo (Figura 6), medindo apenas 3 mm de comprimento. Esta espécie, que está em processo de descrição, pertence a um gênero novo, também em processo de descrição, que será incluído na família Mogoplistidae, que possui apenas três espécies registradas no Brasil. Devido a lacunas de conhecimento sobre ortópteros na região Norte do Brasil e, principalmente, na região de Paragominas, futuras coletas de indivíduos aumentam muito as possibilidades de encontrar espécies novas e de se fazer novos registros de ocorrência para a região.



◀ Figura 6 - A menor espécie de grilo do mundo ocorre na MPSA, em Paragominas. Medindo aproximadamente 3 mm da ponta da cabeça à ponta do abdômen, estes insetos pequeninos são representantes da fauna de solo local, habitando o folhiço da floresta. Foto: Gustavo Tavares.

▼ Figura 7 - Este gênero reúne os maiores gafanhotos do mundo. *Tropidacris cristata* pode chegar a mais de 15 cm de comprimento, sendo a maior espécie de gafanhoto conhecida, a qual também ocorre na MPSA, em Paragominas.



Gafanhotos

A fauna conhecida de gafanhotos (Figura 7 e 8) na MPSA é representada basicamente por três famílias: Acrididae, Romaleidae e Tettigidae. Gafanhotos são insetos herbívoros, que normalmente são encontrados em vegetações arbustivas, mas também podem habitar as copas das árvores^{9,11}. Este é um grupo com mais de 12 mil espécies descritas e engloba várias famílias de Orthoptera. No Brasil, aproximadamente 860 espécies são registradas, sendo cerca de 350 para a região Norte.

Esperanças

As esperanças (Figura 8) são insetos de hábitos alimentares variados, com espécies herbívoras, onívoras e predadoras. Esperanças também podem habitar os mais diferentes habitats, desde o solo até a copa das florestas, vegetações arbustivas, campos abertos até cavernas^{9,11}. Estes insetos pertencem à família Tettigoniidae, a mais diversa de Orthoptera, com aproximadamente 8.200 espécies. No Brasil, são registrados em torno de 700 espécies, com cerca de 200 para a região Norte.

Grilos

Grilo é um nome genérico para um agrupamento com pelo menos cinco famílias de ortópteros, todas com representantes encontrados no Brasil. Este agrupamento forma a superfamília Grylloidea. Os grilos são organismos normalmente onívoros, que habitam uma grande variedade de ambientes. A maioria das espécies é habitante no solo de florestas, mas existem espécies que vivem sobre a vegetação arbustiva e até na copa das árvores, bem como espécies que vivem em cavernas^{9,11}. Existem por volta de 6.000 espécies descritas, sendo aproximadamente 300 registradas no Brasil e somente cerca de 60 em toda a região Norte.



▲ Figura 8 - De cima para baixo: gafanhoto da espécie *Chormacris speciosa*, o gafanhoto-soldado; esperança pertencente ao gênero *Anaulacomera*; esperança da espécie *Acanthodis aquilina*, também encontrada na área da MPSA, em Paragominas.

Cigarrinhas, percevejos, pulgões e cochonilhas (Ordem Hemiptera)

Os insetos desta ordem são conhecidos popularmente como percevejo, pulgão, cigarra, cigarrinha, cochonilha, entre outros. Hemiptera é composta por insetos terrestres, aquáticos e semiaquáticos que são identificados pelo aparelho bucal do tipo picador-sugador, chamado rostro, que se assemelha a um canudo. A diversidade da ordem é estimada em mais de 90 mil espécies distribuídas pelo mundo, estando ausente apenas nas regiões polares. A subordem Heteroptera possui aproximadamente 38 mil espécies, mas estima-se que esse número seja muito maior^{19,20}.

Percevejos (Subordem Heteroptera)

No Brasil, a maior diversidade de espécies é encontrada na subordem Heteroptera, com cerca de 6 mil espécies já descritas. Heteroptera corresponde aos insetos comumente conhecidos como percevejos, mas algumas famílias têm nomes específicos, como barbeiro, percevejo-de-cama, fede-fede ou maria-fedida²⁰. A subordem possui como características que ajudam na sua identificação o rostro, originando-se na região anterior da cabeça, e a presença de glândulas de cheiro no mesotórax²¹. Essa glândula é responsável por produzir substâncias com odores desagradáveis, usadas tanto para a comunicação quanto para a defesa. Os percevejos apresentam uma grande variedade de hábitos alimentares, podendo ser predadores de outros artrópodes, fitófagos (que se alimentam de partes de plantas), hematófagos (que se alimentam de sangue) ou parasitas²⁰.

Dentre as famílias de Heteroptera, Pentatomidae se destaca sendo a terceira família mais numerosa dentro da subordem, com cerca de 5.000 espécies distribuídas em todas as regiões, exceto nas regiões polares²². Também se destaca por ser a família com a maior diversidade morfológica e comportamental. As espécies são em sua maioria fitófagas, vivendo principalmente em áreas na margem e dentro da floresta. Este grupo se adapta bem em áreas abertas naturais, como o Cerrado, e em áreas alteradas pelo ser humano. Algumas espécies causam grandes prejuízos econômicos para a agricultura. Por outro lado, a subfamília Asopinae é formada por percevejos predadores, sendo que algumas espécies são usadas como agentes de controle biológico em sistemas agrícolas e florestais.

A Amazônia abriga cerca de metade de todas as 330 espécies de percevejos registradas para o

Brasil²³. Destas, apenas 28 já foram registradas na área da MPSA (Figura 9; Tabela 1). Os estudos feitos na área da MPSA mostraram a existência de várias espécies novas de percevejos, que, em sua maioria, são associadas a plantas típicas de áreas abertas como o Cerrado. O conhecimento a respeito da diversidade de pentatomídeos ainda é muito incipiente no município e, portanto, esforços maiores de coletas são necessários para melhor conhecer a diversidade da região.

Schizopteridae é a maior família da infraordem Dipsocoromorpha e um dos grupos menos conhecidos dentre os percevejos, tanto do ponto de vista taxonômico quanto biológico. Atualmente, o grupo compreende cerca de 500 espécies descritas em seis famílias distintas, distribuídas em todos os continentes (exceto na Antártida), sendo a maior diversidade nas regiões tropicais. Os dipsocoromorfos são percevejos diminutos (0.5–3.0 mm) que vivem escondidos em diferentes tipos de habitats, como folheto no chão da floresta, sob cascas de árvores caídas, vegetação arbustiva, copas das árvores, margens de riachos e até mesmo em manguezais^{24,25,26}. Outra característica notória é o acentuado dimorfismo sexual, onde, comumente, as fêmeas são 'coleopteroides', apresentando asas anteriores semelhantes às asas anteriores de besouros (élitros).

Dentre as famílias de Dipsocoromorpha, Schizopteridae é o táxon mais estudado e diverso de Dipsocoromorpha, compreendendo cerca de 400 espécies²⁷. Durante muito tempo, acreditou-se que schizopterídeos eram raros. No entanto, observou-se que o tamanho diminuto destes insetos e a falta de tradição no estudo do grupo foram os principais fatores que dificultaram o desenvolvimento do conhecimento acerca desta família.

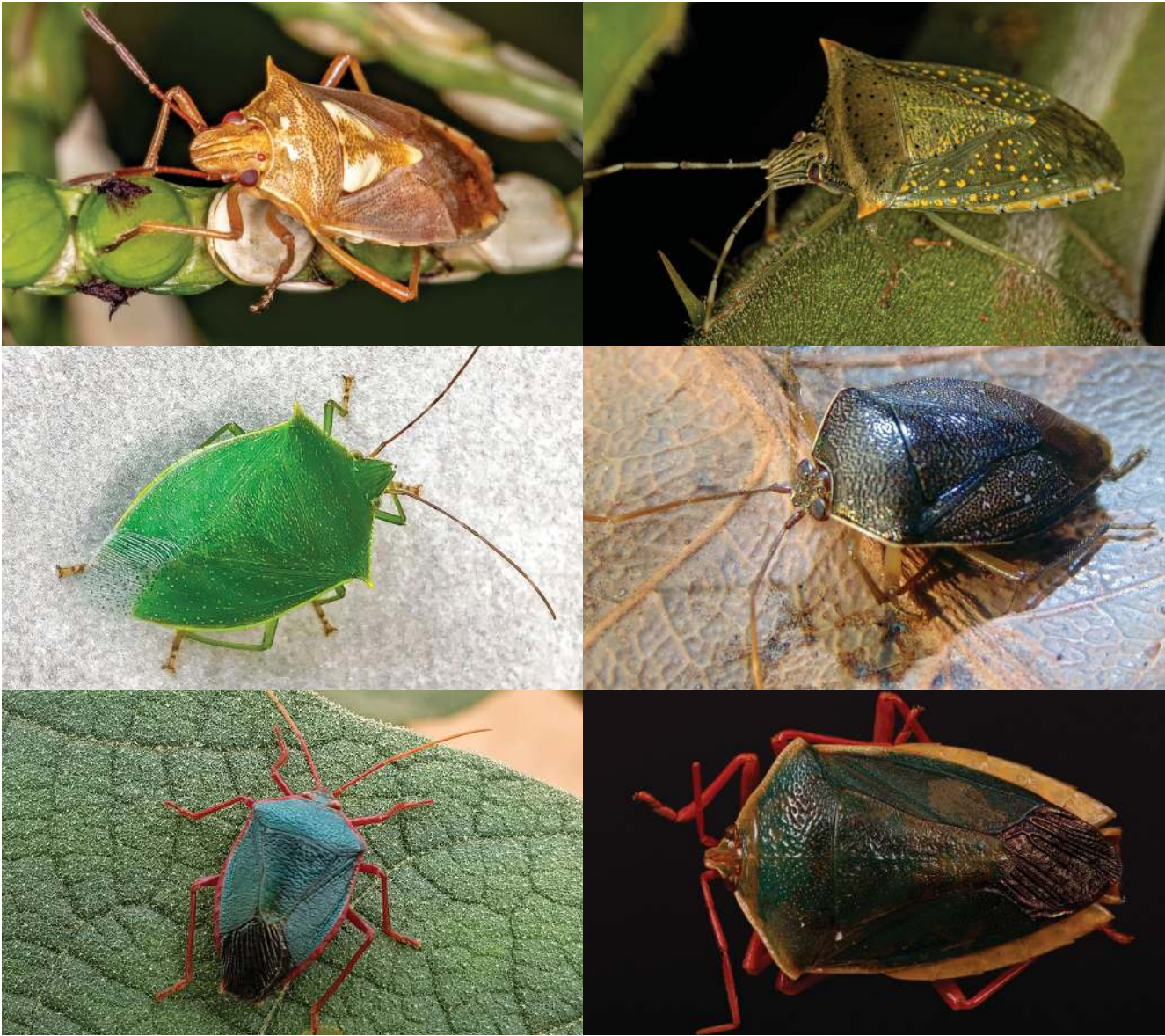
Alguns percevejos são comestíveis

Apesar do seu cheiro não tão agradável, alguns percevejos, como o caso de espécies do gênero *Ascra*, são consumidos no México.

Percevejos comestíveis são ricos em iodo, proteínas e vitaminas do grupo B, além de poderem apresentar propriedades analgésicas e tranquilizantes.

No Brasil, a fauna de schizopterídeos foi pouco estudada, sendo conhecidas apenas 11 espécies até o ano de 2015. Os primeiros registros para a região amazônica foram feitos a partir de 2016, com a descrição de 18 espécies novas para a Amazônia brasileira²⁷⁻³¹.

Em 2018, foi descrito *Hoplonannus bifidus* (Figura 10) para o município de Paragominas, com exemplares coletados na área da MPSA. Este foi o primeiro registro do gênero para a Amazônia e a primeira espécie de Schizopteridae descrita de Paragominas. Em 2019, foi descrita a segunda espécie de Schizopteridae coletada na área da MPSA, *Voragocoris weirauchae*. Em 2022, duas outras espécies coletadas na área da mineração foram descritas: *Schizoptera paraensis* e *Schizoptera pinduca*. Adicionalmente, os autores coletaram e redescreveram a espécie *Schizoptera simla*, anteriormente conhecida apenas para Trinidad e Tobago. Os estudos preliminares desenvolvidos na região de Paragominas apontaram a presença de diversas espécies novas de schizopterídeos para a ciência. Desta forma, Paragominas destaca-se entre as regiões do Brasil com mais conhecimento acerca da fauna desse grupo de percevejos.



▲ Figura 9 - Percevejos-do-mato encontrados na área da MPSA. Da esquerda para a direita, de cima para baixo: *Oebalus poecilus*; *Arvelius albopunctulatus*; *Loxa viridis*; *Neotibilis oculata*; *Edessa rufomarginata*; *Edessa* sp. Fotos: Shutterstock, Flávio Albuquerque (*Neotibilis oculata*) e Gustavo Tavares (*Edessa* sp.).



▲ Figura 10 - Da esquerda para a direita: *Hoplonannus bifidus*; *Schizoptera pinduca*.

Para saber mais informações sobre as espécies de Pentatomidae que ocorrem no Brasil, escaneie o QR Code abaixo.

Tabela 1 - Espécies de percevejos coletados na MPSA, em Paragominas, PA.

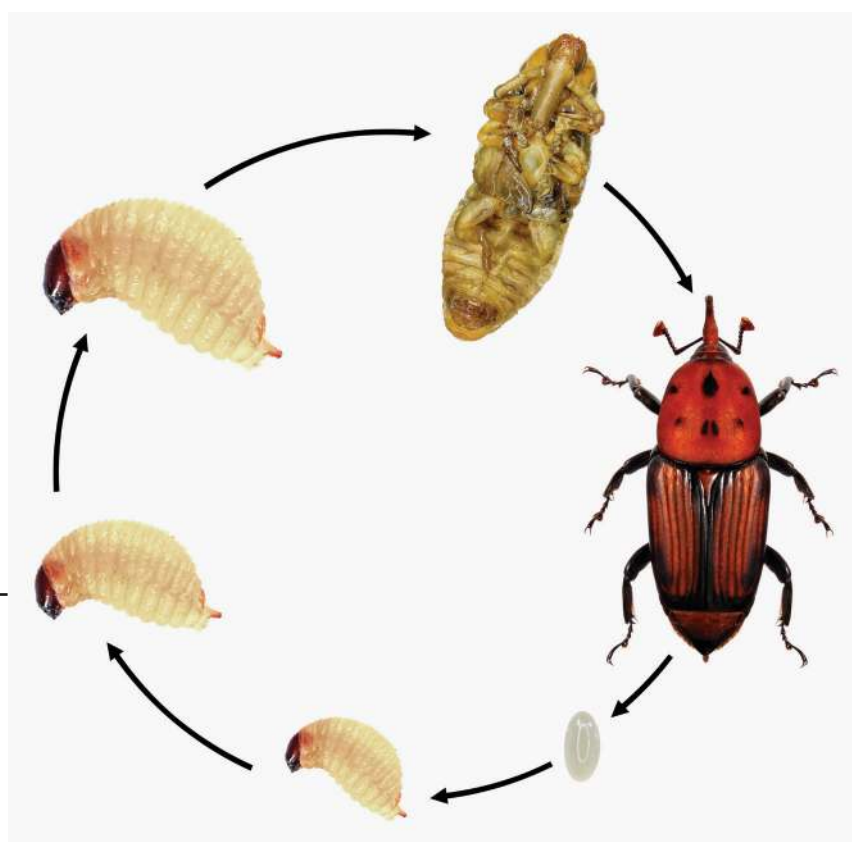
Subfamília	Tribo	Espécie
Asopinae		<i>Heteroscelis servillei</i>
Cyrtocorinae		<i>Dryptocephala</i> sp.
Discocephalinae	Discocephalini	<i>Antiteuchus</i> sp.
		<i>Antiteuchus tripterus</i>
		<i>Phoeacia</i> sp.
	Ochlerini	<i>Ochlerus rusticus</i>
Edessinae		<i>Anisoedessa proctocarinata</i>
		<i>Edessa</i> sp.
		<i>Edessa cylindricornis</i>
		<i>Edessa jugata</i>
		<i>Edessa leucogramma</i>
		<i>Edessa loxdalii</i>
		<i>Edessa ruformarginata</i>
		<i>Edessa submarginata</i>
		<i>Odara ori</i>
		<i>Odara variegata</i>
Pentatominae	Carpocorini	<i>Dichelops furcatus</i>
		<i>Euschistus heros</i>
		<i>Mormidea maculata</i>
		<i>Mormidea ypsilon</i>
		<i>Oebalus poecilus</i>
		<i>Oebalus ypsilongriseus</i>
		<i>Proxys albopunctulatus</i>
		<i>Tibraca limbativentris</i>
	Chorocorini	<i>Arvelius albopunctatus</i>
		<i>Loxa viridis</i>
	Menidini	<i>Rio punctatus</i>
	Pentatomini	<i>Banasa protopanamensis</i>
		<i>Banasa subrufescens</i>
		<i>Berecynthus hastator</i>
		<i>Neotibilis fulvicornis</i>
		<i>Neotibilis oculata</i>
Indefinida		<i>Thyanta</i> sp.

Besouros (Ordem Coleoptera)

Os insetos da ordem Coleoptera são comumente conhecidos como besouros, embora alguns sejam popularmente chamados de joaninhas, vaga-lumes, serra-paus, rola-bosta, escaravelhos, bicudos, dentre outros. Os besouros representam 38% da diversidade total de seres vivos do planeta, o que significa que para cada três espécies de seres vivos, uma é de besouro! Somando mais de 400 mil espécies conhecidas³², superam o número de espécies de plantas (377 mil³³) e vertebrados (66 mil³⁴). No Brasil, são registradas mais de 35 mil espécies, em 111 famílias³⁵. Os adultos são reconhecidos pelo primeiro par de asas endurecido, chamado élitro, e com função de proteção do corpo. O segundo par de asas é membranoso, fica dobrado embaixo do élitro, e serve para voar (Figura 11). A fase jovem é caracterizada pela larva e pupa (Figura 11).

Os besouros estão presentes em todos os continentes, ocupam os mais variados ambientes em florestas, desertos, rios, lagos, praias etc., e contribuem enormemente para a ciclagem dos nutrientes, principalmente quando estão na sua fase larval, a qual representa o maior tempo (meses ou anos!) dentro do ciclo de vida dos besouros. Algumas espécies de besouros, principalmente na fase larval, podem causar danos econômicos em plantações, construções, produtos alimentícios armazenados, entre outros.

► Figura 11 - Besouros gorgulhos. De cima para baixo: detalhe para as asas, primeiro par chamado de élitros usados para proteção do corpo, e o segundo par membranoso usado para voar; ciclo de vida de *Rhynchophorus ferrugineus*. Fotos: Shutterstock.



Besouros gorgulhos

No Brasil, os besouros da família Curculionidae (Figuras 11-13) são popularmente conhecidos como bicudos, gorgulhos ou carunchos. Alguns são bastante populares. Por exemplo, espécies do gênero *Sitophilus* atacam grãos armazenados ou industrializados e são comuns nos mercados em pacotes de arroz, milho e macarrão³⁶, enquanto a broca da bananeira (*Cosmopolites sordidus*), a praga do algodoeiro (*Anthonomus grandis*) e brocas de palmeiras (espécies dos gêneros *Rhynchophorus*, Figura 11 e *Metamasius*) causam danos econômicos importantes em plantas cultivadas, como a pupunheira e o açaizeiro³⁶⁻³⁸. Muitas outras espécies de gorgulhos são benéficas, especialmente as polinizadoras de plantas nativas ou cultivadas^{39,40}, sendo notável as espécies do gênero *Elaeidobius* (Figura 12) por serem polinizadoras exclusivas do dendezeiro⁴¹.

Os adultos de Curculionidae (Figuras 11-13) são besouros pequenos, geralmente com 2 a 3 mm, variando de 1 mm até 9 cm de comprimento³⁸. São facilmente identificados pelas antenas geniculadas (dobradas na base formando um cotovelo) e clavadas no ápice. e clavado no ápice. Adicionalmente, apresentam cabeça com bico (rosto), de comprimento variado, estendido além dos olhos^{42,43}. O corpo é compacto, de forma variável, com carapaça (exoesqueleto) fortemente esclerotizada, glabra (sem pelos), pubescente (com pelos) ou revestida por escamas coloridas, às vezes metálicas⁴³.

Os curculionídeos se alimentam de partes de plantas (raiz, caule, folhas, flores, frutos e sementes), mas também há casos de espécies que se alimentam por micetofagia, saprofagia, coprofagia, entomo-

fagia (alimentação de fungos, partes mortas de plantas, fezes e de insetos, respectivamente) e predação^{38,44,45}.

Os curculionídeos formam um dos grupos de seres vivos mais diversos e bem-sucedidos do planeta, somando mais de 51 mil espécies em 4.600 gêneros. São cosmopolitas e podem ocupar diferentes habitats: do Ártico às ilhas subantárticas, das praias ao topo de montanhas, dos desertos às florestas tropicais⁴⁶. A diversificação e o sucesso evolutivo dos curculionídeos são explicados principalmente pelo surgimento do rosto e das antenas geniculadas, que possibilitaram a exploração de diferentes partes das plantas, e pela alimentação de partes de diferentes grupos de plantas.

No Brasil, são conhecidas cerca de 5.000 espécies e 650 gêneros de Curculionidae³⁸. Não há informações sobre o número de espécies para o estado do Pará ou para a Amazônia brasileira. No levantamento realizado na área da MPSA, foram coletados 204 exemplares de Curculionidae identificados em cerca de 60 espécies, sendo 92% delas representadas por somente um indivíduo. Apesar das dificuldades na identificação do material ao nível de espécie, foi possível registrar novas ocorrências para o estado do Pará, além de uma espécie nova do gênero *Solaria*, a qual está sendo descrita. Considerando a diversidade dos Curculionídeos e a ausência de levantamentos anteriores na região de Paragominas, novas coletas e a aplicação de novos métodos de coleta deverão revelar diversidade superior à observada neste estudo, incluindo novos registros para a ciência.



▲ Figura 12 - Polinizador do dendezeiro, *Elaeidobius subvittatus*, macho, 2,5 mm de comprimento. De cima para baixo: vista dorsal; vista lateral.



▲ Figura 13 - Besouros gorgulhos. De cima para baixo, da esquerda para a direita: *Polydrusus* sp.; *Rhynchophorus palmarum*; e *Cholus* sp. Fotos: Shutterstock.

Besouros estafilínídeos

Os besouros da família Staphylinidae (Figuras 14 e 15), conhecidos como *rove beetles*, em inglês, representam a maior irradiação evolutiva (processo pelo qual um único ancestral comum dá origem a uma variedade de espécies) conhecida no planeta Terra, com cerca de 66.900 espécies conhecidas⁴⁷ e 14% de toda a diversidade de Coleoptera⁴⁸. O Brasil apresenta cerca de 2.800 espécies conhecidas ou 27% das espécies Neotropicais e 5% da riqueza mundial conhecida⁴⁹. A Amazônia possui diversidade ainda pouco estudada de estafilínídeos, sendo registradas

cerca de 900 espécies, número menor que o conhecido em outros biomas brasileiros^{49,50} provavelmente devido ao baixo número de coletas na região.

As espécies de Staphylinidae possuem de 1 a 35 mm de comprimento e apresentam corpo com forma e cores diversas. Grande parte dos estafilínídeos podem ser identificados pelos élitros extremamente curtos (Figuras 14-15), expondo mais da metade do abdômen, geralmente, bastante flexível. Outras espécies podem ter élitros mais desenvolvidos,

cobrindo até completamente o abdômen, que pode ser rígido⁵¹. Os estafilínídeos são encontrados em todos os habitats terrestres, incluindo zonas de marés nos mares e oceanos, e podem se alimentar de matéria orgânica em decomposição, fungos, partes vivas de plantas, ou serem predadores de ovos, larvas ou pupas⁵². Algumas espécies possuem relação mutualística (associação com outros organismos gerando benefício mútuo entre os participantes da interação) com pequenos roedores e marsupiais, outras são parasitas de formigas e cupins,



▲ Figura 14 - Besouro potó. As espécies do gênero *Paederus* são conhecidas como potós e liberam uma substância tóxica chamada pederin, que em contato com a pele causa uma reação dolorosa, com a formação de bolhas e lesões purulentas. Foto: Shutterstock.



▲ Figura 15 - Estafilínídeos registrados na área da MPSA. Da esquerda para a direita: *Oxarthrus spiculatus* (Pselaphinae); *Rhinoscepsis* sp. (Pselaphinae); *Palaminus* sp. (Paederinae); *Biocrypta* sp. (Paederinae).

e há registro de ectoparasitismo em pupas de moscas^{53,54,55}. Várias espécies liberam substâncias tóxicas perigosas para o ser humano (Figura 14).

O estado do Pará possui 400 espécies de estafilínídeos, representando o segundo estado com mais espécies conhecidas para o Brasil⁵⁰. Apesar disso, na região ainda existe uma forte carência de coletas e estudos sistemáticos para esses besouros. Tradicionalmente, as coletas foram feitas nos arredores das grandes cidades, como Belém e Santarém, ou às margens

dos principais rios da região, e somam 55 localidades amostradas, sendo a Bacia do Tapajós o local com maior número de espécies registradas (137 espécies). Até recentemente não existia nenhuma informação sobre a fauna local de estafilínídeos para o município de Paragominas. Com os estudos conduzidos na MPSA, o resultado foi a identificação de 44 gêneros pertencentes a 90 espécies, muitas delas novas para a ciência, além de novas ocorrências de gêneros para o Estado do Pará e novos registros sobre a ecologia e biologia do grupo. Atualmente, o estudo

dos estafilínídeos de Paragominas (Figura 15) tem como foco a descrição de novas espécies, como *Oxarthrus spiculatus* recentemente descrita⁵⁶, e os gêneros *Scaponopselaphus* (Staphylininae), *Rhinoscepsis* (Pselaphinae), *Palaminus* (Paederinae) e *Biocrypta* (Paederinae). A grande diversidade de estafilínídeos encontrada em tais coletas, em conjunto à total ausência de registros faunísticos sobre o grupo na região de Paragominas, enfatiza a necessidade de mais estudos na área.

Vespas, formigas e abelhas (Ordem Hymenoptera)

Hymenoptera tem mais de 153.000 espécies descritas e é uma das quatro maiores ordens entre os insetos que têm metamorfose completa (holometábolos)⁵⁷. Conhecidos popularmente como vespas, abelhas e formigas, os himenópteros são agentes importantes em diversas cadeias tróficas na maioria dos ecossistemas terrestres, atuando como fitófagos, parasitóides e predadores⁵⁷. O ovipositor formado por partes dos segmentos terminais do abdômen da fêmea é um órgão essencial ao modo de vida das espécies. Nas linhagens mais antigas, fitófagas, ele é usado para cortar o tecido de plantas, para que os ovos sejam postos em local seguro e rico em alimento. Nas espécies de parasitóides e predadores, o ovipositor (ou ferrão) é usado para injetar venenos capazes de paralisar outros insetos hospedeiros ou presas.

Vespas

A família Vespidae ocorre em todos os continentes, exceto nas regiões polares, e compreende cerca de 5.000 espécies descritas, sendo que a maior parte das espécies apresenta hábito social. As vespas são predadoras de insetos e outros artrópodes terrestres, com exceção de algumas espécies que têm como alimento o pólen e néctar de flores. A grande maioria das espécies de Vespidae podem ser reconhecidas por terem as asas anteriores dobradas longitudinalmente sobre o corpo quando em repouso, e pelos olhos com uma reentrância na margem interna (olhos compostos reniformes). Entre as vespas neotropicais, há uma grande variação no tamanho corporal, desde 4 mm até cerca de 4 cm. Além disso, os ninhos



▲ Figura 16 - Colônia da vespa *Apoica pallens* (caba-beiju).

das colônias das espécies sociais possuem uma rica variedade de formas e tamanhos (Figura 16).

O comportamento social em Vespidae abrange desde a simples coabitação de um mesmo espaço de nidificação por um certo número de fêmeas, envolvendo eventualmente certo grau de cooperação entre elas na construção do ninho, até a coexistência obrigatória em colônias “eussociais” (altamente sociais). Estas são caracterizadas pela cooperação e a extrema divisão do trabalho que envolve até mesmo o contexto reprodutivo, havendo uma ou algumas “rainhas” reprodutoras e várias ou muitas “operárias” estéreis (em maior ou menor grau). Os vespídeos eussociais vivem em colônias muito numerosas, com populações de milhares de indivíduos, na vastíssima maioria fêmeas, e cada uma delas tendo o ferrão como uma arma de defesa poderosa^{58,59}. A grande maioria dos vespídeos tem hábito predador,

caçando vários tipos de insetos, mais raramente outros grupos de artrópodes (lacraias, escorpiões, entre outros). As lagartas de borboletas e mariposas estão entre os itens de alimentação mais frequentes. Como predadores por excelência, os vespídeos exercem um impacto considerável sobre as populações de insetos, sendo até mesmo úteis para o controle das populações de pragas agrícolas, um efeito que pode, entretanto, ser dirigido e aumentado por meio de tecnologias adequadas.

Na Amazônia brasileira, o número estimado é de aproximadamente 300 espécies. Na área da MPSA, em Paragominas, foram encontradas 57 espécies de 12 gêneros de Polistinae, nove ainda sem identificação conclusiva ao nível específico. Há, então, possibilidade de que algumas se revelem como novas. A expectativa para novos estudos é de subir para perto de 100 o número de espécies nesta área.

Formigas

As formigas são atualmente representadas por mais de 14.000 espécies, sendo o grupo de espécies mais abundante do planeta^{60,61}.

Diferentemente de outros himenópteros (abelhas e vespas), todas as espécies são sociais e pertencem a uma única família, Formicidae, representando o mais diverso grupo de insetos sociais em termos de riqueza de espécies e funções ecológicas⁶². Como organismos eussociais por excelência, apresentam sobreposição de gerações, cuidado cooperativo com a prole e divisão de trabalho entre castas.

As formigas são também um dos grupos de invertebrados mais bem estudados em termos de taxonomia, sistemática, biologia e ecologia^{63,64}. Atualmente, existe uma rica diversidade de ferramentas online para o estudo de formigas, incluindo literatura taxonômica, imagens em alta resolução, informações sobre biologia e ecologia⁶⁵⁻⁶⁷.

As formigas são facilmente reconhecidas pela seguinte combinação de caracteres entre os himenópteros: antenas geniculadas, cintura estreita e nodosa e ovipositor modificado em aparelho de ferrão. Quando nos referimos a caracteres úteis na identificação dos espécimes, podemos citar as projeções corporais, a pilosidade, a cor e o tamanho. Introdução aos termos morfológicos para o estudo de formigas podem ser obtidos no *AntWiki*⁶⁷, o site mais atual e completo sobre formigas do mundo.

Formigas são parte integral dos ecossistemas terrestres e estão envolvidas em diversas interações com outros organismos. São dispersoras de sementes, têm

relações mutualísticas com insetos sugadores de seiva (trofobiontes), são hospedeiras de uma grande diversidade de organismos associados (mirmecófilos), atuam como predadores e são também presas. Enquanto a diversidade de formigas é considerada crucial para o funcionamento e manutenção de muitos ecossistemas, é a abundância delas (biomassa) que determina a escala do impacto das atividades das formigas nos ecossistemas⁶¹. Por exemplo, estima-se que formigas escavem 13 toneladas de solo/hectare/ano, aumentando a disponibilidade de nutrientes (decomposição), renovando e alterando a estrutura do solo, criando e mantendo uma diversidade de micro-habitats para o desenvolvimento de diversos organismos⁶¹.

Pesquisas sobre a relação entre formigas e plantas são uma importante parte da pesquisa sobre formigas, cobrindo aspectos de biologia básica e econômica⁶⁸. São

conhecidas 60 espécies de formigas envolvidas na polinização de quase 50 espécies de plantas em ambientes naturais, e há dados de que 11.000 espécies de angiospermas (77 famílias) sejam dispersadas por formigas⁶⁹. Evidências recentes indicam que a diversificação em grande escala das formigas pode estar ligada à evolução das angiospermas (plantas com flores)⁷⁰.

A diversidade de formigas está concentrada em florestas tropicais, mas uma alta diversidade também está presente em ambientes não florestados, como savanas, campos e desertos. Na região Neotropical já foram registradas cerca de 4.300 espécies⁶⁷, sendo que no Brasil são conhecidas aproximadamente 1.500 espécies, representando 35% da fauna Neotropical (Figura 17). Na Amazônia brasileira são conhecidas cerca de 1.100 espécies de formigas⁷¹.

No Pará, um dos estados brasileiros com informações históricas



▲ Figura 17 - Um exército de formigas no chão das florestas tropicais. Formigas-de-correição, *Eciton burchellii*. Foto: Alex Wild.

cas sobre riqueza e distribuição de formigas mais detalhadas do país, são conhecidas mais de 700 espécies⁷². Em Paragominas, estudos envolvendo diferentes ambientes (floresta primária, secundária e agroecossistemas) resultaram em uma lista de 285 espécies para o município⁷³. Especificamente na área da MPSA, amostragens de formigas em solo e na vegetação revelaram 115 espécies em uma única expedição. Considerando a riqueza relativamente alta de espécies registradas na área de mineração, a partir de coletas sistemáticas com armadilhas de queda realizadas em fragmentos de floresta secundárias e áreas de restauração florestal, espera-se uma diversidade local

comparável ao observado em outras regiões da Amazônia Oriental (200 - 300 espécies).

A lista inicial de espécies é composta, em sua maioria, por espécies já conhecidas (Figuras 18 e 19), mas a ampliação de amostragens no dossel e serapilheira das florestas, provavelmente revelará novas espécies de formigas na região. Nestas áreas, os diferentes ambientes oferecem uma excelente oportunidade para se estudar aspectos funcionais sobre a recuperação da biodiversidade de invertebrados na Amazônia, incluindo interações formigas-plantas na restauração da floresta, bem como a dinâmica de colonização da fauna em áreas degradadas da Amazônia.

Formigas são organismos numericamente dominantes nos ambientes terrestres. Mas, qual é o número exato de formigas no planeta? Estimativas que integram dados de todos os continentes e biomas sugerem que existam 20 quatrilhões de formigas, representando uma biomassa total de 12 megatoneladas de carbono! Isso excede a biomassa combinada de todas as aves e mamíferos não humanos, ou 20% da biomassa de humanos na Terra⁶¹.



▲ Figura 18 - Formigas comuns na vegetação da área na MPSA. Da esquerda para a direita, de cima para baixo: *Cephalotes atratus*; *Dolichoderus bispinosus*; *Daceton armigerum*; *Ectatomma tuberculatum*. Fotos: César Favacho.



▲ Figura 19 - Os grandes predadores na área da MPSA, em Paragominas. Da esquerda para a direita: *Pachycondyla crassinoda*; a temida *Paraponera clavata*, possuindo o veneno mais potente (conhecido numa escala de dor para os seres humanos) entre todos os insetos. Fotos: César Favacho.

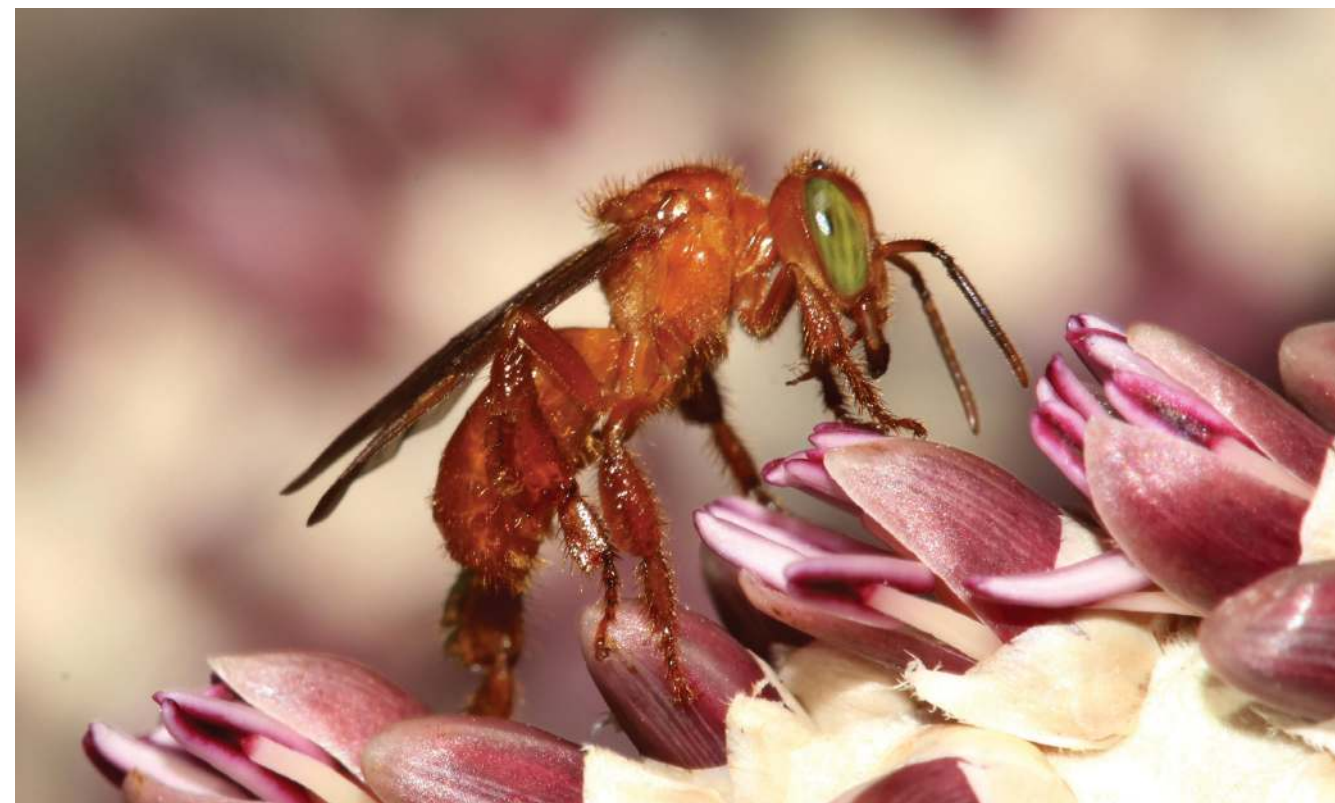
Abelhas

São atualmente representadas por cerca de 20.000 espécies em todo o mundo. A fauna brasileira inclui aproximadamente 2.000 espécies descritas de abelhas, das quais cerca de 200 são abelhas sem ferrão (meliponíneos - também conhecidas como abelhas nativas)⁸⁵. O Brasil é o país com a maior ocorrência de espécies de meliponíneos, e 75% dessas espécies são registradas na Amazônia⁸⁶. Na

área da MPSA, em Paragominas, amostragens de abelhas nas flores revelaram um total de 109 espécies.

As abelhas são os principais polinizadores das angiospermas, o grupo mais diverso de plantas com flores do planeta. Elas prestam um serviço às plantas: a polinização, que consiste na transferência dos grãos de pólen das estruturas masculinas (anteras) para as estruturas

femininas da flor (estigma). Esse processo permite a formação de frutos e sementes que, futuramente, produzirão uma nova planta. A polinização é fundamental para a manutenção das populações de diversas espécies de plantas silvestres e para a produção de alimentos, incluindo vários produtos agrícolas de importância econômica, como o maracujá e a castanha-da-amazônia e o açaí (Figura 20).



▲ Figura 20 - Abelha sem ferrão (*Trigona pallens*) visitando a flor do açaí. Foto: Cristiano Menezes.

Algumas espécies de abelhas dependem das flores para obter o seu alimento e o de sua prole: o pólen das flores é a fonte de proteínas, o néctar a fonte de açúcares. Porém, néctar e pólen não são os únicos alimentos fornecidos para a prole. Existem espécies de abelhas que coletam óleo em flores e utilizam este recurso para alimentar as larvas e revestir as células da cria. Algumas espécies de meliponíneos têm um hábito alimen-

tar ainda mais peculiar: visitam carcaças de animais onde coletam líquidos e pequenos pedaços de carne. Dentro deste grupo, há ainda aquelas espécies que são obrigatoriamente necrófagas, ou seja, a sua fonte de proteínas é a carcaça e, portanto, não coletam pólen⁸⁸.

Quando ouvimos falar de abelha, as referências mais comuns são as abelhas italianas ou africanas (*Apis mellifera*) produtoras

de mel e que formam colônias (abelhas sociais). Porém, a grande maioria das espécies conhecidas de abelhas é solitária (Figura 21). Uma fêmea solitária constrói seu próprio ninho, aprovisiona uma ou mais células de cria com pólen misturado a néctar, sem ajuda de outras fêmeas, e coloca seus ovos. Após cumprir todas essas tarefas, a fêmea deixa o ninho ou morre antes da emergência da prole, ou seja, não há contato entre as

diferentes gerações. As abelhas melíferas (*Apis*) e os meliponíneos são as únicas espécies que formam colônias permanentes, com a presença de rainha e centenas de filhas operárias (Figura 21). Elas constituem somente cerca de 6% de todas as espécies conhecidas.

Um grupo importante de abelhas, pouco conhecido apesar de representar 20% das espécies descritas, é o das abelhas cleptoparasitas. As fêmeas dessas espécies não constroem ninhos; em vez disso, colocam seus ovos nas células dos ninhos construídos por outras espécies de abelhas. Suas larvas se alimentam do pólen e do néctar coletado pela abelha hospedeira.

O mundo das abelhas é diverso e existem várias peculiaridades. Por exemplo, elas geralmente são citadas como diurnas, mas existem abelhas crepusculares e mesmo noturnas. O voo noturno é possível

devido às adaptações morfológicas do sistema visual destas abelhas, como olhos relativamente maiores quando comparados ao das abelhas de hábitos diurnos. Outro exemplo de singularidade são os machos das abelhas das orquídeas (Euglossíneos). Eles coletam substâncias aromáticas geralmente nas flores, sendo que cada espécie tem a sua própria combinação de substâncias aromáticas formando um tipo de “perfume”. Durante a coleta das substâncias aromáticas nas flores, os machos atuam como polinizadores. Os machos euglossíneos são os únicos polinizadores de mais 600 espécies de orquídeas, o que faz com que sejam popularmente conhecidos como “abelhas-das-orquídeas”. A utilidade do “perfume” para as abelhas ainda não é totalmente conhecida, mas todas as evidências apontam para um sistema análogo a um feromônio sexual, isto é, os machos utilizam

tais fragrâncias para atrair as fêmeas à cópula.

Para os meliponíneos, eram conhecidas até recentemente a existência de apenas duas castas de fêmeas: as rainhas e as operárias. Porém, em 2012 foi descoberta uma terceira casta, a das abelhas guardas, com função específica de proteger a colônia. Essa função de “soldado” é muito conhecida em espécies de formigas e cupins, mas até então nunca havia sido registrada para abelhas. A abelha guarda sai do ovo com características morfológicas de uma guerreira: tamanho do corpo maior, maior força na mandíbula e coloração diferente das demais operárias. Elas montam guarda na entrada da colônia, prontas para combater outras espécies de abelhas sem ferrão que são ladras, especialistas em invadir colônias para roubar alimento e cera⁸⁹.



▲ Figura 21 - Da esquerda para a direita: ninho da abelha social urucu-amarelo (*Melipona flavolineata*) produtora de mel encontrada no Pará; abelha solitária coletora de óleo do gênero *Centris* construindo seu próprio ninho. Fotos: Cristiano Menezes.

Moscas (Ordem Diptera)

Os insetos da Ordem Diptera são popularmente conhecidos como moscas, mosquitos, mutucas, dentre outros e são caracterizados por apresentar somente o primeiro par de asas membranosas e desenvolvido, enquanto o segundo par é reduzido em uma estrutura conhecida como halter ou balancim. Essa é a terceira ordem mais numerosa de insetos, com mais de 155.000 espécies descritas para todos os continentes, exceto Antártida⁷⁴. Para o Brasil, já foram descritas aproximadamente 11.800 espécies em cerca de 100 famílias⁷⁵.

Os dípteros, dentre todas as ordens de insetos, certamente são os mais ecologicamente diversos, visto que eles se alimentam de quase tudo que os demais insetos consomem. Existem espécies hematófagas, endoparasitas e ectoparasitas de vertebrados, fitófagas, predadoras, parasitoides e saprófagas. Os dípteros são considerados o grupo mais importante sob o ponto de vista médico-veterinário, já que muitas das mais importantes doenças do homem, como malária, filariose, oncocercose, leishmaniose e tripanossomose, são transmitidas por estes insetos.

Eles também possuem importante papel na decomposição da matéria orgânica apodrecida e na ciclagem dos nutrientes. Inúmeras espécies atuam no processo de polinização, inclusive de espécies com importância econômica, como o cacaueiro e cupuaçuzeiro.

Mosca da carne

Sarcophagidae é uma família com cerca de 3.100 espécies descritas distribuídas em todos os continentes, com exceção dos polos. Para o Brasil já foram registradas 384 espécies, sendo 130 para a Amazônia⁷⁵. A maioria das espécies da América do Sul pertence à Sarcophaginae e poucas espécies de Miltogramminae (4,4%) foram registradas para o Brasil⁷⁶. Os sarcófagídeos são de tamanho médio a grande (8 a 25 mm), mas há também espécies pequenas (2 a 6 mm). Essas moscas possuem morfologia externa relativamente uniforme e geralmente possuem olhos vermelhos, três faixas pretas no tórax dispostas longitudinalmente, abdômen variando de preto a marrom com manchas acinzentadas e/ou amareladas (Figura 22). Os sarcófagídeos, considerando o

estágio larval, são os dípteros que apresentam os hábitos alimentares mais diversos dentre todas as famílias de moscas⁷⁷. As larvas de algumas espécies são cleptoparasitas em ninho de vespas solitárias (roubam alimentos de outras espécies), saprófagas (se alimentam de restos orgânicos em putrefação), coprófagas (ingerem fezes ou excrementos de outros animais), predadoras de ovos de insetos e de répteis, parasitoides de outros artrópodes e parasitas de vertebrados⁷⁸. As larvas de Sarcophaginae apresentam importância ecológica na ciclagem dos nutrientes, já que suas larvas atuam ativamente no processo de degradação de matéria orgânica em decomposição⁷⁹. Os adultos alimentam-se de néctar de flores e podem atuar no processo de polinização de várias espécies vegetais⁸⁰.

Nos últimos anos, vários estudos taxonômicos importantes foram publicados. Apesar disso, várias regiões e habitats da região amazônica ainda têm sido pouco amostrados (por exemplo: manguezal, praias, restingas, campinas), e muitas espécies ainda não descritas são esperadas quando estes locais forem devidamente amostrados.



▲ Figura 22 - Espécies de Sarcophagidae. Da esquerda para a direita: *Peckia* (*Peckia*) *chrysostoma*; *Blaesoxipha* sp.; *Peckia* (*Sarcodexia*) *lambens*; *Tricharaea* (*Sarcophagula*) *occidua*.

Moscas druidas

Outro grupo curioso são as moscas pertencentes à família Clusiidae. Este grupo compreende mais de 636 espécies descritas com ocorrência para todos os continentes, exceto para as regiões polares. No Brasil são conhecidas 142 espécies, sendo que 98 ocorrem na Amazônia brasileira⁸¹. As moscas desta família são pequenas (1,5 a 7,5 mm) e alongadas, com coloração preta, amarelada ou preta e amarela, cujas asas comumente apresentam faixas escurecidas (Figura 23).

Os adultos não são facilmente encontrados em lugares abertos, mas são comuns em troncos de árvores e em

plantas que contenham nectários extraflorais em suas folhas. Os adultos se alimentam de néctar e seiva⁸². As larvas de algumas espécies permanecem em madeira em decomposição, onde provavelmente se alimentam de fungos⁸³. Larvas de espécies de *Sobarocephala* já foram encontradas em colônias de cupins e em túneis produzidos por besouros em árvores caídas⁸². A fauna desta família ainda é pouco conhecida, principalmente na região amazônica. Um exemplo é a área da MPSA, onde foram encontradas 12 espécies do gênero *Sobarocephala*, todas até então desconhecidas pela ciência.



▲ Figura 23 - Espécies de Clusiidae. Da esquerda para a direita: *Czernyola* sp.; e *Sobarocephala* sp.

Moscas das frutas

Drosophilidae é uma grande e diversa família de Diptera, com mais de 4.600 espécies descritas na literatura⁹⁰. As espécies estão distribuídas em 76 gêneros pertencentes a duas subfamílias, Steganinae e Drosophilinae. Ambas as subfamílias são registradas no Brasil, que apresenta 364 espécies entre todos os biomas. Representantes da família são encontrados em praticamente todos os ambientes do planeta (com exceção dos polos), sendo algumas espécies endêmicas de determinadas regiões, enquanto outras são cosmopolitas (mais amplamente distribuídas). Muitas espécies são comumente encontradas em lugares que tiveram influências antrópicas.

Dentre todas as famílias de Diptera, Drosophilidae é uma das mais bem conhecidas e, também, uma das mais variadas quanto à sua biologia. Os indivíduos são atraídos por recursos onde bactérias e leveduras iniciam a fermentação, sendo considerados consumidores primários desses microrganismos^{91,92}. Essas moscas são capazes de utilizar diferentes tipos de substratos tanto para a alimentação, quanto para a oviposição dos adultos, para corte, cópula e desenvolvimento larval⁹¹, e com frequência são registradas em frutos, flores, cascas de árvore, folhas, caules e raízes em decomposição⁹². Os representantes da família são frequentemente utilizados como ferramentas úteis para a

biologia da conservação. Por serem moscas pequenas, numerosas, facilmente amostradas, sensíveis às mudanças de seus habitats e terem o ciclo de vida curto, os ecólogos as veem como modelos biológicos para estudos sobre conservação da biodiversidade⁹³. Por essas razões, algumas espécies demonstram seu potencial como sinais de alerta precoce para mudanças ambientais e restauração de habitats^{94,95}.

Apesar de sua posição de evidência, a fauna de drosofilídeos do Brasil não é homogênea bem conhecida para as regiões do país. Embora estudos ecológicos abordando aspectos da diversidade, composição e abundância das moscas tenham crescido, a diversi-

dade da família ainda é subamostrada para as regiões Norte e Nordeste, principalmente. Além disso, os inventários de diversidade de Drosophilidae fazem uso de armadilhas com isca de frutas, em especial banana, que filtram espécies que são atraídas por frutos. Grandes levantamentos com uma ampla variedade de potenciais tipos de recursos ainda precisam ser explorados para melhor conhecimento da fauna ao longo das diferentes regiões do país. No Pará, atualmente são conhecidas em torno de 157 espécies de Drosophilidae das 172 conhecidas para a Amazônia⁹⁶, sendo o estado com maior representatividade do grupo para o Bioma. Nas áreas da MPSA, quatro gêneros *Amiota*, *Leucophenga*, *Rhinoleucophenga* e *Zygothrica* (Figura 24) possuem possíveis novas espécies para a ciência que estão sendo descritas.



▲ Figura 24 - De cima para baixo: vista dorsal e vista lateral da drosófila do gênero *Amiota*; vista dorsal e lateral da drosófila do gênero *Zygothrica*. Ambos os exemplares coletados na MPSA, em Paragominas. Escala 1 mm.

Diversidade de artrópodes em áreas de floresta X áreas em regeneração

Os resultados obtidos até agora evidenciam a diversidade dos diferentes grupos de insetos e aranhas. Para grupos com fauna bem conhecida em áreas de mata alterada ou em regeneração, como a da MPSA, há pouca ou nenhuma novidade em termos de espécies novas ou raras. Por outro lado, grupos menos estudados revelam muitas espécies novas (ainda desconhecidas pela ciência), principalmente na mata alterada ou na vegetação pioneira das áreas em recuperação.

Foi possível demonstrar que a composição da fauna de insetos e aranhas dentro da mata é completamente

distinta daquela encontrada nas áreas em regeneração. Staphylinidae e Schizopteridae (insetos), além de Salticidae (aranhas), foram observados apenas nas áreas de mata. Em contraste, algumas espécies de percevejos (fedefede) e besouros gorgulhos (Curculionidae) foram encontradas exclusivamente nas áreas em regeneração, associadas à vegetação pioneira. Esses grupos podem, portanto, ser considerados bioindicadores desses ambientes.

As áreas em regeneração abrigam muitas espécies de formigas e percevejos comuns no Cerrado. Essa invasão de espécies típicas de áreas

abertas e secas em áreas originalmente de floresta tropical úmida resulta da alteração ambiental causada pelo ser humano.

A diversidade dos diferentes ambientes nesta área oferece uma excelente oportunidade para estudar aspectos funcionais da recuperação da biodiversidade de artrópodes na Amazônia. Isso inclui interações entre insetos e plantas, predadores e presas na restauração da floresta, e a dinâmica de colonização da fauna em áreas degradadas da Amazônia. Novas metodologias podem complementar estratos ainda não amostrados nas próximas coletas.

Referências

1. ØDEGAARD, F. How many species of arthropods? Erwin's estimate revised. *Biological Journal of the Linnean Society*, v. 71, p. 583-597, 2000.
2. WHEELER, W. C.; CODDINGTON, J. A.; CROWLEY, L. M.; DIMITROV, D.; GOLOBOFF, P. A.; GRISWOLD, C. E.; HORMIGA, G.; PRENDINI, L.; RAMÍREZ, M. J.; SIERWALD, P.; ALMEIDA-SILVA, L. M.; ÁLVAREZ-PA-DILLA, F.; ARNEDO, M. A.; BENAVIDES, L. R.; BENJAMIN, S. P.; BOND, J. E.; GRISMADO, C. J.; HASAN, E.; HEDIN, M.; IZQUIERDO, M. A.; LABARQUE, F. M.; LEDFORD, J.; LOPARDO, L.; MADDISON, W. P.; MILLER, J. A.; PIA-CENTINI, L. N.; PLATNICK, N. I.; POLOTOW, D.; SILVA-DÁVILA, D.; SCHARFF, N.; SZÜTS, T.; UBICK, D.; VINK, C.; WOOD, H. M.; ZHANG, J. X. The spider tree of life: phylogeny of Araneae based on target-gene analyses from an extensive taxon sampling. *Cladistics*, v. 33, n. 6, p. 576-616, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1111/cla.12182>.
3. FOELIX, R. F. *Biology of Spiders*. Third Edition. São Paulo, SP: Oxford University Press, 2011. 419 p.
4. WORLD Spider Catalog. World Spider Catalog. Version 25.0. Natural History Museum Bern. 2024. Disponível em: <http://wsc.nmbe.ch>. Acesso em: 06 jun. de 2024. Doi: 10.24436/2.
5. OLIVEIRA, U.; BRESCOVIT, A. D.; SANTOS, A. J. Sampling effort and species richness assessment: a case study on Brazilian spiders. *Biodiversity Conservation*, v. 26, p. 1481–1493, 2017. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10531-017-1312-1>.
6. HILL, D. E. The jumping behavior of jumping spiders: a review (Araneae: Salticidae). *Peckhamia*, v. 167, n. 1, p. 1–8, 2018.
7. MADDISON, W. P. A phylogenetic classification of jumping spiders (Araneae: Salticidae). *Journal of Arachnology*, v. 43, n. 3, p. 231-292, 2015. doi:10.1636/arac-43-03-231-292.
8. MATOS, T. D. S.; Ruiz, G. R. S. On the taxonomy of the jumping spider genus *Matinta* Ruiz & Maddison, 2019, with a taxonomic revision of the *vicana* species-group (Araneae: Salticidae: Amycini). *Zootaxa*, v. 5343, n. 2, p. 126-150, 2023. Doi:10.11646/zootaxa.5343.2.2
9. CIGLIANO, M. M.; BRAUN, H.; EADES, D. C.; OTTE, D. Orthoptera Species File. 2024. Disponível em: <http://orthoptera.speciesfile.org>. Acesso em: 20 mar. 2024.
10. SPERBER, C. F.; ZEFA, E.; OLIVEIRA, E. C.; CAMPOS, L. D.; BOLFARINI, M. P.; FIANCO, M.; LHANO, M. G.; VICENTE, N.; SZINWELSKI, N.; DIAS, P. G. B. S.; ACOSTA, R. C.; PRASNIEWSKI, V. M. Measuring Orthoptera Diversity. In: SANTOS, J. C.; FERNANDES, G. W. (Ed.), *Measuring Arthropod Biodiversity*. Oklahoma, USA: Springer International Publishing, 2021. p. 257–287.
11. SPERBER, C. F.; MEWS, C. M.; LHANO, M. G.; CHAMORRO, J.; MESA, A. Orthoptera Olivier, 1791. In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B.; CASARI, S. A.; CONSTANTINO, R. (Ed.). *Insetos do Brasil: diversidade e taxonomia*. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2012. p. 271-287.
12. SONG, H. Biodiversity of Orthoptera. In: FOOTIT, R. G.; ADLER, P. H. (Ed.). *Insect Biodiversity*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2018. v. II; p. 245–279.
13. TRIPLEHORN, C. A.; JOHNSON, N. F. *Introdução ao Estudo dos Insetos*. Tradução da 7a Edição de Borror and Delong's Introduction to the study of insects. São Paulo: Cengage Learning, 2011.
14. CAPINERA, J. L. *Encyclopedia of Entomology*. Oklahoma, USA: Springer, 2008. v. 4 S-Z.
15. LE GALL, M.; OVERSON, R.; CEASE, A. A global review on locusts (Orthoptera: Acrididae) and their interactions with livestock grazing practices. *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 263, n. 7, p. 100–123, 2019.
16. MURPHY, S. M.; RICHARDS, L. A.; WIMP, G. M. Editorial: Arthropod Interactions and Responses to Disturbance in a Changing World. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 13 abr. 2020. Doi: <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00093>.
17. HALL, M.; ROBINSON, D. 2021. Acoustic signalling in Orthoptera. In: JURENKA, R. (Ed.) *Advances in Insect Physiology*. Sound communication in Insects. London: Academic Press, 2021. v. 61, p. 1–99.
18. SARRIAS-S, F. A.; MORRIS, G. K.; WINDMILL, J. F. C.; JACKSON, J.; MONTEALEGRE-Z, F. Shrinking wings for ultrasonic pitch production: hyperintense ultra-short-wave-length calls in a new genus of Neotropical katydids (Orthoptera: Tettigoniidae). *PLoS ONE*, v. 9, n. 6, p. e98708, 2014.
19. GRAZIA, J.; PANIZZI, A. R.; GREVE, C.; SCHWERTNER, C. F.; CAMPOS, L. A.; GARBELOTTO, T. D. A.; FERNANDES, J. A. M. Stink Bugs (Pentatomidae). In: PANIZZI, A. R.; Grazia, J. (Eds.). *True bugs (Heteroptera) of the Neotropics*. Springer: Dordrecht, 2015. p. 681–756.
20. GRAZIA, J.; TAKIYA, D. M.; WOLFF, V. R. S.; SCHWERTNER, C. F.; MEJDALANI, G.; CAVICHIOLO, R. R.; PERONTI, A. L. B. G.; QUEIROZ, D. L. de; BURCKHARDT, D.; FERNANDES, J. A. M.; MOREIRA, F. F.; GIL-SANTANA, H. R.; FERREIRA, P. S. F.; CARRENHO, R.; BRUGNERA, R.; GUIDOTI, M. Hemiptera Linnaeus, 1758. In: RAFAEL, J. A.; MELO, G. A. R.; CARVALHO, C. J. B. de; CASARI, S.; CONSTANTINO, R. (eds). *Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia*. 2ª ed. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 2024. p. 368-456. Doi: <https://doi.org/10.61818/56330464c25>.
21. WHEELER, R. C., Schuh, R.T. & Bang, R. 1993. Cladistic Relationships among higher groups of Heteroptera: Congruence between morphological and molecular data sets. *Entomologica Scandinavica* 24(2): 121–137.
22. RIDER, D. A.; SCHWERTNER, C. F.; VILÍMOVÁ, J.; RÉDEI, D.; KMENT, P.; THOMAS, D. B. Higher systematics of the Pentatomoidea. In: MCPHERSON, J. E. (Ed.) *Invasive Stink Bugs and Related Species (Pentatomoidea)*: Biology, Higher Systematics, Semiochemistry, and Management. 1st edn. Boca Raton: CRC Press, 2018. pp 28 –141.
23. SILVA, V. J.; SANTOS, C. R. M.; FERNANDES, J. A. M. Stink bugs (Hemiptera: Pentatomidae) from Brazilian Amazon: checklist and new records. *Zootaxa*, v. 4425, n. 3, p. 401–455, 2018.
24. EMSLEY, M. G. The Schizopteridae (Hemiptera: Heteroptera) with the descriptions of new species from Trinidad. *Memoirs of the American Entomological Society*, v. 25, p. 1–154, 1969.
25. WEIRAUCH, C.; FERNANDES, J. A. M. The minute litter bugs (Dipsocoromorpha). In: PANIZZI, A. R.; GRAZIA, J. (Eds.). *True bugs (Heteroptera) of the Neotropics*. Rotterdam: Springer Netherlands, 2015. Vol. 2; p. 99–109.
26. SCHUH, R. T.; WEIRAUCH, C. 2020. *True bugs of the world (Hemiptera: Heteroptera)*: classification and natural history (Second Edition). Manchester, UK: Siri Scientific Press, 2020. 800 p.
27. ALBUQUERQUE, F.; FERNANDES, J. A. M.; WEIRAUCH, C. Taxonomic revision of the minute litter bug subgenus *Schizoptera (Zygophleps)* McAtee & Malloch, 1925 (Heteroptera: Dipsocoromorpha: Schizopteridae). *Insect Systematics & Evolution*, v. 53, n. 4, p 335-399, 2022.
28. KNYSHOV, A.; LEON, S.; HOEY-CHAMBERLAIN, R.; WEIRUACH, C. *Pegs, pouches, and spines*: Systematics and comparative morphology of the New World litter bug genus *Chinannus* Wygodzinsky, 1948. Annapolis, MD: Entomological Society of America, 2016. 112pp.
29. ALMEIDA, F. R. A.; CARVALHO-FILHO, F. S.; FERNANDES, J. A. M. A new species of *Hypsohopsis* (Heteroptera: Schizopteridae: Hypselosomatinae) from the Brazilian Amazon. *Zootaxa*, v. 4551, n. 4, p. 463–470, 2019a.
30. ALMEIDA, F. R. A.; CARVALHO-FILHO, F. S.; CASTRO, H. A.; FERNANDES, J. A. M. Two new species of *Hoplonan-nus* (Heteroptera: Schizopteridae: Schizopterinae) from the Brazilian Amazon. *Zootaxa*, v. 4658, n. 2, p. 355–367, 2019b.
31. ALMEIDA, F. R. A.; CARVALHO-FILHO, F. S.; KNYSHOV, A.; FERNANDES, J. A. M. *Voragocoris weirauchae* sp. n. (Heteroptera: Schizopteridae: Schizopterinae), a further minute litter bug species from Brazil. *Zootaxa*, v. 4729, n. 1, p. 138–144, 2020.
32. GRIMALDI, D.; ENGEL, M. S. *Evolution of the Insects*. Cambridge; New York; Melbourne: Cambridge University Press, 2005. xv + 755 pp.
33. WORLD FLORA ONLINE. Disponível em: <http://www.world-floraonline.org>. Acesso em: 15 mar 2024.
34. IUCN 2014. The IUCN Red List of Threatened Species, versão 2014.3. Summary Statistics for Globally Threatened Species. Table 1: Numbers of threatened species by major groups of organisms (1996–2014). Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>.
35. MONNÉ, M. L.; COSTA, C. 2023. *Coleoptera in Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil*. PNUD. Disponível em: <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/223>. Acesso em: 25 nov. 2023.
36. LIMA, A. C. *Insetos do Brasil, Coleópteros, parte 4*. Tomo 10º. Rio de Janeiro: Escola Nacional de Agronomia, 1956. Vol.8. 373 p.
37. SILVA, A. G.; GONÇALVES, C. R.; SILVA, M. N.; SIMONI, L. de. 1967-1968. *Quarto catálogo dos insetos que vivem nas plantas do Brasil, seus parasitos e predadores*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura. Departamento de Defesa e Inspeção Agropecuária, 1967. Parte 1, 1967, Bibliografia entomológica brasileira, tomos 1 e 2, 906p. Parte 2, 1968, tomo 1, Insetos, hospedeiros e inimigos naturais, 622p.; tomo 2, índice de insetos e índice de plantas, 265p.
38. VANIN, S. A. Curculionidae. In: BRANDÃO, C. R. F.; CANCELLO, E. (eds.) *Invertebrados terrestres*. Vol. V. JOLY, C. A.; BICUDO, C. E. M. (org.). *Biodiversidade no estado de São Paulo: síntese do conhecimento ao final do século XX*. São Paulo: FAPESP, 1999. P. 133–140.
39. BONDAR, G. Síntese biológica dos curculionídeos brasileiros. *Boletim Fitossanitário*, v. 5, n. 1-2, p. 43–48, 1951.
40. ANDERSON, R. S. Weevils and plants: phylogenetic versus ecological mediation of evolution of host plant associations in Curculionidae (Curculionidae). *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, v. 165, p. 197–232, 1993.
41. HARAN, J. M.; BEAUDOIN-OLLIVIER, L.; BENOIT, L.; KUSCHEL, G. Revision of the palm-pollinating weevil genus *Elaeidobius* Kuschel, 1952 (Curculionidae, Curculioninae, Derelomini) with descriptions of two new species, *European Journal of Taxonomy*, v. 684, p. 1–32, 2020.
42. MARVALDI, A. E.; LANTERI, A. A. Key to higher taxa of South American weevils based on adult characters (Coleoptera, Curculionoidea). *Revista Chilena de Historia Natural*, v. 78, p. 65–87, 2005.
43. OBERPRIELER, R. G.; ANDERSON, R. S.; MARVALDI, A. E. Curculionoidea Latreille, 1802: introduction, phylogeny. *Handbook of Zoology, Arthropoda: Insecta*, p. 285-300, 2014.
44. WASSELL, J. L. H. *Coprophasous weevils* (Coleoptera: Curculionidae). *Journal of the Entomological Society of Queensland*, v. 5, n 73–74, 1966.
45. ZWÖLFER, H.; BENNETT, F. D. *Ludovix fasciatus* Gyll. (Coleoptera, Curculionidae), an entomophagous weevil. *The Entomologist's Monthly Magazine*, v. 105, p. 122–123, 1969.

46. OBERPRIELER, R. G.; MARVALDI, A. E.; ANDERSON, R. S. Weevils, weevils, weevils everywhere. *Zootaxa*, v. 520, p. 491–520, 2007.
47. NEWTON, A. 2022. StaphBase. *In*: BÁNKI, O.; ROSKOV, Y.; DÖRING, M.; OWER, G.; HERNÁNDEZ ROBLES, D.R.; PLATA CORREDOR, C.A.; STJERNEGAARD JEPPESEN, T.; ÖRN, A.; VANDEPITTE, L.; HOBERN, D.; SCHALK, P.; DEWALT, R.E.; MA, K.; MILLER, J.; ORRELL, T.; AALBU, R.; ABBOTT, J.; ADLARD, R.; ADRIAENSSENS, E. M. *et al.*, *Catalogue of Life Checklist* (Annual Checklist 2022). Amsterdam, Netherlands. <https://doi.org/10.48580/dg9ld-3gk>.
48. BOUCHARD, P.; SMITH, A. B.; DOUGLAS, H.; GIMMEL, M. L.; BRUNKE, A. J.; KANDA, K. 2017. Biodiversity of Coleoptera: Science and Society. *Insect biodiversity*, p. 337–417, jul. 2017.
49. ASENJO, A.; KLIMASZEWSKI, J.; CHANDLER, D. S.; FIERROS-LÓPEZ, H. E.; VIEIRA, J. S. Staphylinidae (Insecta: Coleoptera) in Latin America: synopsis, annotated catalog, diversity and distribution. *Zootaxa*, v. 4621, n.1, p. 1–406, 2019.
50. ASENJO, A.; IRMLER, U.; KLIMASZEWSKI, J.; HERMAN, L. H.; CHANDLER, D. S. A complete checklist with new records and geographical distribution of the rove beetles (Coleoptera, Staphylinidae) of Brazil. *Insecta Mundi*, v. 0277: 1–419, 2013.
51. ARNETT JR., R. H.; Thomas, M. C. American Beetles, Volume I: Archostemata, Myxophaga, Adephaga, Polyphaga: Staphyliniformia. Cleveland, Ohio: CRC Press, 2000. 464p.
52. CASARI, S.; BIFFI, G.; IDE, S. Coleoptera Linnaeus, 1758, p. 575-698. *In*: Insetos do Brasil: Diversidade e Taxonomia. 2ª ed. 2ed. Manaus, AM: Editora INPA, 2024.
53. ASHE, J. S.; TIMM, R. M. Probable mutualistic interaction between staphylinid beetles (*Amblopinus*) and their rodent hosts. *Journal of Tropical Ecology*, v. 3, p. 177-182, 1987.
54. SEEVERS, C. H. A monograph on the termitophilous staphylinidae (Coleoptera). *Fieldiana Zoology*, v. 40, n. 1, p. 334, 1957.
55. KLIMASZEWSKI, J. A revision of the genus *Aleochara* Gravenhorst of America north of Mexico (Coleoptera: Staphylinidae, Aleocharinae). *Memoirs of the Entomological Society of Canada*, v. 129, p. 1–211, 1984.
56. GOUVEA, B.; VALENTE, R. M.; ASENJO, A. A new species from the eastern Amazon rainforest with lectotype designations and key for Brazilian *Oxarthrus* Reitter, 1883 (Coleoptera: Staphylinidae: Pselaphinae). *Zootaxa*, v. 5380, p. 134-150, 2023.
57. PETERS, R. S.; KROGMANN, L.; MAYER, C.; DONATH, A.; GUNKEL, S. *et al.* Evolutionary History of the Hymenoptera. *Current Biology*, v. 27, p. 1013–1018, 2017.
58. JEANNE, R. L. Evolution of social behavior in the Vespidae. *Annual Review of Entomology*, v. 25, p. 371-396, 1980.
59. HUNT, J. H. 2007 The evolution of social wasps. New York, USA: Oxford University Press, 2007. 259 p.
60. FAYLE, T. M.; KLIMES, P. 2022. Improving estimates of global ant biomass and abundance. *PNAS*, v. 119, p. e2214825119, 2022.
61. SCHULTHEISS, P.; NOOTENA, S. S.; WANGA, R.; WONG, M. K. L.; BRASSARDA, F.; GUÉNARD, B. The abundance, biomass, and distribution of ants on Earth. *PNAS*, v. 119, p. e2201550119, 2022.
62. PARKER, J.; KRONAUER, D. J. C. How ants shape biodiversity. *Current Biology*, v. 31, p. R1141-R1224, 2021.
63. LACH, L.; PARR, C. L.; ABBOTT, K. L. *Ant Ecology*. New York, USA: Oxford University Press Inc., 2010. 402p.
64. WILSON, E. O. Biodiversity research requires more boots on the ground. *Nature Ecology & Evolution*, v. 1, p. 1590–1591, 2017.
65. ANTWEB. 2023. Disponível em: <http://www.antweb.org>. Acesso em: julho de 2023.
66. ANTCAT. 2023. Disponível em: <http://www.antcat.org>. Acesso em julho de 2023.
67. ANTWIKI. 2023. Disponível em: <http://www.antwiki.org>. Acesso em julho de 2023.
68. RICO-GRAY, V.; OLIVEIRA, P. S. 2007. *The Ecology and Evolution of Ant-Plant Interactions*. Chicago; London: The University of Chicago Press, 2007. 331p.
69. ELIZALDE, L.; ARBETMAN, M.; XAVIER, A.; EGGLETON, P.; LEAL, I. R.; LESCANO, M. N.; SAEZ, A.; WERENK-RAUT, V.; PIRK, G. I. The ecosystem services provided by social insects: traits, management tools and knowledge gaps. *Biological Reviews*, v. 95, p. 1418-1441, 2020.
70. NELSEN, M. P.; MOREAU, C. S.; BOYCE, C. K.; REE, R. H. Macroecological diversification of ants is linked to angiosperm evolution. *Evolution Letters*, v. 7, p. 79–87, 2023.
71. ANDRADE-SILVA, J.; BACCARO, F.; PRADO, L.; GUENARD, B.; WARREN, D.; ECONOMO, E.; KASS, J.; SILVA, R. R. A large-scale assessment of ant diversity across the Brazilian Amazon Basin: integrating geographic, ecological, and morphological drivers of sampling bias. *Ecography*, v. 2022, p. e06295, 2022.
72. ALBUQUERQUE, E. Z.; PRADO, L. P.; ANDRADE-SILVA, J.; SIQUEIRA, E. L. S.; SAMPAIO, K. L. S.; ALVES, D. *et al.* Ants of the State of Pará, Brazil: a historical and comprehensive dataset of a key biodiversity hotspot in the Amazon Basin. *Zootaxa*, v. 5001, p. 1-83, 2021.
73. SOLAR, R. R. C.; CHAUL, J. C. M.; MAUÉS, M.; SCHÖREDER, J. H. Quantitative Baseline of Ants and Orchid Bees in Human-Modified Amazonian Landscapes in Paragominas, Pará, Brazil. *Sociobiology*, v. 63, p. 925-940, 2016.
74. STORK, N. E. How many species of insects and other terrestrial arthropods are on the Earth? *Annual Review of Entomology*, v. 63, n. 1, p. 31-45, 2018.
75. RAFAEL, J. A.; FALASCHI, R. L.; OLIVEIRA, S. S. Diptera. *In*: PNUD. *Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil*. 2023. Disponível em: <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/252>. Acesso em: 17 Jun. 2023.
76. MELLO-PATIU, C. A.; SANTOS, J. R.; CARVALHO-FILHO, F. Sarcophagidae. 2023. *In*: PNUD. *Catálogo Taxonômico da Fauna do Brasil*. Disponível em: <http://fauna.jbrj.gov.br/fauna/faunadobrasil/1151>. Acesso em: 17 jun. 2023.
77. DAHLEM, G. A. Sarcophagidae (Oestroidea). *In*: Stehr, F. W. (Ed.), *Immature Insects*. Vol. 2. Dubuque: Kendall/Hunt Publishing Company, 1991. p. 871-873.
78. PAPE, T.; DAHLEM, G. A. 2010. Sarcophagidae *In*: BROWN, B.V.; BORKENT, A.; CUMMING, J.M.; Wood, D.M.; Woodley, N.E.; Zumbado, M. (Eds.) *Manual of Central American Diptera II*. Ottawa: NRC Press Research, 2010. p.1313-1335.
79. BUENAVENTURA, E. Museomics and phylogenomics with protein-encoding ultraconserved elements illuminate the evolution of life history and phallic morphology of flesh flies (Diptera: Sarcophagidae). *BMC Ecology and Evolution*, v. 21, p. 70, 2021.
80. BÄNZIGER, H.; PAPE, T. Flowers, feces and cadavers: Natural feeding and laying habits of flesh flies in Thailand (Diptera: Sarcophagidae, *Sarcophaga* spp.). *Journal of Natural History*, v. 38, p. 1677–1694, 2004.
81. LONSDALE, O. World catalogue of the druid flies (Diptera: Schizophora: Clusiidae). *Zootaxa*, v. 4333, n. 1, p. 1-85, 2017.
82. SOÓS, A. Clusiidae. *In*: McAlpine, J. F. (Ed.). *Manual of Nearctic Diptera*. Vol. 2. Monograph 28. Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, 1987. P. 853–857.
83. ROHÁČEK, J. Clusiidae (Diptera) of the Czech and Slovak Republics: Faunistics and notes on biology and behaviour. *Časopis Slezského zemského Muzea, Série A*, v. 44, p. 123–140, 1995.
84. MICHENER, C. D. 2007. *The Bees of the World*. Second Edition. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2007. 953 pp.
85. MOURE, J. S.; URBAN, D.; MELO, G. A. R. (org.) *Catalogue of Bees* (Hymenoptera, Apoidea) in the Neotropical Region – online version. 2022. Disponível em: <http://www.moure.cria.org.br/catalogue>. Acesso em: 14/09/2024.
86. PEDRO, S. R. M. The stingless bee fauna in Brazil (Hymenoptera: Apidae). *Sociobiology*, v. 61, n. 4, p 348-354, 2014.
87. RAMÍREZ, S. Quick guide: orchid bees. *Current Biology*, v. 19, p. 1061–1063, 2009.
88. HRNCIR, M. 2020. Diversidade de hábitos de vida de abelhas amazônicas pp. 47-56. *In*: IMPERATRIZ-FONSECA, Vera L.; ALVES, Denise (org.) *Abelhas sem ferrão do Pará. A partir das expedições científicas de João M. F. Camargo*. Belém, Pará: Instituto Tecnológico do Vale, 2020.
89. GRÜTER, C.; MENEZES, C.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; RATNIEKS, F. L. W. A. Morphologically specialized soldier caste improves colony defence in a neotropical eusocial bee. *Proc. Natl Acad. Sci. USA*, v. 109, p. 1182–1186, 2012.
90. BÄCHLI, G. TAXODROS: *The database on taxonomy of Drosophilidae*. Eletronic Database. 2023. Accessible at <http://www.taxodros.uzh.ch/>. Last access in 10 June 2023.
91. CARSON, H. L. *The ecology of Drosophila breeding sites*. Honolulu: University of Hawaii Honolulu, 1971.
92. MARSHALL, S. A. *Flies: the natural history and diversity of Diptera*. Richmond Hill: Firefly Books Ltd., 2012.
93. POWELL, J. R. *Progress and Prospects in Evolutionary Biology: the Drosophila Model*. New York: Oxford University Press, 1997. 562 p.
94. DA MATA, R. A.; MCGEOCH, M.; TIDON, R. Drosophilid assemblages as a bioindicator system of human disturbance in the Brazilian Savanna. *Biodiversity and Conservation*, v. 17, p. 2899–2916, 2008.
95. BRITO, R.; SANTA-BRÍGIDA, R.; SANTOS, R. C.; MEDEIROS, H. F.; MARTINS, M. B. Drosophilidae (Insecta, Diptera) in the Brazilian Amazon. Drosophila Information Service, v. 104, p. 43-57, dec. 2021.
96. BRITO, R.; VIANA-JUNIOR, A.; PRAXEDES, C.; MARTINS, M. Diversity and community structure of *Drosophila* (Hexapoda, Diptera) in post-mining sites under different forest restoration techniques in the Brazilian Amazon. *Restoration Ecology*, v. 32, edição 1, jan. 2024. Doi: <https://doi.org/10.1111/rec.13990>

Figura

- BERTONE, M. A.; LEONG, M.; BAYLESS, K. M.; MALOW, T. L. F.; DUNN, R. R.; TRAUTWEIN, M. D. Arthropods of the great indoors: characterizing diversity inside urban and suburban homes. *Peer J*, v. 4, p. e1582, 2016.

Capítulo 6: Vertebrados Terrestres: Anfíbios e Répteis

Leandra de Paula Cardoso Pinheiro, Gleomar Fabiano Maschio, Maria Cristina dos Santos-Costa e Youssef Oliveira da Cunha Bitar

Anfíbios

Os anfíbios estão divididos em três ordens: Anura (sapos, rãs e pererecas), Caudata (salamandras) e Gymnophiona (cecílias ou cobras-cegas) (Figura 1). Uma das principais características dos anfíbios é a pele permeável, com glândulas mucosas e de veneno.

De maneira bem simplificada, os sapos são terrestres, dão saltos curtos e sua pele é mais espessa.

Em geral, pertencem à família Bufonidae, como é o caso do famoso sapo-cururu. Já as rãs são anfíbios de pele lisa, com pernas robustas adaptadas para saltos longos, podendo ser terrestres ou aquáticas, e pertencem à família Leptodactylidae. As pererecas têm pele úmida e lisa, olhos grandes, pernas finas e longas. Seus dedos têm ventosas (discos adesivos) em suas extremidades, o que permitem

a elas subirem e se prenderem em superfícies verticais, como troncos de árvores e paredes. A grande maioria delas pertence às famílias Hylidae e Phyllomedusidae (Figura 2).

Hoje, conhecemos 8.732 espécies de anfíbios, das quais a maioria é da ordem Anura (7.687 espécies), seguida de 823 espécies da ordem Gymnophiona (cecílias) e



Sapos, pererecas e rãs

O corpo desses animais é adaptado para o salto, mas alguns podem caminhar ou nadar. Os machos de várias espécies emitem som. No Brasil, ocorrem cerca de 820 espécies



Salamandras

São os anfíbios com cauda e corpo alongado. Possuem quatro membros que são usados na locomoção. No Brasil, existem apenas cinco espécies, todas na Amazônia e gênero *Bolitoglossa*.



Cecílias, cobras-cegas

Do grego gymnos (nu) + ophi-neos (parecido com serpente), mas na verdade são anfíbios sem membros locomotores. Possuem olhos pequenos e rudimentares. No Brasil, ocorrem 38 espécies.



Figura 2 - Da esquerda para a direita: sapo; perereca; e rã.

222 espécies da ordem Caudata (salamandras)¹. O Brasil abriga uma grande diversidade de anfíbios, com quase 1.200 espécies, sendo que 390 ocorrem na Amazônia brasileira². Todos os anos, cientistas descrevem novas espécies de anfíbios para a Amazônia, especialmente por revisões taxonômicas, devido ao avanço de ferramentas de análises moleculares (DNA). Ou seja, a diversidade pode ser bem maior do que citada aqui.

Desde 2014, 35 novas espécies de anfíbios foram incluídas na “Lista de Espécies Ameaçadas do Brasil”, totalizando 59 espécies. Destas, 15 estão provavelmente extintas, 19 estão criticamente em perigo, 15 estão em perigo e 10 estão em situação vulnerável³ (Figura 3).

Uma das características mais interessantes dos anfíbios é o modo como eles se reproduzem. Atualmente, conhecemos 74 diferentes modos reprodutivos⁴, que são definidos por meio de uma combinação de características que incluem os locais onde os anfíbios promovem a postura dos ovos, onde os girinos se desenvolvem (nas espécies que passam pela fase de girino), características dos ovos, taxa e duração de desenvolvimento⁵.

Além dessa variedade de tipos de reprodução, outro ponto interessante é que os anfíbios da ordem Anura são capazes de vocalizar. Isto é, os machos emitem sinais sonoros, durante o comportamento social, para indicar cuidado com a prole, corte, organização de coro na fase reprodutiva (sítios de vocalização), manutenção de espaço territorial durante a corte nupcial e territorialidade⁶.

Na área da Mineração Paragominas S.A. (MPSA), foram registrados, ao menos, 11 modos reprodutivos distintos, com espécies se reproduzindo diretamente na água, no solo, na vegetação e em buracos

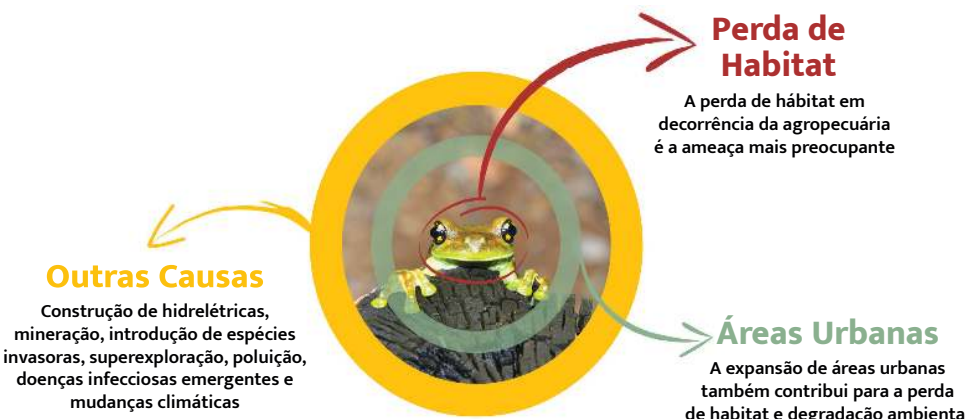


Figura 3 - Principais ameaças à preservação de anfíbios.



Figura 4 - Representação esquemática dos locais onde os anfíbios se reproduzem, registrados na área da MPSA, em Paragominas. Lado esquerdo, de cima para baixo: anfíbios que se reproduzem em bromélias ou outras plantas que acumulam água; ovos depositados em buracos de troncos de árvores; anfíbios que colocam os ovos no solo e posteriormente os machos carregam os girinos até as poças para concluir o desenvolvimento; anfíbios que produzem ninhos de espuma na terra; e anfíbios que depositam seus ovos na forma de cordões gelatinosos na água. Lado direito, de cima para baixo: anfíbios que constroem ninhos com folhas; ovos em bacias construídas na margem de cursos d'água; ninhos de espuma na água; ovos na vegetação acima da água; e ovos depositados diretamente na água. Arte: Waldeth Araújo.

de árvores (Figura 4). Algumas espécies também podem colocar seus ovos em buracos de árvores (ex.: gênero *Osteocephalus*). Ou ainda, espécies do gênero *Atelopus* depositam seus ovos no solo das florestas e posteriormente os machos carregam os girinos desenvolvidos a partir desses

ovos em seu dorso (suas costas) até poças, onde eles são colocados para completar o seu desenvolvimento. Porém, a maioria das espécies se reproduz depositando os ovos diretamente na água, em poças temporárias ou corpos d'água permanentes. Esse é o modo reprodutivo mais comum entre os

anuros e frequentemente encontrado em espécies generalistas.

Algumas espécies são capazes de produzir ninhos de espuma, característica típica da família Leptodactylidae. Esse modo também é comum em espécies que habitam ambientes mais abertos e com escassez de água.

Outra curiosidade sobre os anfíbios é que eles podem ser considerados bioindicadores ambientais, ou seja, a presença de indivíduos de uma determinada espécie no ambiente pode demonstrar/indicar se este ambiente é preservado ou não. Essa característica está diretamente relacionada ao modo como os anfíbios se reproduzem, já que eles necessitam de ambientes terrestres e aquáticos com condições adequadas para que os ovos prosperem. Por exemplo, espécies que se reproduzem diretamente na água ou em ninhos de espuma estão mais relacionadas com áreas abertas e/ou degradadas, já que esses modos são mais resistentes a altas temperaturas ambientais; por outro lado, espécies que se reproduzem na vegetação ou no solo estão mais associadas a ambientes florestados, com temperaturas mais amenas.

Além dessa particularidade na forma de reprodução, os anfíbios são utilizados como bioindicadores ambientais devido a outras características que os tornam sensíveis a alterações no meio ambiente, como a pele fina e permeável, a baixa capacidade de dispersão e a dependência da temperatura corporal em relação à temperatura ambiente⁷.

Diversos estudos demonstram que a vegetação influencia na comunidade de anfíbios, seja limitando a sua presença ou alterando sua abundância^{8,9,10}. Por exemplo, em estudo realizado em áreas florestadas e áreas abertas, a abundância e a riqueza de anuros não foi

correlacionada com índices de complexidade e heterogeneidade da vegetação, mas a riqueza foi influenciada individualmente pela circunferência das árvores e lianas (trepadeiras e cipós).

Além da vegetação, outro fator que pode explicar a diferença na composição de espécies de anuros está relacionado à distribuição não homogênea dos corpos d'água¹¹. Os anuros estão mais associados à presença de corpos d'água, que constituem em sua maioria seus sítios reprodutivos, do que a outras características do ambiente, como aspectos da vegetação (Figura 5). Os anfíbios são adaptados a microambientes sob condições específicas, como corpos d'água temporários^{12,13,14}, resultado de processos de seleção natural, que podem estar relacionados às características morfológicas, fisiológicas ou comportamentais das espécies e, consequentemente, aos seus modos reprodutivos^{15,16}.

Assim, espécies mais generalistas (capazes de suportar variações grandes nos seus habitats) costumam se reproduzir diretamente na água ou em ninhos de espuma, habitando tanto áreas abertas quanto áreas florestais, além de áreas impactadas. Espécies especialistas (que não toleram muitas mudanças em seus habitats) se reproduzem no solo de florestas úmidas ou na vegetação, e habitam áreas com maior cobertura vegetal e preservadas.

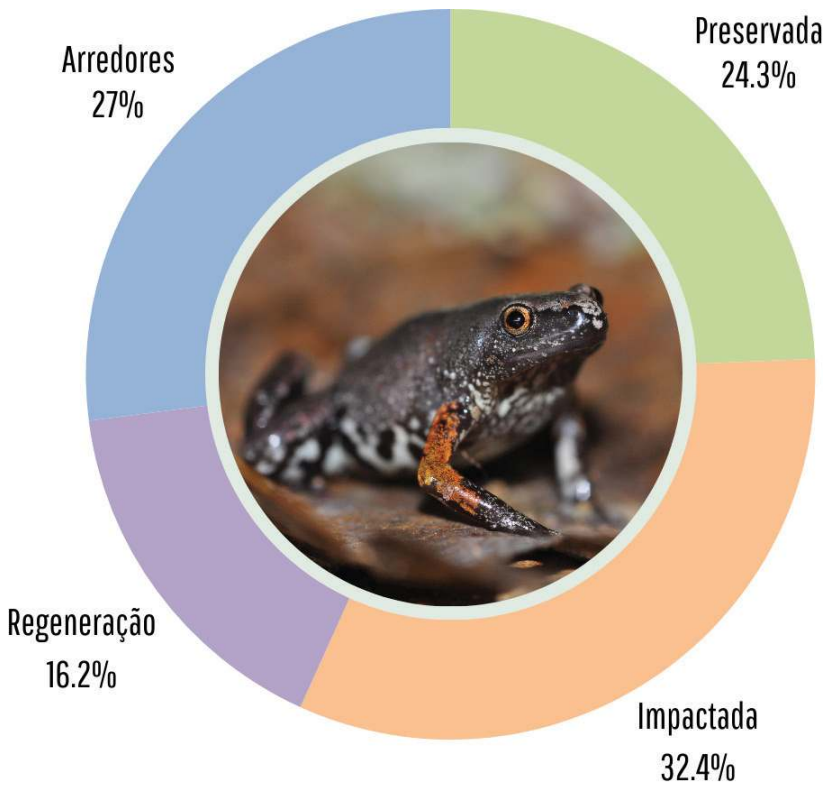


▲ Figura 5 - Espécies que necessitam de ambientes úmidos e florestais para se reproduzir. Da esquerda para a direita: *Allobates* sp.; e *Phyllomedusa vaillanti*.

Anfíbios na área da Mineração Paragominas S.A.

Em uma década de observação e registros de anfíbios, entre 2010 e 2020, na área de abrangência da MPSA, em Paragominas, várias equipes catalogaram aproximadamente 5.000 registros, distribuídos em 12 famílias e 68 espécies de sapos, rãs, pererecas e cecílias. Uma equipe de 10 profissionais realizou, ao longo dessa década, 41 estudos de levantamento desses animais, tanto na estação seca quanto na estação chuvosa (período de reprodução para a maioria dos anfíbios).

As coletas foram realizadas em três diferentes tipos de ambientes: áreas impactadas, áreas preservadas e áreas em processo de regeneração. As áreas impactadas correspondem a fragmentos e remanescentes florestais diretamente afetados pela atividade de mineração. Elas possuem vegetação ombrófila em estágio intermediário de regeneração, algumas delas com cursos d'água permanentes e próximos ou dentro de propriedades rurais privadas. As áreas preservadas são fragmentos florestais em estágio intermediário ou avançado de regeneração, sofrendo menor impacto da atividade de mineração. As áreas de regeneração incluem áreas degradadas com diferentes processos de regenera-



▲ Figura 6 - Porcentagem de espécies de anfíbios registradas na MPSA, em Paragominas, nos diferentes ambientes amostrados entre 2010 e 2020.

ção: nucleação, plantio de mudas e regeneração natural.

A maior riqueza de espécies foi encontrada nas áreas impactadas, 60 espécies com 2.825 registros. Quatro espécies ocorreram exclusivamente nas áreas impactadas, todas elas com reprodução diretamente relacionada à água. Nesse ambiente é possível encontrar tanto espécies de áreas degradadas quanto espécies de áreas preservadas. Isso porque, embora degradadas, essas áreas ainda conservam características de ambientes florestados. Isso pode ser evidenciado pela presença das espécies dos gêneros *Phyllomedusa*, *Adelphobates* e *Allobates*, que são espécies que precisam de ambientes florestados e relativamente íntegros para se reproduzirem.

É importante destacar que os impactos das atividades de mineração podem ter propiciado um aumento de espécies generalistas, o que explica a maior riqueza

nas áreas. Mas, como ainda é possível registrar espécies florestais, isso nos indica que a integridade desse ambiente não foi totalmente comprometida.

A segunda maior diversidade foi encontrada em áreas preservadas, com 45 espécies (755 registros). Mais de 26% do total de espécies encontradas (n=18) ocorre tanto em áreas preservadas quanto em áreas impactadas. São espécies que toleram algumas mudanças em seus ambientes, mas que ainda necessitam de um ambiente florestal de qualidade para sobreviver e reproduzir. Não foi registrada nenhuma espécie exclusiva desse ambiente. Reforçando as semelhanças entre as áreas preservadas e impactadas, alguns impactos foram relatados durante as coletas nas áreas preservadas, como presença de fogo, o que pode ter impactado a diversidade dessas áreas.

Nas áreas em processo de regeneração, foi encontrada a menor riqueza,

com 31 espécies (727 registros). As espécies que ocorrem nessas áreas são anfíbios que toleram grandes mudanças em seus ambientes e se reproduzem predominantemente na água. Essa área também não registrou nenhuma espécie exclusiva.

Além dessas áreas, também existe uma grande quantidade de registros nos arredores das áreas inventariadas, catalogados de forma ocasional, onde foram registradas 52 espécies em 686 registros (Figura 6; Tabela 1).

Uma das particularidades nos estudos taxonômicos dos anfíbios é a dificuldade de identificação de muitas espécies. Isso porque elas são muito semelhantes na sua forma. Então, a identificação, em muitos casos, depende da análise molecular e da vocalização. Por isto há, muitas vezes, uma subestimativa da riqueza de anfíbios, o que demanda estudos posteriores mais detalhados, com atenção especial às espécies crípticas (onde algumas espécies são morfologicamente idênticas ou muito semelhantes a outras, mas são geneticamente distintas e isoladas reprodutivamente), como, por exemplo, espécies dos gêneros *Allobates*, *Pristimantis*, *Dendropsophus*, *Scinax*, dentre outras¹⁷.

Sobre a riqueza de espécies encontrada ao longo dessa década de estudos em Paragominas, percebemos um baixo número de espécies exclusivas de cada tipo de ambiente amostrado (preservado, impactado e regeneração). De certo modo, isso pode refletir características ambientais semelhantes entre os ambientes, especialmente entre as áreas impactadas e preservadas. Essa semelhança também pode estar relacionada à presença de cursos d'água em todos os tipos de ambientes, fator determinante para a persistência de várias espécies de anfíbios.

Pelas semelhanças encontradas entre as áreas (quase 40% das espécies ocorrem em todos os ambientes amostrados), seria interessante investigar quais fatores ambientais estão de fato determinando a presença ou não de uma espécie em um ambiente. Assim, poderíamos usar os anfíbios como parâmetro de conservação para responder, por exemplo, se

a vegetação entre áreas degradadas e preservadas são semelhantes ao ponto de abrigar uma fauna muito parecida. Além disso, seria importante acompanhar se os ambientes impactados estão em um processo ascendente de degradação, com a colonização de espécies de áreas abertas.

Finalmente, destacamos que as dificuldades taxonômicas de identificação de alguns grupos de anfíbios revelam a importância da realização de estudos filogenéticos posteriores a fim de permitir melhores definições taxonômicas, de endemismo e de distribuição de espécies e, consequentemente, tomar decisões mais precisas de conservação.

Tabela 1 - Lista de espécies que ocorrem na área da MPSA ao longo dos ambientes amostrados, e suas distribuições geográficas (entre parênteses, estados não amazônicos). P: Preservado; I: Impactado; R: Regeneração; A: Arredores; * com problemas taxonômicos.

Táxon	Nº de registros	Distribuição nas áreas da MPSA				Distribuição Geográfica no Brasil
		P	I	R	A	
ORDEM ANURA						
Allophrynidae						
<i>Allophryne ruthveni</i>	1					AM, AP, MT, PA, RO, RR
Aromobatidae						
<i>Allobates crombiei</i>	3					PA, TO
<i>Allobates</i> spp.*	219					
Bufonidae						
<i>Rhaebo guttatus</i>	4					AC, AM, AP, MA, MT, PA, RO, RR, TO
<i>Rhinella dapsilis</i>	168					AM, MA, PA, TO (CE)
<i>Rhinella</i> gr. <i>margaritifera</i>	3					
<i>Rhinella marina</i>	354					Amplamente distribuída no Brasil
<i>Rhinella mirandaribeiroi</i>	2					AM, RO, PA, TO, MT (MS, PI, MG, BA)
Centrolenidae						
<i>Vitrorana ritae</i>	2					AM, AP, PA, MT, RR
Ceratophryidae						
<i>Cerathophrys cornuta</i>	4					AM, PA, RO
Craugastoridae						
<i>Pristimantis fenestratus</i> *	325					
<i>Pristimantis</i> sp.	35					
Dendrobatidae						
<i>Adelphobates galactonotus</i>	16					AM, PA
Hylidae						

Tabela 1: continuação

Táxon	Nº de registros	Distribuição nas áreas da MPSA				Distribuição Geográfica no Brasil
		P	I	R	A	
<i>Boana boans</i>	10					Bacia Amazônica
<i>Boana calcarata</i>	3					AC, AP, AM, PA, RO, RR
<i>Boana cinerascens</i>	95					Amplamente distribuída no Brasil
<i>Boana</i> gr. <i>semilineata</i> *	52					
<i>Boana multifasciata</i>	90					PA, MA, AP, RR, AM
<i>Boana raniceps</i>	12					Amplamente distribuída no Brasil
<i>Boana</i> sp.	1					
<i>Calimedusa tomopterna</i>	36					Bacia Amazônica
<i>Dendropsophus</i> gr. <i>microcephalus</i> *	75					
<i>Dendropsophus</i> gr. <i>minimus</i> *	6					
<i>Dendropsophus leucophyllatus</i>	30					AC, AM, AP, PA
<i>Dendropsophus melanargyreus</i>	5					PA, AP, TO, MT, RO
<i>Dendropsophus minutus</i>	276					Amplamente distribuída no Brasil
<i>Dendropsophus nanus</i>	42					Amplamente distribuída no Brasil
<i>Dendropsophus</i> spp.*	96					
<i>Osteocephalus leprieurii</i>	75					AC, AM, AP, RO, MT
<i>Osteocephalus oophagus</i>	142					AM, AP, PA
<i>Osteocephalus</i> spp.*	5					
<i>Osteocephalus taurinus</i>	213					AC, AM, AP, PA, MA, RO
<i>Phyllomedusa bicolor</i>	115					Bacia Amazônica
<i>Phyllomedusa vaillantii</i>	22					Bacia Amazônica
<i>Pithecopus hypochondrialis</i>	325					PA, MT, GO, TO
<i>Scinax boesemani</i>	51					AM, PA
<i>Scinax garbei</i>	2					AC, AM, RO, RR, PA
<i>Scinax</i> gr. <i>rostratus</i> *	3					
<i>Scinax nebulosus</i>	8					
<i>Scinax</i> sp.*	14					
<i>Scinax</i> sp. (clado <i>ruber</i>)*	111					
<i>Scinax x-signatus</i>	85					Amplamente distribuída no Brasil
<i>Trachycephalus resinifctrix</i>	18					Bacia Amazônica
<i>Trachycephalus typhonius</i>	30					Amplamente distribuída no Brasil

Tabela 1: continuação

Táxon	Nº de registros	Distribuição nas áreas da MPSA				Distribuição Geográfica no Brasil
		P	I	R	A	
Leptodactylidae						
<i>Adenomera andreae</i>	104					Bacia Amazônica
<i>Adenomera hylaedactyla</i>	157					Amazônia e alguns estados do nordeste
<i>Adenomera</i> sp.*	245					
<i>Engystomops petersi</i>	1					AP, AM, PA
<i>Leptodactylus fuscus</i>	94					Amplamente distribuída no Brasil
<i>Leptodactylus knudseni</i>	15					AC, AM, AP, PA, RO, RR, MT
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	30					
<i>Leptodactylus mystaceus</i>	279					AM, RO, PA, AP
<i>Leptodactylus paraensis</i>	50					PA, MT
<i>Leptodactylus pentadactylus</i>	38					AC, AM, AP, PA, RO, MT
<i>Leptodactylus</i> gr. <i>pentadactylus</i> *	9					
<i>Leptodactylus petersii</i>	107					Bacia Amazônica
<i>Leptodactylus</i> gr. <i>melanonotus</i> *	11					
<i>Leptodactylus</i> spp.*	20					
<i>Lithodytes lineatus</i>	35					AC, AP, AM, PA, RO, RR, MT
<i>Physalaemus ephippifer</i>	522					AM, PA, MA, AP, RR
<i>Pseudopaludicola</i> sp.	9					
Microhylidae						
<i>Chiasmocleis avilapiresae</i>	2					AC, RO, AM, MT, PA
<i>Chiasmocleis hudsoni</i>	1					AM, AP, PA
<i>Chiasmocleis jimi</i>	7					PA
<i>Chiasmocleis</i> sp.*	3					
<i>Ctenophryne geayi</i>	26					Bacia Amazônica
<i>Elachistocleis carvalhoi</i>	41					PA, TO
Gymnophiona						
Caeciliidae						
<i>Caecilia tentaculata</i>	3					AC, AM, AP, MA, MT, PA, CE
Total Geral	4.993	755	2825	727	686	
Nº DE ESPÉCIES	68	45	60	31	52	

Répteis

Os répteis fazem parte de um grupo de animais que compartilham algumas características em comum, como presença de uma pele altamente queratinizada (escamas) e uma camada de lipídios (gordura) entre a derme e a epiderme, que têm função de evitar a perda de água corpórea. Os répteis incluem os quelônios (tartarugas, jabutis e cágados), os crocodilianos (crocodilos e jacarés) e pelo menos três grupos distintos de escamados (serpentes, lagartos e anfisbenas) (Figura 7). Por serem ectotérmicos, ou seja, dependem de fontes externas de calor, necessitam termorregular ao sol para manter a temperatura do corpo, possibilitando a realização de suas funções metabólicas.

Com exceção dos quelônios, os demais répteis apresentam crânio com duas fendas temporais (denominado Diapsida), onde se inserem músculos especializados, permitindo uma maior mobilidade da mandíbula e aumento das táticas alimentares. Sua dieta é composta por diferentes tipos de presas, incluindo invertebrados e vertebrados, mas também podem ser herbívoros, pertencendo tanto aos níveis de consumidores primários como de consumidores secundários.

O Brasil abriga uma diversidade de biomas, cada um com características vegetais e climáticas únicas. Além disso, o país possui um sistema hídrico rico, formado por grandes rios, igarapés, lagos e lagoas. Essas diferentes paisagens permitem alta riqueza da fauna, incluindo os répteis, os quais podem ocupar tanto os ambientes aquáticos quanto os terrestres. Nos ambientes terrestres, podemos encontrar répteis que forrageiam sobre a vegetação, diretamente no solo, em galerias subterrâneas, sob a serapilheira (folhas secas sobre o solo) e, também, aqueles que forrageiam tanto no solo quanto



▲ Figura 7 - Representantes dos diferentes grupos da herpetofauna amazônica. Da esquerda para a direita, de cima para baixo: jabuti-piranga (*Chelonoidis carbonarius*); jacaretinga (*Caiman crocodilus*); iguana-verde (*Iguana iguana*); suaçuboia (*Corallus hortulana*). Fotos: Lywouty Reymond de Souza Nascimento, Kleiton Alves e Rafael Balestrin.



▲ Figura 8 - Representantes dos diferentes grupos da herpetofauna amazônica com ocorrência registrada em Paragominas. Da esquerda para a direita, de cima para baixo: *Dipsa catesbyi*; *Plica umbra*; *Eunectes murinus*; *Micrurus surinamensis*. Fotos: Heriberto Silva Filho e Rafael Balestrin.

na água. Das 11.733 espécies de répteis que ocorrem em todo o mundo²⁹, 848 ocorrem no território brasileiro³⁰, sendo 38 espécies de quelônios, seis de crocodilianos e 804 de escamados (82 anfisbenas, 292 lagartos e 430 serpentes). Na Amazônia brasileira está concentrado o maior número de espécies, com representantes de todos os táxons (450 espécies de répteis, sendo 26 de quelônios, 27 de anfisbenas, 160 de lagartos e 235 de serpentes)³⁰.

As serpentes geralmente se alimentam de vertebrados. Porém, um fato curioso é que algumas espécies podem se especializar em algum tipo de alimento, como, por exemplo, a cobra-dormideira (*Dipsas catesbyi*, Figura 8), que se alimenta exclusivamente de pequenos moluscos, ou a espécie *Tantilla melanocephala*, que é especialista em se alimentar de centopeias¹⁸. Outras podem ser generalistas, alimentando-se de vários tipos de presas, como as sucurs (*Eunectes murinus*, Figura 8), que se alimentam de peixes, pequenos e médios roedores, aves e até mesmo outros répteis, como alguns crocodilianos.

Já os lagartos alimentam-se principalmente de artrópodes, na maioria insetos, e outros vertebrados¹⁹, podendo haver, também, algumas espécies com uma dieta mais especializada, como o lagarto *Plica umbra* (Figura 8), que se alimenta principalmente de formigas. Entre os quelônios, encontramos tanto espécies herbívoras quanto carnívoras, além de espécies consideradas onívoras, que se alimentam tanto de vegetais quanto de animais.

Todos os répteis, com exceção do tuatara (gênero *Sphenodon*, encontrado apenas na Nova Zelândia), apresentam um órgão copulador, permitindo a eles que a fecundação seja interna. Essa característica permite que esse grupo gere indivíduos já formados,



▲ Figura 9 - Serpentes peçonhentas registradas em Paragominas. Da esquerda para a direita, de cima para baixo: *Micrurus lemniscatus*; *Lachesis muta*; *Bothrops atrox*; *Crotalus durissus*. Fotos: Kleiton Alves.



▲ Figura 10 - Serpentes da Amazônia com ocorrência registrada em Paragominas. Da esquerda para a direita, de cima para baixo: *Imantodes cenchoa*; *Spilotes pullatus*; *Erythrolamprus aesculapii*; *Xenodon rabdocephalus*. Foto de *Imantodes cenchoa*: Lywouty Reymond de Souza Nascimento.

categorizados como vivíparos, mas também podem botar ovos, categorizados como ovíparos. O tamanho da ninhada (número de filhotes ou de ovos) varia bastante entre as diferentes espécies. Os lagartos geralmente botam dois ovos, mas algumas serpentes ovíparas botam muitos ovos, como algumas corais-verdadeiras que podem colocar até 14 ovos²⁰. As pítons, que não ocorrem no Brasil, podem botar até 100 ovos²¹. Algumas serpentes vivíparas podem parir muitos filhotes, como as jararacucos, que podem parir mais de 100 pequenos filhotes já formados²².

No grupo dos répteis escamados, podemos encontrar algumas espécies que apresentam interações importantes com os humanos. As serpentes peçonhentas como as corais-verdadeiras (Família Elapidae; gênero *Micrurus*), surucucus, jararacas e cascavéis (Família Viperidae; gêneros *Lachesis*, *Bothrops* e *Crotalus*, respectivamente) (Figura 9) são muito famosas e podem causar envenenamentos graves em humanos e outros animais²³.

O reconhecimento das cascavéis (*Crotalus*) é bastante fácil. Quem não conhece aquele chocalho na região final do seu corpo (cauda)? Já as jararacas (*Bothrops*) e surucucus, assim como as cascavéis, apresentam a fosseta loreal, que é um orifício localizado entre o olho e a narina, com função sensorial, e a cabeça em formato triangular. As corais (*Micrurus*) apresentam características completamente diferentes das demais serpentes peçonhentas acima citadas. Possuem cabeça relativamente pequena, focinho arredondado e não destacado do corpo, olhos pequenos quase imperceptíveis, apresentam escamas grandes no alto da cabeça, em forma de placas, assim como nos colubrídeos, e não apresentam fosseta loreal. Além disso, o corpo das corais é caracteristicamente

decorado por um ou três anéis pretos cercados por dois anéis vermelhos (com raras exceções). Entre os anéis pretos podem ser visualizados anéis amarelos ou brancos. Devido ao fato de existirem falsas-corais (p.e., *Erythrolamprus aesculapii*, Figura 10), que são inofensivas, mas apresentam mimetismo, fazendo com que se pareçam muito com as corais verdadeiras, recomenda-se tratar qualquer serpente com coloração similar à das corais, como se fosse uma coral verdadeira. Essa precaução visa minimizar o risco de acidentes, que podem ser extremamente graves. Em se tratando de cobra coral, todo cuidado é pouco! Assim como existem falsas corais, também podem ser encontradas serpentes mímicas de jararacas (p.e. *Xenodon rabdocephalus*, Figura 10). Por isso recomendamos que pessoas leigas não manipulem serpentes e busquem informações com especialistas.

Tanto as jararacas quanto as cascavéis são vivíparas, ou seja, parem seus filhotes já formados. Já a surucucu, cujo comprimento total pode alcançar 4,5 m, sendo a maior serpente peçonhenta do continente americano, coloca ovos. É importante salientar que o veneno dos filhotes é tão potente quanto o veneno dos adultos. Para maiores detalhes acerca das características de serpentes peçonhentas, recomendamos consultar guias de campo^{24,27}.

Na região de Paragominas, as espécies mais abundantes de serpentes peçonhentas são as corais-verdadeiras, *Micrurus paraensis*, *M. hemprichii* (Figura 11), e a jararaca *Bothrops atrox* (Figura 9). Entre as não peçonhentas, destacam-se as cobras-cipó *Imantodes cenchoa* (Figura 10) e *Chironius exoletus*, a caninana *Spilotes pullatus* (Figura 10), a cobra-dormideira *Dipsas catesbyi* (Figura 8) e a falsa-coral *Oxyrhopus melanogenys* (Figura 11).

Em relação aos crocodilianos, a área de abrangência da MPSA faz parte da distribuição potencial do maior crocodiliano brasileiro, o jacaré-açú, *Melanosuchus niger*. Essa espécie está envolvida em um número relativamente grande de acidentes ocorridos na Amazônia²⁸. Somente duas espécies de jacarés foram registradas na MPSA, o jacaré-anão, *Paleosuchus palpebrosus*, e o jacaré-coroa, *P. trigonatus*, considerados de pequeno porte. Estes animais não apresentam número significativo de registros de acidentes com humanos²⁸.

A maioria dos quelônios que ocorrem no Estado do Pará encontra-se na Lista Brasileira de Espécies Ameaçadas de Extinção³ e da IUCN³¹. Dentre elas, as tartarugas marinhas que ocorrem no litoral, *Chelonia mydas* (tartaruga-verde), *Dermochelys coriacea* (tartaruga-de-couro) e *Lepidochelys olivacea*. Dentre elas, as tartarugas marinhas são as mais frequentes e estão citadas nas listas de espécies ameaçadas. As principais ameaças às tartarugas marinhas são a poluição dos mares e as mudanças climáticas. As tartarugas de água doce, como *Podocnemis erythrocephala* (cágado), *Podocnemis sextuberculata* (pitiú) e *Podocnemis unifilis* (tracajá) também correm riscos de extinção, na categoria “Vulnerável” da IUCN. Dentre as principais causas das ameaças às tartarugas de água doce estão o desmatamento, as usinas hidrelétricas, a poluição dos rios e a caça predatória. Das espécies exclusivamente terrestres, conhecidas como jabutis, *Chelonoidis denticulatus* e *C. carbonarius*, apenas a última se encontra ameaçada de extinção. No entanto, as duas espécies são alvo do tráfico de animais silvestres e em longo prazo podem sofrer diminuição nos tamanhos das suas populações.



▲ Figura 11 - Espécies mais abundantes registradas em Paragominas. Da esquerda para a direita: *Micrurus hemprichii*; e *Oxyrhopus melanogenys*. Fotos: Kleiton Alves e Reptiledatabase.

Tabela 2 - Lista de espécies de répteis registrados em Paragominas, apresentando o número total de espécimes registrados e sua respectiva categoria de ameaça, seguindo os critérios da IUCN³¹. LC = Least Concern (Menor Preocupação); NT = Near Threatened (Quase Ameaçada); NE = Not Evaluated (Não Avaliada); VU = Vulnerable (Vulnerável).

Ordem	Família	Táxon	Nº de Registros / Categ. IUCN	Distribuição Geográfica no Brasil
Testudines	Kinosternidae	<i>Kinosternon scorpioides</i>	112 / NT	Todo o Brasil, com exceção dos estados ES, RJ, SP, PR, SC e RS
	Geoemydidae	<i>Rhinoclemmys punctularia</i>	13 / NE	RR, AP, AM, PA, TO, MA, BA, ES e RJ
	Testudinidae	<i>Chelonoidis carbonarius</i>	15 / NE	Todo o Brasil, com exceção dos estados AC, SP, PR, SC e RS
		<i>Chelonoidis denticulatus</i>	7 / VU	Todo o Brasil, com exceção dos estados PI, CE, PB, PE, AL, SP, PR, SC e RS
	Chelidae	<i>Platemys platycephala</i>	19 / NE	RR, AP, AC, RO, AM, PA, MT e MA
	Podocnemididae	<i>Podocnemis unifilis</i>	1 / VU	RR, AP, AC, RO, AM, PA, TO, MT, GO e MA
		<i>Mesoclemmys gibba</i>	1 / NE	RR, AC, RO, AM, PA, TO, MT e MA
Crocodilia	Alligatoridae	<i>Paleosuchus palpebrosus</i>	9 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados ES, RJ, PR, SC e RS
		<i>Paleosuchus trigonatus</i>	2 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA e MA
Lacertilia	Gekkonidae	<i>Hemidactylus mabouia</i>	5 / LC	Amplamente distribuída no Brasil
	Phyllodactylidae	<i>Thecadactylus rapicauda</i>	53 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA e MA
	Sphaerodactylidae	<i>Chatogekko amazonicus</i>	54 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA e MT
		<i>Gonatodes humeralis</i>	68 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA, TO, MT, MS, MA, PI e CE
		<i>Lepidoblepharis heyerorum</i>	1 / LC	AP, AM e PA
		<i>Pseudogonatodes guianensis</i>	4 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA e MT

Tabela 2: continuação

Ordem	Família	Táxon	Nº de Registros / Categ. IUCN	Distribuição Geográfica no Brasil
	Mabuyidae	<i>Copeoglossum nigropunctatum</i>	248 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados ES, RJ, PR, SC e RS
	Dactyloidae	<i>Dactyloa punctata</i>	13 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA, MT, MA, PB, PE, AL, SE, BA, ES, MG. RJ e SP
		<i>Norops chrysolepis</i>	1 / LC	RR, AP, AM e PA
		<i>Norops fuscoauratus</i>	83 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados TO, MS, GO, DF, PI, SP, PR, SC e RS
		<i>Norops ortonii</i>	2 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados MS, GO, DF, PI, CE, RN, MG, RJ, SP, PR, SC e RS
	Iguanidae	<i>Iguana iguana</i>	7 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados DF, ES, MG, RJ, SP, PR, SC e RS
	Polychrotidae	<i>Polychrus marmoratus</i>	9 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados MS, GO, DF, PI, RN, PR, SC e RS
	Tropiduridae	<i>Plica umbra</i>	83 / LC	RR, AP, AC, RO, AM e PA
		<i>Tropidurus oreadicus</i>	346 / LC	AP, AC, RO, AM, PA, TO, MT, MS, GO, DF, MA, PI, PE, SE, BA, e MG
		<i>Uranoscodon superciliosus</i>	13 / LC	RR, AP, RO, AM, PA, TO, MT e MA
	Gymnophthalmidae	<i>Arthrosaura reticulata</i>	8 / LC	RR, AC, AP, RO, AM, PA, MT e MA
		<i>Cercosaura argulus</i>	9 / LC	AC, RO, AM, PA e MA
		<i>Cercosaura ocellata</i>	1 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados AC, AL, ES, PR, SC e RS
		<i>Colobosaura modesta</i>	4 / LC	PA, TO, MT, MS, GO, DF, MA, CE, BA, MG, SP
		<i>Loxopholis guianense</i>	1 / LC	AP, AM e PA
		<i>Loxopholis percarinatum</i>	4 / LC	RR, AP, RO, AM, PA, TO, MT e MA
		<i>Neusticurus bicarinatus</i>	5 / LC	AP, RO, AM, PA, TO, MT e MA
		<i>Tretioscincus agilis</i>	1 / LC	RR, AP, AM, PA e MT
	Teiidae	<i>Ameiva ameiva</i>	38 / LC	Amplamente distribuída no Brasil
		<i>Cnemidophorus cryptus</i>	26 / LC	AP, AM, PA e MA
		<i>Cnemidophorus lemniscatus</i>	1 / LC	RR, AP, AC, AM e PA
		<i>Kentropyx calcarata</i>	127 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados MS, RJ, SP, PR, SC e RS

Tabela 2: continuação

Ordem	Família	Táxon	Nº de Registros / Categ. IUCN	Distribuição Geográfica no Brasil
Amphisbaena	Amphisbaenidae	<i>Amphisbaena alba</i>	4 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados AC e RS
		<i>Amphisbaena fuliginosa</i>	1 / LC	AM, PA, MT e MA
Serpentes	Typhlopidae	<i>Amerotyphlops reticulatus</i>	4 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA, MT, MA e CE
	Aniliidae	<i>Anilius scytale</i>	3 / LC	AP, AC, RO, AM, PA, TO, GO, MA e CE
	Boidae	<i>Boa constrictor</i>	8 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados MS, GO, DF, PR, SC e RS
		<i>Corallus batesii</i>	1 / LC	AC, RO, AM, PA, TO, MT e MA
		<i>Corallus hortulana</i>	13 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados DF, PR, SC e RS
		<i>Epicrates cenchria</i>	3 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados MS, DF, PI, CE, SE, PR, SC e RS
		<i>Eunectes murinus</i>	1 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados RN, PB, AL, ES, RJ, SC e RS
	Colubridae	<i>Chironius carinatus</i>	2 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA, MA, PI, CE, PE, AL e BA
		<i>Chironius exoletus</i>	16 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados RN
		<i>Chironius multiventris</i>	2 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA, MT e MA
		<i>Chironius scurrulus</i>	2 / LC	AP, AC, RO, AM, PA, TO, MT e MA
		<i>Dendrophidion dendrophis</i>	1 / LC	AP, AC, RO, AM, PA e MT
		<i>Drymarchon corais</i>	5 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados PB, ES, RJ, PR, SC e RS
		<i>Drymoluber dichrous</i>	2 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados TO, MS, GO, DF, PI, RN, SE, SP, PR, SC e RS
		<i>Leptophis ahaetulla</i>	5 / LC	RR, AP, RO, AM, PA, TO, MT, GO, MA e PI
		<i>Mastigodryas boddaerti</i>	9 / LC	RR, AP, RO, AM, PA, TO, MT, MS, GO, MA, PI, CE e MG
		<i>Oxybelis aeneus</i>	3 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados PR, SC e RS
		<i>Rhinobothryum lentiginosum</i>	2 / LC	AP, AC, RO, AM, PA, MT e MA
		<i>Spilotes pullatus</i>	13 / LC	Todo o Brasil
		<i>Tantilla melanocephala</i>	6 / LC	Todo o Brasil

Tabela 2: continuação

Ordem	Família	Táxon	Nº de Registros / Categ. IUCN	Distribuição Geográfica no Brasil
	Dipsadidae	<i>Atractus snethlageae</i>	4 / LC	AP, RO, AM, PA, MT e MA
		<i>Chlorosoma viridissimum</i>	1 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA, TO, MT, MA, PI, AL e BA
		<i>Dipsas catesbyi</i>	10 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA, MT, GO, MA e BA
		<i>Dipsas indica</i>	1 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA, MT, GO, MA e BA
		<i>Dipsas pavonina</i>	1 / LC	RR, RO, PA e MA
		<i>Drepanoides anomalus</i>	1 / LC	AC, RO, AM, PA e MT
		<i>Erythrolamprus aesculapii</i>	5 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA, MT, MS e MA
		<i>Erythrolamprus oligolepis</i>	2 / LC	RR, AC, RO, AM, PA, MT e MA
		<i>Erythrolamprus reginae</i>	1 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados RR, MS, DF, PI, RN, PB, PE, PR, SC e RS
		<i>Erythrolamprus typhlus</i>	3 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA, MT e MA
		<i>Helicops angulatus</i>	5 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados ES, MG, RJ, SP, PR, SC e RS
		<i>Helicops leopardinus</i>	1 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados RR, AC, GO, ES, RJ, SP, PR, SC e RS
		<i>Hydrops triangularis</i>	1 / LC	AP, AC, RO, AM, PA, TO, MT, MA e PI
		<i>Imantodes cenchoa</i>	21 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados DF, RN, SE e RS
		<i>Imantodes lentiferus</i>	2 / LC	AP, AC, RO, AM, PA e MT
		<i>Leptodeira annulata</i>	11 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados MS, RN, SC e RS
		<i>Oxyrhopus melanogenys</i>	13 / LC	AP, AC, RO, AM, PA, MT e MA
		<i>Oxyrhopus trigeminus</i>	2 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados RR, AC, PR, SC e RS
		<i>Philodryas nattereri</i>	1 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados RR, AP, AC, RO, AM, ES, RJ, PR, SC e RS
		<i>Pseudoboa coronata</i>	2 /LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA, TO, MT, MS, GO e MA
		<i>Pseudoboa neuwiedii</i>	3 / LC	RR, AP, AM, PA, MA e PI
		<i>Pseudoboa nigra</i>	8 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados RR, AP, AC, SC e RS

Tabela 2: continuação

Ordem	Família	Táxon	Nº de Registros / Categ. IUCN	Distribuição Geográfica no Brasil
		<i>Siphlophis cervinus</i>	2 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA, MT e MA
		<i>Siphlophis compressus</i>	1 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados MS, GO, DF, PI, RN SP, PR, SC e RS
		<i>Taeniophallus occipitalis</i>	1 / LC	Todo o Brasil, com exceção dos estados RR, AP e ES
		<i>Taeniophallus quadriocellatus</i>	1 / LC	PA e MA
		<i>Xenopholis scalaris</i>	1 / LC	AP, AC, RO, MA, PA, MT, PE, BA, ES, RJ e SP
		<i>Xenoxybelis argenteus</i>	1 / LC	RR, AP, AC, RO, AM, PA, MT e MA
	Elapidae	<i>Micrurus hemprichii</i>	3 / LC	RR, AP, AM, PA, TO, MT e MA
		<i>Micrurus paraensis</i>	2 / LC	RO, AM, PA MT e MA
	Viperidae	<i>Bothrops atrox</i>	24 / LC	RR, AP, AC, RO, MA, AM, PA e MT

Répteis na Mineração Paragominas S.A.

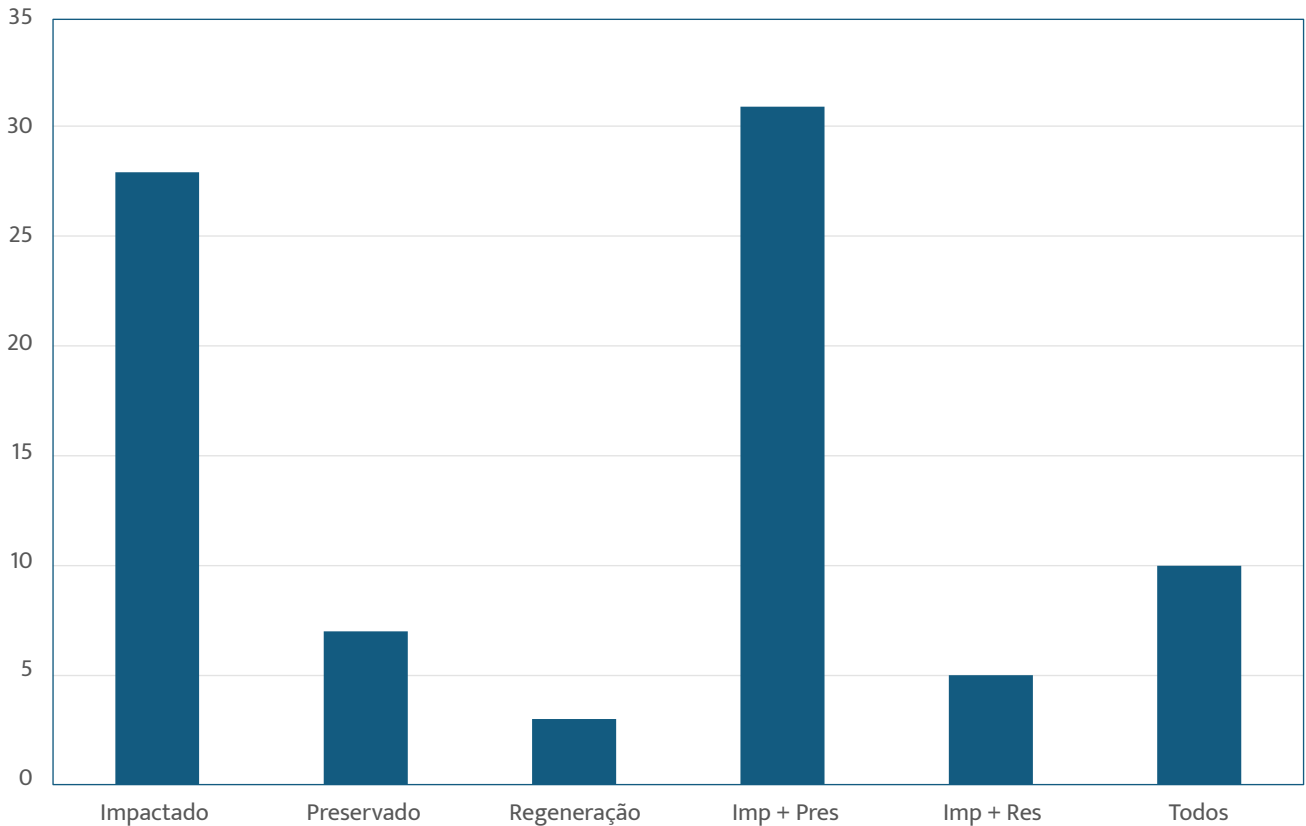
Durante os anos de 2010 a 2020, o inventário dos répteis foi realizado na área de abrangência da MPSA, em Paragominas, pela mesma equipe responsável pelo inventário dos anfíbios. Neste período, foram registrados 1.635 répteis, distribuídos nas cinco ordens (Testudines, Crocodylia, Lacertilia, Amphisbaenia e Serpentes). Entre os quelônios, foram registradas sete espécies pertencentes a cinco famílias. Para os crocodilianos, foram registradas apenas duas espécies pertencentes à família Alligatoridae, assim como para os anfisbenios, que tiveram duas espécies registradas, pertencentes à família Amphisbaenidae. Os lagartos foram os mais abundantes, apresentando o registro de 29 espécies, pertencentes a 10 famílias, enquanto as serpentes tiveram o registro de

51 espécies, pertencentes a sete famílias (Tabela 2). De todas essas espécies, nenhuma aparece na Lista de Espécies da Fauna Brasileira Ameaçadas de Extinção do Ministério do Meio Ambiente³. Os quelônios *Chelonoidis denticulatus* e *Podocnemis unifilis* constam na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN³², aparecendo como “Vulneráveis”, e o quelônio *Kinosternon scorpioides* aparece na categoria “Quase Ameaçada”. Todos os demais répteis registrados na área até o momento são considerados como espécies com Menor Preocupação (Tabela 2).

Vale ressaltar que os registros aqui apresentados foram obtidos nos três diferentes tipos de ambientes encontrados na região (ambientes de áreas impactadas, ambientes de áreas preservadas e ambien-

tes de áreas em processo de regeneração). A maior riqueza de espécies foi encontrada nas áreas impactadas, com 73 espécies. Isso pode ser explicado pelo fato de haver uma grande variedade de micro-habitats que ainda conservam características de ambientes florestados. Além disso, os répteis encontrados nas áreas mais degradadas são espécies mais generalistas em relação à alimentação e uso de habitat, e menos sensíveis às mudanças ambientais.

A segunda maior diversidade foi encontrada em áreas de regeneração, com 19 espécies. Nas áreas preservadas foram registrados 287 espécimes pertencentes a 48 espécies. Algumas espécies encontradas exclusivamente neste ambiente são mais exigen-



▲ Figura 12 - Número de espécies exclusivas de répteis por ambiente amostrado na área de abrangência da Mineração Paragominas S.A.

tes quanto ao uso de habitat, tendo como preferência alta umidade do ar, baixa incidência solar e presença de serapilheira como fonte importante de abrigo e alimento. Por isso, as espécies associadas aos ambientes estruturalmente mais complexos, como áreas preservadas, tendem a desaparecer em áreas mais degradadas.

Os ambientes onde foram realizadas coletas (impactados, preservados e de regeneração) registraram 35% das espécies exclusivas de ambientes impactados, enquanto apenas 12% ocorreram em todos os ambientes. Os ambientes preservados apresentaram apenas sete espécies exclusivas (25%) (Figura 12). Os ambientes preservados podem estar conservando características tanto de ambientes de áreas florestadas quanto

de áreas abertas, o que permite abrigar espécies que toleram maior alteração em seus habitats.

A área da MPSA apresenta um importante registro da diversidade da fauna de répteis da Amazônia. Muitos espécimes, de várias espécies presentes, possuem características que lhes permitem viver em ambientes diversos, inclusive impactados. Da mesma forma, existem espécies que são dependentes de ambientes bem preservados, como as tartarugas de água doce e algumas serpentes. Pequenos lagartos que vivem no solo das florestas e que são dependentes da serapilheira também foram registrados nesse estudo. Havendo a supressão da vegetação, a serapilheira desaparece e toda a forma de vida dependente

deste ambiente também desaparece.

Assim, é primordial que todo o empreendimento de mineração tenha um plano de reflorestamento eficiente, para que possa ocorrer a reocupação e desenvolvimento desses organismos. Os cientistas especialistas em répteis, que buscam entender de que forma a degradação ambiental afeta esses animais, sabem quais exigências dos animais são necessárias para que eles possam sobreviver nessas áreas com diferentes estágios de restauração, estabelecendo, a partir desses estudos de monitoramento, alternativas de recuperação dessas áreas, garantindo o retorno da sua fauna componente.

Referências

1. FROST, Darrel R. *Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.2.* 2024. Electronic Database accessible at <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. American Museum of Natural History, New York, USA. Acesso em: 04 abr. 2024. Doi.org/10.5531/db.vz.0001

2. FROST, Darrel R. 2021. *Amphibian Species of the World: an Online Reference. Version 6.1.* Electronic Database accessible at <https://amphibiansoftheworld.amnh.org/index.php>. American Museum of Natural History, New York, USA. Acesso em: 28 out. 2022. Doi.org/10.5531/db.vz.0001

3. MMA. 2022. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepsul/destaques-e-eventos/704-atualizacao-da-lista-oficial-das-especies-ameacadas-de-extincao.html>. Acesso em: 01 abr. 2024.

4. NUNES-DE-ALMEIDA, C. H. L.; HADDAD, C. F. B.; TOLEDO, L. F. A revised classification of the amphibian reproductive modes. *Salamandra*, v. 57, n. 3, p. 413–427, 2021.

5. SALTHER, S. N.; DUELLMAN, W. E. Quantitative constraints associated with reproductive mode in anurans. – pp. 229–249 *In*: VIAL, J. L. (ed.): *Evolutionary biology of the anurans*. Columbia: University of Missouri Press, 1993.

6. DUELLMAN, W. E.; TRUEB, L. *Biology of Amphibians*. New York, U.S.A.: McGraw-Hill Book Company, 1986.

7. TOLEDO, L. F. Anfíbios como Bioindicadores. In: NEUMANN-LEITÃO, S.; EL-DIER, S. (Org.) *Bioindicadores da Qualidade Ambiental*. Recife: Instituto Brasileiro Pró Cidadania, 2009. Pp. 196-208.

8. PEARMAN, P. B. Correlates of amphibian diversity in an altered landscape of Amazonian Ecuador. *Conservation Biology*, v. 11, p. 1211-1225, 1997.

9. ERNST, R.; RÖDEL, M.O. Antropo genically induced changes of predictability in tropical anuran assemblages. *Ecology*, v. 86, n. 11, p. 3111-3118, 2005.

10. ERNST, R.; LINSSENMAIR, K. E.; RÖDEL, M. O. Diversity erosion beyond the species level: dramatic loss of functional diversity after selective logging in two tropical amphibian communities. *Biology Conservation*, v. 12, p. 113-129, 2006.

11. ZIMMERMAN, B. I.; BIERREGAARD, R. O. Relevance of equilibrium theory of island. Biogeography and species-area relations to conservation with a case from Amazonia. *Journal of Biogeography*, v. 13, p. 133-143, 1986.

12. BERNARDE, P. S.; ANJOS, L. Distribuição espacial e temporal da anurofauna no Parque Estadual Mata dos Godoy, Londrina, Paraná, Brasil (Amphibia: Anura). *Sér. Zool.*, v. 12, n. 127–140, 1999.

13. TOLEDO, L. F.; ZINA, J.; HADDAD, C. F. B. Distribuição temporal e espacial de uma comunidade de anfíbios anuros no município de Rio Claro, São Paulo, Brasil. *Holos Environment*, v. 3, n. 2, p. 136-149, 2003.

14. BORGES, F. J. A.; JULIANO, R. F. Distribuição especial e temporal de uma comunidade de anuros do município de morrinhos, Goiás, Brasil (Amphibia: Anura). *Neotrop. Biol. Cons.*, v. 2, n. 1, p. 21-27, 2007.

15. CRUMP, M. L. Quantitative analysis of the ecological distribution of a tropical herpetofauna. *Occ. Pap. Mus. Nat. Hist. Univ. Kansas*, v. 3, p. 1-62, 1971.

16. CARDOSO, A. J.; ANDRADE, G.V.; HADDAD, C.F.B. Distribuição espacial em comunidades de anfíbios (Anura) no Sudeste do Brasil. *Revista Brasileira de Biologia*, Rio de Janeiro, v. 49, n. 1, p. 241-249, 1989.

17. PELOSO, P. L. V. A safe place for amphibians? A cautionary tale on the taxonomy and conservation of frogs, caecilians, and salamanders in the Brazilian Amazonia. *Zoologia*, v. 27, n. 5, p. 667–673, 2010.

18. MARQUES, O. V.; PUORTO, G. Feeding, reproduction and growth in the crowned snake a *Tantilla melanocephala* (Colubridae), from southeastern Brazil. *Amphibia- Reptilia*, v. 19, p. 311-318, 1998.

19. VITT, L. J.; MAGNUSSON, W. E.; ÁVILA-PIRES, T. C. S.; LIMA, A. P. *Guia de Lagartos da Reserva Adolpho Ducke, Amazônia Central*. Manaus: Attema Design Editorial Ltda, 2008. 175 p.

20. ROZE, J. A. *Coral Snakes of the Americas: Biology, Identification, and Venoms*. Malabar, Florida, USA: Krieger Publishing Company, 1996. 328 p.

21. MATTISON, C. *Snakes*. New York: DK Publishing, Inc., 2016. 192 pp.

22. SILVA, K. M.; BRAZ, H. B.; KASPEROVICZUS, K. N.; MARQUES, O. A.; ALMEIDA-SANTOS, S. M. Reproduction in the pitviper *Bothrops jararacussu*: large females increase their reproductive output while small males increase their potential to mate. *Zoology*, v. 142, n. 125816, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.zool.2020.125816>

23. WALDEZ, F.; VOGT, R. Aspectos ecológicos e epidemiológicos de acidentes ofídicos em comunidades ribeirinhas do baixo rio Purus, Amazonas, Brasil. *Acta Amazônica*, v. 39, n. 3, p. 681-692, 2009.

24. FREITAS M. A. *Serpentes Brasileiras*. Lauro de Freitas-BA: Malha-de-sapo Publicações e consultoria Ambiental, 2003. 160 p.; il.

25. FRAGA, R; LIMA, A. P.; PRUDENTE, A. L. C.; MAGNUSSON, W. E. 2013. Guia de Cobras da região de Manaus - Amazônia Central. Manaus-AM: Editora Inpa, 2013. 303 p.

26. GRANTS AU, R. K. H. As serpentes peçonhentas do Brasil. São Carlos-SP: Vento Verde Editora, 2013. 320 p.; il.

27. SILVA JÚNIOR, N. J. *As cobras-coraís do Brasil*: Biologia, Taxonomia, Venenos e Envenenamentos. Goiânia-GO: Editora da PUC, 2016. 169 p.: il.

28. BITENCOURT, M. M.; MASCHIO, G. F. Incidence and characteristics of alligator attacks on human in Brazil. *Amphibia-Reptilia*, v. 33, p. 76-82, 2023.

29. UETZ, P.; FREED, P.; AGUILAR, R.; HOSEC, J. (eds.). 2022. The Reptile Database. Disponível em: <http://www.reptile-database.org>. Acesso em: 28 out. 2022.

30. COSTA, H. C.; GUEDES, T. B.; BERNILS, R. S. Lista de répteis do Brasil: Padrões e tendências. *Herpetologia Brasileira*, v. 10, n. 3, p. 10-279, 2022.

31. IUCN. 2024. The IUCN Red List of Threatened Species. 2024-1. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>.

32. IUCN, 2022. The IUCN Red List of Threatened Species. 2022-1. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>.

Capítulo 6: Vertebrados Terrestres: Aves

Marcos Pérsio Dantas Santos, Sara Miranda Almeida, Gabriela Silva Ribeiro Gonçalves, Kauê Felipe de Moraes, Beatriz Tavares Pinheiro, Erikson Bruno Loseiro Ferreira, Issac Leite de Araújo, Rafael Ferraz da Silva, Laura Katherin Santacruz Reyes, Dimas Molina, Eric Barbosa, Mariana Tolentino e Pablo Vieira Cerqueira

Aves

História evolutiva das aves na América do Sul

Você sabia que as aves modernas (Neornithes) constituem o mais diverso grupo de vertebrados terrestres? São mais de 11.000 espécies! Evidências apontam que este grupo se originou há cerca de 100 milhões de anos, no Gondwana Ocidental, onde os climas eram predominantemente quentes e úmidos, permitindo o acúmulo de diversidade em uma variedade de ambientes, bem como o estabelecimento da floresta tropical em grande parte da América do Sul. Assim, a história biogeográfica e dinâmica de diversificação das aves modernas, é intimamente relacionada à paleogeografia e história climática da Terra¹.

As aves na América do Sul foram se diversificando cada vez mais, graças ao soerguimento dos Andes, a formação do Istmo do Panamá e a evolução do sistema de drenagem na Amazônia durante o período geológico denominado Neogeno. A formação do Istmo do Panamá, que ligou as Américas do Norte e do Sul durante o Plioceno, há cerca de 3-4 milhões de anos², facilitou a entrada de linhagens que primariamente evoluíram na América do Norte, contribuindo para a reconfiguração da diversidade de espécies de aves na região neotropical^{3,4}. Durante o Terciário e Quaternário, as flutuações climático-vegetacionais geraram drásticas mudanças na paisagem, direcionando a estrutura e diversidade das assembleias biológicas, especialmente no que se refere à riqueza e endemismo de espécies^{5,6}.

Um dos acontecimentos mais importantes para a evolução das paisagens da Amazônia foi o soerguimento da Cordilheira dos Andes nos últimos 65 milhões de anos, uma vez que os padrões de drenagens dos rios foram alterados continuamente, gerando uma variedade de pressões sobre os organismos para se adaptarem às mudanças⁷. Os grandes rios têm sido reconhecidos como importantes para os padrões de distribuição e diversificação de diversos grupos de vertebrados terrestres, separando populações e permitindo a diferenciação das espécies por meio da limitação do fluxo gênico^{8,9}. Na Amazônia, esses rios delimitam nove Áreas de Endemismo (AEs), que representam a heterogeneidade da composição de espécies de uma gama de taxas terrestres e fornecem um quadro de priorização da conservação da biodiversidade¹⁰. A AE Belém, delimitada pelos rios Tocantins, Amazonas e Pindaré, é a menor e mais ameaçada pelo desmatamento nesse bioma¹¹.

Além do complexo padrão biogeográfico¹², a Amazônia é ambientalmente heterogênea, sendo formada principalmente por florestas não-inundáveis de terra firme, mas também apresentando florestas sazonalmente inundáveis (várzeas e igapós) e áreas abertas (savanas e campinas)¹³. Esses ambientes diferem em composição de espécies de aves, contribuindo para uma alta diversidade regional⁴.

Os atuais padrões de diversificação biológica na Amazônia foram gerados por efeitos sinérgicos entre evolução da drenagem e mudanças cíclicas nas condições climáticas¹⁴. Além disso, nem todos os padrões de distribuição, diversidade e composição de espécies são estruturados pelos mesmos processos, sejam de origem biogeográfica ou ambiental¹⁵. Dessa maneira, estudos que integrem biogeografia, características ambientais e ecologia das espécies podem ajudar a elucidar os processos que geraram a diversidade na Bacia Amazônica.

A riqueza do nosso país é algo impressionante! Com seu grande território e variedade de ambientes, o Brasil possui uma das mais elevadas diversidades de aves do mundo. A última atualização feita pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (CBRO)¹⁶ identificou 1.971 espécies de aves no país. Para a Amazônia brasileira, as estimativas¹⁷ apontam cerca de 1.300 espécies para o bioma. Essas estimativas estão desatualizadas e o número de espécies tende a ser muito maior, baseando-se principalmente em novos estudos que levam em consideração além da taxonomia, aspectos comportamentais e moleculares das espécies. Um estudo¹⁸ usando as ferramentas genéticas mostrou como populações de uma espécie de coruja são distintas entre si, elevando assim algumas populações da espécie.

Principais impactos sobre a biodiversidade amazônica

Ameaças ao habitat

A Amazônia vem sofrendo forte diminuição das áreas de floresta, devido à expansão demográfica, agropecuária, aumento de estradas e exploração de recursos naturais^{19,20}. Essas atividades têm gerado diversas consequências à biodiversidade, como o isolamento de populações de organismos em fragmentos florestais, redução da disponibilidade de habitat e alterações na estrutura de micro-habitats, afetando negativamente os serviços ecossistêmicos e, até mesmo, levando espécies mais vulneráveis à extinção^{21,22}. A seguir, apresentamos algumas atividades que mais causam impacto ambiental nas populações de aves na Amazônia brasileira.

Agropecuária

A perda de habitat é uma das principais causas na mudança da dinâmica populacional de aves nos ambientes²³. Isso porque o desmatamento na Amazônia, causado principalmente devido ao crescimento do setor agropecuário, transforma a paisagem em campos de cultivos e pastagens, o que implica na redução de habitat adequado para espécies de aves, especialmente aquelas dependentes de florestas²⁴⁻²⁶.

Para o Estado do Pará, essa expansão agrícola vem sendo feita principalmente com monocultu-

ras. É o caso da palma-de-dendê (*Elaeis guineensis* Jacq.), que é uma das culturas que mais cresce no mundo, devido à demanda por produção de óleo de baixo custo para a indústria de alimentos e cosméticos, e a produção de biodiesel. Apenas em 2014 foi estimado um total de 329.000 ha de área plantada com *E. guineensis*²⁷. Estudos na Amazônia mostraram que plantações de dendezeiros apresentam comunidades de aves empobrecidas com riqueza e composição de espécies comparáveis a áreas de pastagens²⁶, além de abrigar uma avifauna com baixa diversidade de funções ecológicas que podem comprometer os serviços ecossistêmicos. Assim, é imprescindível a manutenção de fragmentos florestais e matas ripárias em meio à paisagem dominada por áreas cultivadas na Amazônia para a conservação das aves e manutenção dos serviços ecossistêmicos²⁸⁻³⁰.

Mineração

Dos países que compõem o bioma amazônico, o Brasil é um dos maiores extratores de minerais, especialmente no Estado do Pará, levando a uma redução das florestas primárias na região^{31,32}. À medida que os ambientes naturais são reduzidos pelas atividades mineradoras, o acesso aos recursos se torna mais complexo, causando pressões diretas e indiretas sobre a sobrevi-

vência das espécies^{33,34}. Isso pode causar mudança nos padrões de movimento antes e depois de um processo de fragmentação³⁵. Além das consequências secundárias que podem ocorrer, por exemplo, pela abertura de estradas para o transporte e abastecimento das áreas de mineração, levando a mudanças na dinâmica das populações de aves em vários aspectos, como a interferência na ocupação³⁶, alteração nos padrões de reprodução³⁷, alteração nos padrões de movimentação das espécies^{38,39} e comportamentos de vocalização⁴⁰.

Em áreas pós-mineradas em sucessão de vegetação, as primeiras aves a ocupar o local são espécies generalistas, aumentando a diversidade nestas áreas. Porém, isto não indica que o ambiente possa proporcionar um refúgio adequado para especialistas em habitat^{41,42}. É provável que a mineração continue a se expandir para as florestas primárias, já que esta atividade é uma importante fonte econômica. Porém, a promoção de boas práticas, a melhoria das metodologias de restauração e o monitoramento da biodiversidade podem ajudar a reduzir os impactos gerados pela mineração³².

Aves de Paragominas

As primeiras aves documentadas na região de Paragominas datam de 1849, quando o explorador Alfred Russel Wallace realizou pesquisas no Alto Rio Capim⁴³. Após 163 anos, foi publicada uma lista com todas as espécies de aves já documentadas no município desde o ano em que Wallace passou pela região. Esta compilação reuniu 440 espécies com ocorrência em Paragominas⁴⁴.

Atualmente, Paragominas possui uma lista com 468 espécies de aves distribuídas em 69 famílias (para acessar a lista de espécies, visite o QR code na página 151). Destas, 29 são endêmicas e 23 são consideradas ameaçadas de acordo com a Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da União Internacional para Conservação da Natureza⁴⁵ (IUCN) e a lista nacional de espécies ameaçadas⁴⁶. O município de Paragominas está incluso em duas Áreas Importantes para a Conservação das Aves (IBAs - Important Bird Areas): o 'Rio Capim' e o 'Gurupi'. Ambas constituem os maiores remanescentes de floresta contínua na Área de Endemismo Belém¹¹. Vale ressaltar que todos os remanescentes florestais de Paragominas se encontram em propriedades particulares e na Terra Indígena Alto Rio Guamá que, em um cenário positivo de investimentos, podem ser muito bem aproveitadas para o mercado de crédito de carbono e turismo ecológico, contribuindo para a economia e a conservação local.

É por isso que Paragominas tem uma importância imensurável para o turismo ecológico de observação de aves, tornando-se um verdadeiro *hotspot* e fornecendo uma combinação única de alta diversidade de espécies de aves e concentração de diversas espécies endêmicas e ameaçadas da porção mais vulnerável do leste amazônico. Várias espécies que ocorrem nessa região são atrativas em potencial

para o público de observadores de aves, sendo que algumas destas foram o motivo que impulsionou a criação das IBAs nesta área. A seguir, comentamos sobre as características de algumas dessas espécies, como comportamento, habitat e status de conservação.

Para a área de influência da Mineração Paragominas S.A. (MPSA), os projetos de pesquisa com aves, que vêm sendo desenvolvidos, registraram um total de 267

espécies de 69 famílias durante amostragens por censo, captura e encontros eventuais. A família Tyrannidae (26 espécies), como os bem-te-vis, conta com o maior número de espécies registradas, seguida pela família Thraupidae (22 espécies), das saíras e dos sanhaços, e Thamnophilidae (20 espécies), com as espécies conhecidas como chocas. Entre esses registros encontramos 23 espécies dentro de algum status de ameaça.



▲ **Figura 1**
Português: Jacamim-de-costas-escuras
Inglês: *Dark-winged Trumpeter*
Científico: *Psophia obscura*

O jacamim-de-costas-escuras é uma espécie extremamente dependente de floresta. Costuma viver em bandos pelo chão da floresta à procura de alimento como frutas, artrópodes e pequenos vertebrados. Possui uma plumagem predominantemente escura, com um peso corpóreo em torno de 1 kg e medindo cerca de 50 cm de comprimento. É uma das aves mais raras e ameaçadas da Área de Endemismo Belém e seu atual status de conservação é 'Em Perigo Crítico'. A principal ameaça à sobrevivência dessa espécie é a aceleração do desmatamento no extremo leste Amazônico. Outro fator que contribui para a diminuição de suas populações é a caça, uma vez que constitui uma importante fonte alimentar para populações tradicionais⁴⁷.



◀ **Figura 2**
Português: Jacupiranga
Inglês: *White-crested Guan*
Científico: *Penelope pileata*

O jacupiranga é uma espécie encontrada exclusivamente no Brasil e ocupa principalmente matas primárias na Amazônia, desde a faixa ao sul do rio Madeira até o Maranhão. Essa espécie pode ser observada comumente se deslocando pelo solo, mas normalmente forrageiam nos estratos mais altos em busca de frutos, folhas e flores nas árvores. Possui cerca de 80 centímetros, com peso corpóreo em torno de 1,5 Kg. Vivem normalmente em bandos de até dez indivíduos. Suas penas apresentam um belo contraste entre cor escura e marrom. Além do desmatamento na região, a caça para alimentação e o uso de suas penas para fins de ornamentação são graves ameaças para a espécie.



◀ **Figura 3**
Português: Gavião-real
Inglês: *Harpy Eagle*
Científico: *Harpia harpyja*

O gavião-real ou harpia é considerada a águia mais forte do planeta e a maior ave de rapina brasileira, podendo atingir 9 kg e mais de 2 m de uma ponta da asa à outra. Essa espécie é um predador natural de animais grandes como macacos e bichos-preguiça, bem como de iguanas e serpentes. Seu status de conservação é 'Quase Ameaçado', devido principalmente à destruição de seu habitat natural, as florestas, com perda de grandes árvores emergentes que são usadas pela espécie para a nidificação, além da caça por retaliação. Como são predadores de topo de cadeia, necessitam de grandes áreas bem preservadas para poder sobreviver. É por isso que o gavião-real pode ser considerado um excelente indicador de florestas bem conservadas.



◀ **Figura 4**
Português: Pica-pau-dourado-de-belém
Inglês: *Belem Woodpecker*
Científico: *Piculus paraensis*

Pica-pau-dourado-de-belém é mais uma espécie com distribuição geográfica restrita à Área de Endemismo Belém. E devido a essa distribuição restrita, além de ser dependente de área de florestas de terra firme em bom estado de conservação, atualmente está classificado na categoria de ameaça 'Vulnerável', quanto ao seu risco de extinção. Trata-se de um pica-pau de pequeno porte, medindo cerca de 20 cm de comprimento e com peso de aproximadamente 50 g. Essa espécie tem o hábito de formar bandos mistos com outras espécies de aves para forragear em conjunto. No seu caso, alimenta-se preferencialmente de formigas, cupins e pequenas aranhas. Vive normalmente solitário ou em pares. Foto: Paulo Fernando Bertagnolli.



◀ Figura 5

Português: Curica-urubu
Inglês: Vulturine Parrot
Científico: *Pyrilia vulturina*

A curica-urubu é uma espécie endêmica do Brasil, encontrada em apenas algumas áreas do Estado do Pará, no noroeste maranhense e ao norte do Tocantins. Seu estado de conservação é 'Vulnerável', pois suas populações estão sendo reduzidas devido ao aumento do desmatamento das florestas, fragmentação e degradação de seu habitat. Um indivíduo adulto mede pouco mais de 20 cm e pesa aproximadamente 150 g. Costuma habitar a copa de florestas altas e se alimenta de frutas e sementes. É uma espécie sociável, podendo ser vista aos pares durante o período de reprodução, mas também em bandos de até 10 indivíduos.



◀ Figura 6

Português: Tiriba-pérola
Inglês: Pearly Parakeet
Científico: *Pyrrhura coerulescens*

Esse pequeno psitacídeo possui distribuição geográfica restrita à Área de Endemismo Belém, e atualmente está classificado na categoria 'Vulnerável' quanto ao seu risco de extinção. Ocorre principalmente em florestas de terra firme bem conservadas e, devido a isso, tem perdido sua área de vida devido ao desmatamento, o que implica em redução de suas populações na região. Essa espécie também é vítima de capturas para o comércio ilegal de animais silvestres. Vive em pequenos bandos de 6 a 9 indivíduos e se alimenta principalmente de frutos e sementes. Possui cerca de 25 cm de comprimento e pode pesar até aproximadamente 80 g.



◀ Figura 7

Português: Ararajuba
Inglês: Golden Parakeet
Científico: *Guaruba guarouba*

A ararajuba é uma espécie endêmica do Brasil, encontrada exclusivamente no leste da Amazônia brasileira, desde o sudeste do Amazonas e norte do Pará até o norte do Maranhão. Possui aproximadamente 30 cm de comprimento e pesa em torno de 300 g, com uma plumagem predominantemente amarela e detalhes verdes. Sua alimentação constitui-se basicamente de sementes, frutos como muruci (*Byrsonima* spp.), néctar e flores. Nidifica em árvores altas e ocas, dificultando a ação de predadores de ninhos. Seu estado atual de conservação é classificado como 'Vulnerável', sendo ameaçada principalmente pela destruição das florestas onde vive. Sua área de ocorrência está em grande parte sobreposta com o conhecido arco do desmatamento da Amazônia brasileira, sendo esta região a que apresenta os mais altos índices de desmatamento em toda a região. Além deste fator, o tráfico de aves silvestres contribuiu significativamente para a redução das populações dessa espécie na natureza.



◀ Figura 8

Português: Choca-lisa
Inglês: White-shouldered Antshrike
Científico: *Thamnophilus aethiops*

Conhecida como choca-lisa, essa espécie ocorre em toda a Amazônia brasileira e uma população disjunta na costa nordeste do Brasil, nos Estados de Alagoas e Pernambuco. Possui cerca de 16 centímetros, sendo que o macho apresenta uma coloração cinza escura enquanto a fêmea apresenta uma coloração castanha. Na Amazônia, a espécie ocupa floresta de terra firme e floresta secundária. É encontrada aos pares ou em pequenos grupos, explorando a vegetação em busca de insetos, sobretudo em pequenos arbustos, ou em folhas próximas ao solo, em pequenas clareiras causadas por quedas de árvores. Na região de Paragominas ocorre a subespécie *Thamnophilus aethiops incertus*.



◀ Figura 9

Português: Mãe-de-taoca
Inglês: Black-spotted Bare-eye
Científico: *Phlegopsis nigromaculata*

A mãe-de-taoca é uma ave com ampla distribuição pelo bioma amazônico, podendo ser encontrada no Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador e Peru. A subespécie que é restrita ao leste do rio Tocantins, *Phlegopsis nigromaculata paraensis*, é classificada como 'Vulnerável' devido à perda de habitat e fragmentação das florestas da região. Quando adulto, um indivíduo mede aproximadamente 17 cm e pesa cerca de 40 g. Costumam depositar seus ovos em pequenas cavidades em troncos de árvores, a uma altura relativamente próxima do chão. Geralmente são observadas aos pares, ou em pequenos grupos. Alimentam-se de pequenos artrópodes e são importantes seguidoras de formigas-de-correição (ou 'taocas'), de onde vem seu nome em português.



◀ Figura 10

Português: Torom-do-pará
Inglês: Sneath's Antpitta
Científico: *Hyllopezus paraensis*

Esse pequeno passeriforme possui hábitos bem discretos e se locomove andando pelo chão da floresta em busca de seu alimento, que consiste basicamente em pequenos artrópodes como aranhas e insetos. Possui distribuição geográfica restrita à Área de Endemismo Belém e, atualmente, está classificada na categoria 'Vulnerável' quanto ao seu risco de extinção. Mede cerca de 15 cm de comprimento e pesa aproximadamente 20 g. Vive normalmente solitário e eventualmente é observado aos pares.



◀ Figura 11

Português: Arapaçu-da-taoca
Inglês: *White-chinned Woodcreeper*
Científico: *Dendrocincla merula*

O arapaçu-da-taoca possui esse nome devido ao seu comportamento de seguir formigas de correição pela floresta. Trata-se de um comportamento oportunístico para se alimentar de pequenos artrópodes (aranhas, escorpiões, grilos, gafanhotos etc.), os quais tentam fugir das formigas e acabam sendo capturados por essas aves que ficam sobrevoando à pequena altura o evento da correição. Esse arapaçu possui cerca de 20 cm de comprimento e pode pesar algo em torno de 50 g. Ocorre principalmente em áreas de florestas de terra firme bem conservadas, e devido ao desmatamento dessas áreas florestais, o táxon *D. merula badia*, endêmico da Área de Endemismo Belém, está classificado atualmente na categoria 'Vulnerável' quanto ao risco de extinção.



◀ Figura 12

Português: Arapaçu-barrado-do-leste
Inglês: *Todd's Woodcreeper*
Científico: *Dendrocolaptes medius*

O arapaçu-barrado-do-leste é uma ave florestal que habita as matas a leste do rio Tocantins. Escala árvores à procura de insetos, aranhas e larvas nas cascas dos troncos. Habita florestas preservadas ou pouco perturbadas. Atualmente essa espécie é classificada como 'Vulnerável' devido ao desmatamento e à fragmentação do seu habitat.



◀ Figura 13

Português: João-teneném-castanho
Inglês: *Ruddy Spinetail*
Científico: *Synallaxis rutilans omissa*

Essa espécie de passeriforme insetívoro do interior das florestas, possui aproximadamente 15 cm de comprimento e pesa em torno de 16 g. Estudos recentes mostram que esta subespécie pode ser uma espécie separada das demais⁴⁸. Sua distribuição geográfica está concentrada no leste da Amazônia brasileira, desde o leste do rio Tocantins até o oeste do Estado do Maranhão. Essa subespécie, encontrada na região de Paragominas, está classificada como 'Quase Ameaçada', se distingue das demais por possuir plumagem de coloração bem mais escura ao invés dos tons castanhos dos indivíduos de outras regiões, suportando os indícios de que se trata de uma espécie distinta. Normalmente vivem em áreas de florestas bem preservadas, onde caçam pequenos artrópodes (insetos, aranhas etc.), sempre explorando a serrapilheira na superfície do solo entre folhas mortas.



◀ Figura 14

Português: Maria-bonita
Inglês: *Black-chested Tyrant*
Científico: *Taeniotriccus andrei*

A maria-bonita é uma ave de coloração chamativa, mas pouco observada na natureza. Tem hábitos discretos e ocorre apenas em poucas áreas da Amazônia brasileira. Essa espécie é considerada rara, podendo ser encontrada em bordas de matas e clareiras na região de Paragominas. Vive em casais, sendo que a fêmea tem coloração mais opaca, com topo da cabeça e dorso esverdeados. Alimenta-se principalmente de insetos e aranhas.



◀ Figura 15

Português: Bicudo-encarnado
Inglês: *Red-and-black Grosbeak*
Científico: *Periporphyrus erythromelas*

Essa espécie possui uma plumagem bem vistosa, sendo o macho todo vermelho com a cabeça preta e a fêmea toda amarela com a cabeça também preta. Possui cerca de 20 cm de comprimento e pesa algo em torno de 50 g. Vive principalmente em áreas de floresta de terra firme bem conservadas e se alimenta basicamente de frutas e sementes, embora também utilize insetos em sua dieta. Apesar de não ser uma espécie classificada como 'Ameaçada de Extinção', é normalmente rara, apresentando uma baixa densidade de indivíduos localmente.

Conheça a lista de aves registradas no município de Paragominas, Pará, Brasil. Utilize o QR code abaixo.



Referências

1. CLARAMUNT, S.; CRACRAFT, J. A new time tree reveals Earth history's imprint on the evolution of modern birds. *Science Advances*, v. 1, p. e1501005, 2015.
2. VUILLEUMIER, F. Fossil and Recent Avifaunas and the Interamerican Interchange. In: STEHLI, F. G.; WEBB, S. D. (Eds.), *The great American biotic interchange*. New York, NY: Plenum Publishing, 1985. P. 387–424.
3. SMITH, B. T.; KLICKA, J. 2010. The profound influence of the Late Pliocene Panamanian uplift on the exchange, diversification, and distribution of New World birds. *Ecography*, v. 33, p. 333–342, 2010.
4. ALMEIDA, S. M.; JUEN, L.; SOBRAL, F. L.; SANTOS, M. P. D. The influence of biogeographic history on the functional and phylogenetic diversity of passerine birds in savannas and forests of the Brazilian Amazon. *Ecology and Evolution*, v. 8, p. 3617–3627, 2018.

5. SANDEL, B.; ARGE, L.; DALSGAARD, B.; DAVIES, R. G.; GASTON, K. J.; SUTHERLAND, W. J.; SVENNING, J.-C. The influence of late quaternary climate-change velocity on species endemism. *Science*, v. 334, p. 660-664, 2011.
6. CAPURUCHO, J. M. G.; CORNELIUS BORGES, S. H.; COHN-HAFT, M.; ALEIXO, A.; METZGER, J. P.; RIBAS, C. C. Combining phylogeography and landscape genetics of *Xenopipo atronitens* (Aves: Pipridae), a white sand campina specialist, to understand Pleistocene landscape evolution in Amazonia. *Biological Journal of the Linnean Society*, v. 110, p. 60-76, 2013.
7. HOORN, C.; WESSELINGH, F. P.; TER STEEGE, H.; BERMUDEZ, M. A.; MORA, A.; Sevink, J.; Riff, D.; NEGRI, F. R.; HOOGHIEMLSTRA, H.; LUNDBERG, J.; STADLER, T.; Särkinen, T.; Antonelli, A. Amazonia through time: Andean uplift, climate change, landscape evolution, and biodiversity. *Science*, v. 330, n. 6006, p. 927-31, 2010.
8. HAFFER, J. Hypotheses to explain the origin of species in Amazonia. *Brazilian Journal of Biology*, v. 68, p. 917-947, 2008.
9. RIBAS, C. C.; ALEIXO, A.; NOGUEIRA, A. C. R.; MIYAKI, C. Y.; CRACRAFT, J. A palaeobiogeographic model for biotic diversification within Amazonia over the past three million years. *Proceedings of the Royal Society: Biological Sciences*, v. 279, p. 681-689, 2012.
10. BORGES, S. H.; SILVA, J. M. C. A New area of endemism for Amazonian birds in the Rio Negro Basin. *Wilson Journal of Ornithology*, v. 124, p. 15-23, 2012.
11. DE LUCA, A. C.; DEVELEY, P. F.; BENCKE, G. A.; GOERCK, J. M. Áreas Importantes para a Conservação das Aves no Brasil. Parte II - Amazônia, Cerrado e Pantanal. São Paulo, SP: SAVE Brasil, 2009.
12. RIBAS, C. C.; ALEIXO, A. P. Diversity and evolution of Amazonian birds: implications for conservation and biogeography. *Anais da Academia Brasileira de Ciências (Online)*, v. 91, p. e20190218, 2019.
13. PIRES, J. M.; PRANCE, G. T. The vegetation types of the Brazilian Amazon. In: PRANCE, G. T.; LOVEJOY, T. E. (Eds.). *Key environments: Amazonia*. Oxford: Pergamon Press, 1985. P. 109-145.
14. MARQUES-SILVA, S.; PETERSON, A. T.; CARNEIRO, L.; BURLAMAQUI, T. C. T.; RIBAS, C. C.; SOUSA-NEVES, T.; ALEIXO, A. A dynamic continental moisture gradient drove Amazonian bird diversification. *Science Advances*, v. 5, n. eaat5752, 2019.
15. PIGOT, A. L.; JETZ, W.; SHEARD, C.; TOBIAS, J. A. The macroecological dynamics of species coexistence in birds. *Nature*, v. 2, p. 1112-1119, 2018.
16. PACHECO, J. F.; SILVEIRA, L. F.; ALEIXO, A.; AGNE, C. E.; BENCKE, G. A.; BRAVO, G. A.; BRITO, G. R. R.; COHN-HAFT, M.; MAURÍCIO, G. N.; NAKA, L. N.; OLMOS, F.; POSSO, S.; LEES, A. C.; FIGUEIREDO, L. F. A.; CARRANO, E.; GUEDES, R. C.; CESARI, E.; FRANZ, I.; SCHUNCK, F.; PIACENTINI, V. Q. Annotated checklist of the birds of Brazil by the Brazilian Ornithological Records Committee – second edition. *Ornithology Research*, v. 29, n. 2., 2021.
17. MARINI, M. A.; GARCIA, F. I. Conservação de aves no Brasil. *Megadiversidade*, v. 1, n. 1, p. 95-102, 2005.
18. DANTAS, S. M.; WECKSTEIN, J. D.; BATES, J. M.; OLIVEIRA, J. N.; CATANACH, T. A.; ALEIXO, A. Multi-character taxonomic review, systematics, and biogeography of the Black-capped/Tawny-bellied Screech Owl (*Megascops atricapilla*-*M. watsonii*) complex (Aves: Strigidae). *Zootaxa*, v. 4949, p. 401-444, 2021.
19. FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conservation biology*, v. 19, n. 3, p. 680-688, 2005.
20. JUSYS, T. Fundamental causes and spatial heterogeneity of deforestation in Legal Amazon. *Applied Geography*, v. 75, p. 188-199, 2016.
21. BREGMAN, T. P.; SEKERCIOGLU, C. H.; TOBIAS, J. A. Global patterns and predictors of bird species responses to forest fragmentation: implications for ecosystem function and conservation. *Biological Conservation*, v. 169, p. 372-383, 2014.
22. STRATFORD, J. A.; STOUFFER, P. C. 2015. Forest fragmentation alters microhabitat availability for Neotropical terrestrial insectivorous. *Biological Conservation*, v. 188, p. 109-115, 2015.
23. STOUFFER, P. C. Birds in fragmented Amazonian rainforest: lessons from 40 years at the biological dynamics of forest fragments project. *The Condor*, v. 122, p. 1-15, 2020.
24. ARIMA, E.; BARRETO, P.; BRITO, M. *Pecuária na Amazônia*: tendências e implicações para a conservação ambiental. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2005.
25. WALKER, R.; BROWDER, J.; ARIMA, E.; SIMMONS, C.; PEREIRA, R.; CAL-DAS, M.; SHIROTA, R.; ZET, S. Ranching and the new global range: Amazônia in the 21st century. *Geoforum*, v. 40, n. 5, p. 732-745, 2009.
26. LEES, A. C.; MOURA, N. G.; ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. Poor prospects for avian biodiversity in Amazonian oil palm. *PLoS ONE*, v. 10, p. e0122432, 2015.
27. VILLELA, A. A.; JACCOUD, D.; ROSA, L. P.; FREITAS, M. V. 2014. Status and prospects of oil palm in the Brazilian Amazon. *Biomass Bioenergy*, v. 67, p. 270-278, 2014.
28. ALMEIDA, S. M.; SILVA, L. C.; CARDOSO, M. R.; CERQUEIRA, P. V.; JUEN, L.; SANTOS, M. P. D. The effects of oil palm plantations on the functional diversity of Amazonian birds. *Journal of Tropical Ecology*, v. 32, Edição 6, nov. p. 510 - 525, 2016.
29. BARROS, F. C.; ALMEIDA, Sara Miranda; CERQUEIRA, P. V.; SILVA, L. C.; SANTOS, M. P. D. Bird diversity in 'paricá' (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) plantations and forest fragments in Eastern Amazon: taxonomic diversity, ecological guilds, and functional trait composition. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, v. 58, p. 1-12: 2023.
30. CARDOSO, M. R.; MATOS, F. A. R.; ALMEIDA, Sara Miranda; CERQUEIRA, P. V.; SANTOS, Marcos Pérsio Dantas; EDWARDS, D. P. Connected riparian reserves retain high avian phylogenetic diversity in Amazonian oil palm. *Biological Conservation*, v. 259, p. 109171, 2021.
31. ANM. Agência Nacional de Mineração. *Planejamento e estratégias para 2019*: Novas perspectivas. 2021. 83p.
32. MARTINS, W. B. R.; RODRIGUES, J. I. M. de; OLIVEIRA, V. P. de; RIBEIRO, S. S.; BARROS, W. dos S.; SCHWARTZ, G. Mining in the Amazon: Importance, impacts, and challenges to restore degraded ecosystems. Are we on the right way? *Ecological Engineering*, v. 174, p. 106468, 2022.
33. PENA, J. C. C.; GOULART, F.; FERNANDES, G. W.; HOFFMANN, D.; LEITE, F. S.; SANTOS, N. B.; RODRIGUES, M. Impacts of mining activities on the potential geographic distribution of eastern Brazil mountaintop endemic species. *Perspectives in ecology and conservation*, v. 15, n. 3, p. 172-178, 2017.
34. MARTINS-OLIVEIRA, A. T.; ZANIN, M.; CANALE, G. R.; COSTA, C. A.; EISENLOHR, P. V.; MELO, F. C. S. A.; MELO, F. R. A global review of the threats of mining on mid-sized and large mammals. *Journal for Nature Conservation*, v. 62, p. 126025, 2021.
35. VAN HOUTAN, K. S.; PIMM, S. L.; HALLEY, J.; BIERREGAARD, R. O.; LOVEJOY, T. E. Dispersal of Amazonian birds in continuous and fragmented forest. *Ecology Letters*, v. 10, p. 219-229, 2007.
36. WHITWORTH, A.; BEIRNE, C.; ROWE, J.; ROSS, F.; ACTON, C.; BRUDEKIN, O.; BROWN, P. The response of faunal biodiversity to an unmarked road in the Western Amazon. *Biodiversity and Conservation*, v. 24, p. 1657-1670, 2015.
37. KING, D. I.; DEGRAAF, R. M. The effect of forest roads on the reproductive success of forest-dwelling passerines birds. *Forest Science*, v. 48, p. 391-396, 2002.
38. LAURANCE, S. G. W.; STOUFFER, P. C.; LAURANCE, W. F. Effects of road clearings on movement patterns of understory rainforest birds in central Amazonia. *Conservation Biology*, v. 18, p. 1099-1109, 2004.
39. TREMBLAY, M. A.; ST. CLAIR, C. C. Factors affecting the permeability of transportation and riparian corridors to the movements of songbirds in an urban landscape. *Journal of Applied Ecology*, v. 46, p. 1314-1322, 2009.
40. SLABBEKOORN, H.; RIPMEESTER, E. A. P. Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Molecular Ecology*, v. 17, p. 72-83, 2008.
41. ŠÁLEK, M. Spontaneous succession on opencast mining sites: implications for bird biodiversity. *Journal of Applied Ecology*, v. 49, n. 6, p. 1417-1425, 2012.
42. RUTT, C. L.; JIRINEC, V.; COHN HAFT, M.; LAURANCE, W. F.; STOUFFER, P. C. Avian ecological succession in the Amazon: A long term case study following experimental deforestation. *Ecology and Evolution*, v. 9, n. 24, p. 13850-13861, 2019.
43. SCLATER, P. L.; SALVIN, O. List of Birds Collected by Mr. Wallace on the Lower Amazons and Rio Negro. *Proceedings of the Zoological Society of London*, v. 1867, p. 566-596, 1867.
44. LEES, A. C.; MOURA, N. G.; SANTANA, A.; ALEIXO, A.; BARLOW, J.; BERENGUER, E.; FERREIRA, J.; GARDNER, T. A. Paragominas: a quantitative baseline inventory of an eastern Amazonian avifauna. *Revista Brasileira de Ornithologia*, v. 20, n. 2, p. 93-118, 2012.
45. IUCN. International Union for Conservation of Nature. *The IUCN red list of threatened species 2021*. [cited 2021 December]. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>
46. ICMBio. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção. Vol. I, 1 ed. Brasília: ICMBio. [cited 2021 December]. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/comunicacao/publicacoes/publicacoes-diversas/livro_vermelho_2018_vol1.pdf
47. DEL HOYO, J.; COLLAR, N. J.; CHRISTIE, D. A.; ELLIOTT, A.; FISHPOOL, L. D. C. *HBW and BirdLife International Illustrated Checklist of the Birds of the World. Volume 1: Non-passerines*. Barcelona, Spain; Cambridge, UK: Lynx Edicions BirdLife International, 2014.
48. STOPIGLIA, R.; BARBOSA, W.; FERREIRA, M.; RAPOSO, M. A.; DUBOIS, A.; HARVEY, M. G., ... & Ribas, C. C. (2022). Taxonomic challenges posed by discordant evolutionary scenarios supported by molecular and morphological data in the Amazonian *Synallaxis rutilans* group (Aves: Furnariidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 195(1), 65-87.

Capítulo 6: Vertebrados Terrestres: Mamíferos

Øystein Wiig, Alexandra Maria Ramos Bezerra, Leonardo Sena e Ana Cristina Mendes-Oliveira

Mamíferos

Os mamíferos verdadeiros surgiram no final do Período Triássico, há cerca de 200 milhões de anos, e coexistiram com os dinossauros¹. Embora neste período fossem extremamente pequenos e diversificados, após a extinção dos dinossauros os mamíferos tomaram conta do ambiente terrestre há aproximadamente 66 milhões de anos².

O nome Mammalia vem do Latim *mammalis*, que significa "dos seios"³. Três características essenciais dos mamíferos são⁴:

- 1. O pelo está presente em ao menos uma fase de desenvolvimento de todos os mamíferos;
- 2. As glândulas produtoras de leite (glândulas mamárias) ocorrem em todas as fêmeas;
- 3. Nos mamíferos placentários, os filhotes nascem mais desenvolvidos, demandando um curto período de amamentação; nos marsupiais, os filhotes nascem menos desenvolvidos e passam um período mais longo amamentando; e os monotremados, são mamíferos mais primitivos que ainda põe ovos.

Atualmente, 6.801 espécies de mamíferos são encontradas em todo o mundo⁵, das quais 778 estão representados no Brasil⁶.

Neste capítulo, seguimos principalmente Burgin *et al.* (2020)⁷ para classificar grupos de mamíferos.

Classificação e Diversidade

A classe Mammalia é dividida em duas subclasses, Prototheria (*proto* = primeiro e *theria* = besta em grego) e Theria⁷. Os prototé-

rios incluem os monotremados, mamíferos basais que põem ovos, representados pelo ornitorrinco e pelas equidnas, encontrados principalmente na Austrália. Os Theria são subdivididos em duas infraclasses, Metatheria (*meta* = no meio em latim) e Eutheria (*eu* = verdadeiro em latim, resultando em “bestas verdadeiras”). Os metatérios contêm os marsupiais, que geram filhotes pouco desenvolvidos (altriciais) e se alimentam de leite geralmente produzido em glândulas mamárias que ficam protegidas dentro de uma bolsa. Este grupo é representado, por exemplo, pelos gambás sul-americanos (ordens Didelphimorphia, Paucituberculata, e Microbiotheria) e pelos cangurus e coalas na Austrália⁷. O grupo dos eutérios inclui todos os outros mamíferos e investem em uma longa gestação intrauterina, dando origem a filhotes mais desenvolvidos, também conhecidos por placentários.

Com exceção dos gambás, todos os outros mamíferos da América do Sul são eutérios, representados por dez ordens: ungulados de dedos pares (Artiodactyla), carnívoros (Carnivora), morcegos (Chiroptera), tatus (Cingulata), coelhos (Lagomorpha), ungulados de dedos ímpares (Perissodactyla), tamanduás e preguiças (Pilosa), macacos (Primates), roedores (Rodentia) e peixes-boi (Sirenia)⁷.

Os mamíferos são extremamente versáteis e adaptados para utilizar diferentes ambientes terrestres (como os felinos, os macacos e as antas), aquáticos (como os peixes-bois e os botos) e aéreos (como os morcegos). Há uma variação considerável no tamanho do corpo, tipo de pelagem, coloração, alimentação, tipo de habitat que utilizam, e comportamentos. Podem variar de alguns centímetros de compri-

mento e alguns gramas de peso, como os musaranhos (encontrados na Eurásia, África, América do Norte e norte da América do Sul), até o maior ser vivo do planeta, a baleia-azul, que vive nos oceanos, podendo chegar até 33 metros de comprimento e pesar até 150 toneladas⁵. A diversidade de formas e estilos inclui mamíferos capazes de viver em áreas cobertas de gelo próximo aos polos, bem como em diferentes tipos de florestas, nas montanhas, desertos, rios, mares e até mesmo no subsolo.

Mamíferos terrestres da Amazônia

A Amazônia é uma das regiões mais ricas do mundo considerando a fauna de mamíferos e a mais diversificada entre os biomas brasileiros⁸. Das 785 espécies reconhecidas no Brasil⁶, cerca de 450 estão representadas na Amazônia, e mais de 50% são endêmicas desta região⁸.

Neste bioma, os mamíferos desempenham vários papéis ecológicos dentro da cadeia alimentar da floresta, desde consumidores primários como os ratos-do-arroz (*Oligoryzomys* spp.), que pesam menos de 10 g⁵, passando pelos grandes herbívoros, como a anta-brasileira (*Tapirus terrestris*), que pesa cerca de 250 kg, até os predadores do topo da cadeia alimentar, como a onça-pintada (*Panthera onca*), que pode pesar cerca de 160 kg⁹. A elevada diversidade biológica e ecológica das espécies de mamíferos terrestres reflete-se nas diferentes respostas deste grupo às pressões humanas na Amazônia¹⁰.

Mamíferos em Paragominas

Nesta seção, você conhecerá as ordens de mamíferos terrestres que ocorrem na área da MPSA. Também descrevemos espécies classificadas como ameaçadas e listadas na Lista Vermelha no Brasil^{11, 12} e/ou na União Internacional para a Conservação da Natureza¹³ (ver Quadros 1, 2, e 3). A taxonomia de muitos grupos é ainda incerta e, portanto, adotamos a taxonomia de sociedades para o estudo de mamíferos^{6, 7, 14} e da literatura pertinente para a história natural e as notas ecológicas em cada ordem taxonômica comentada. As descrições básicas

dos grupos e das espécies são em sua maioria retiradas da literatura reconhecida para o estudo de mamíferos^{4, 9, 15}. Com base nos levantamentos e coletas de dados realizados pela equipe de mamíferos do BRC de 2014 a 2021 e de relatórios técnicos pré-existentes, compilamos uma lista de espécies de mamíferos registradas na área da MPSA (Apêndice 1) que inclui 96 espécies. Para algumas espécies de gambás, morcegos e roedores, a identificação foi feita apenas até o nível de gênero devido à necessidade de uma abordagem de identi-

ficação integrativa (morfologia e genética, por exemplo) para a correta identificação das espécies.

Acesse aqui o Apêndice 1. Utilize o QR Code abaixo.



Quadro 1 - Ameaças aos mamíferos

Os mamíferos representam um dos grupos de fauna mais ameaçados por pressões antrópicas na Amazônia^{17,10}. A porção oriental da Amazônia concentra grande parte do desmatamento desse bioma. A fragmentação e degradação dos habitats nativos alteram a paisagem desta região, formando um mosaico de florestas remanescentes em diferentes níveis de degradação misturadas com florestas secundárias em diferentes níveis de regeneração, além de áreas abertas economicamente produtivas. As rápidas mudanças que a floresta amazônica tem passado, especialmente em suas áreas de fronteira agrícola devido ao avanço das pressões antrópicas, colocaram a fauna em uma posição frágil. Muitas espécies de mamíferos de médio e grande porte ainda estão presentes nas áreas degradadas da Amazônia Oriental. No entanto, não sabemos por quanto tempo essas espécies sobreviverão em florestas remanescentes degradadas. Nem mesmo quais espécies se sustentarão em longo prazo ou se os ecossistemas locais conseguirão se manter com o desaparecimento da fauna.

Hoje, uma grande ameaça à vida selvagem e aos ecossistemas em todo o mundo é a caça não sustentável³⁸. Na Bacia Amazônica, a carne de caça tem uma importância cultural histórica para as comunidades tradicionais³⁹. Mesmo quando praticada para fins de

subsistência, a caça pode ter amplos efeitos adversos na diversidade de vertebrados de médio e grande porte, reduzindo a abundância de espécies excessivamente exploradas ou causando a sua extinção local⁴⁰. Em longo prazo, estes impactos nas populações de grandes vertebrados podem ter repercussões em todo o ecossistema amazônico.

Foi estimado⁴¹ que cerca de 23 milhões de mamíferos selvagens e répteis foram caçados na região centro-oeste da Amazônia brasileira de 1904 a 1969, dos quais cerca de 13 milhões eram mamíferos terrestres. As espécies de mamíferos terrestres mais caçadas foram (em ordem decrescente) a queixada (*Tayassu pecari*), o veado-mateiro (*Mazama americana*), o cateto (*Dicotyles tajacu*), a jaguatirica e o gato-maracajá (*Leopardus pardalis/ Leopardus wiedii*) e a onça-pintada (*Panthera onca*), enquanto os mamíferos aquáticos foram a capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), a ariranha (*Pteronura brasiliensis*), a lontra (*Lontra longicaudis*) e o peixe-boi (*Trichechus inunguis*). Com exceção da ariranha e do peixe-boi, todas essas espécies são encontradas na área do MPSA. A caça é um fator central para que várias dessas espécies estejam listadas como ameaçadas na Lista Vermelha brasileira e/ou mundial de “Espécies Ameaçadas” (ver Quadro 2).

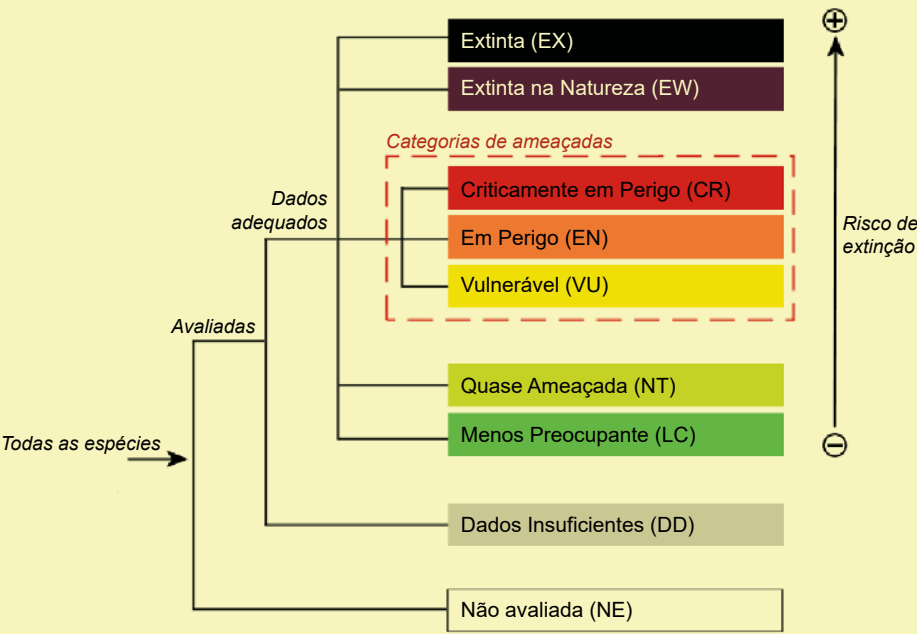
Quadro 2 - Mamíferos e a Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas

Uma Lista Vermelha é uma lista de espécies de plantas e animais classificados em categorias claramente definidas de riscos de extinção. Os procedimentos para tal classificação são fornecidos e descritos pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN)¹⁸. As avaliações podem ser realizadas em escalas globais (distribuição geográfica total) e/ou regionais (p. ex., país ou estado). As avaliações globais estão listadas na Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da IUCN (<https://www.iucnredlist.org/>) e geralmente são feitas por especialistas associados à Comissão de Sobrevivência de Espécies (SSC) da IUCN (<https://www.iucn.org/commissions/species-survival-commission/about>). No Brasil, as avaliações da Lista Vermelha são feitas sob a égide do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)¹¹, enquanto a avaliação dentro do Estado do Pará é amparada pela Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade²⁶.

O objetivo da avaliação da Lista Vermelha é avaliar a probabilidade de extinção de táxons em um futuro próximo¹⁸. Há nove categorias claramente definidas nas quais os táxons podem ser classificados⁴⁷ (Figura 1). Extinta (EX) significa que “não há dúvida razoável de que o último indivíduo morreu”. Extinta na Natureza (EW) significa que o táxon “é conhecido apenas por sobreviver em cultivo, em cativeiro ou como uma população (ou populações) naturalizada bem fora da área de distribuição anterior”. As três categorias tratadas como ameaçadas: Criticamente em Perigo (CR), Em Perigo (EN) e Vulnerável (VU) são atribuídas aos táxons com base em critérios quantitativos que são projetados para refletir vários graus de ameaça de extinção. A categoria Quase Ameaçada (NT) é aplicada a um táxon que “não se qualifica agora como Criticamente em Perigo, Em Perigo ou Vulnerável, mas está próximo de se qualificar ou provavelmente se qualificará para uma cate-

goria de ameaça em um futuro próximo.” A categoria Menos Preocupante (ou Segura) (LC) é aplicada a um táxon que “não se qualifica como Criticamente em Perigo, Em Perigo, Vulnerável ou Quase Ameaçada.” Deficiência de Dados (DD) são usados “quando não há informações adequadas para fazer uma avaliação direta ou indireta do risco de extinção com base em sua distribuição e/ou situação populacional.” A última categoria é a Não Avaliada (NE), aplicada a um táxon que “ainda não foi avaliado em relação aos critérios.”

Existem 102 espécies de mamíferos terrestres ameaçadas no Brasil¹¹, das quais 30 são encontradas no bioma Amazônico. Doze destas espécies ameaçadas são encontradas na área da MPSA (Apêndice 1). Os principais fatores ambientais que levam à classificação dos mamíferos como ameaçados são: a destruição do habitat, a caça e a captura de animais vivos¹¹.



▲ Figura 1 - Categorias da Lista Vermelha da IUCN - Retirada de IUCN SPC (2024)⁴⁷.

Quadro 3 - O uso de armadilhas fotográficas para entender a distribuição de mamíferos na área da MPSA

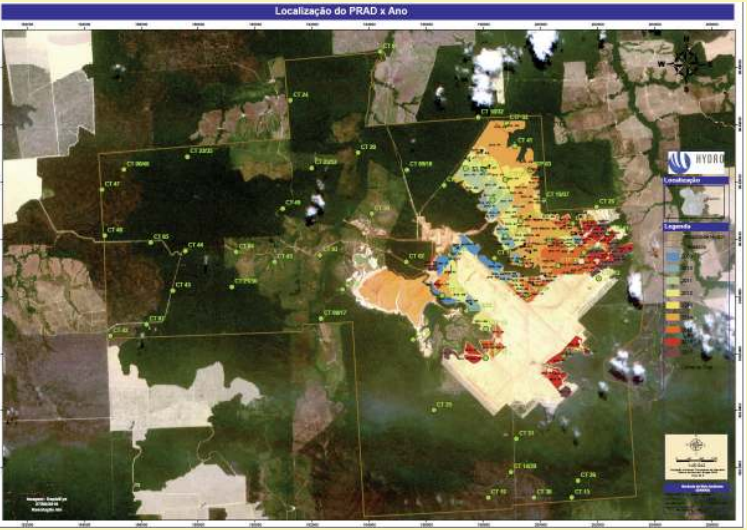
O Projeto de monitoramento de mamíferos através de armadilhas fotográficas vem sendo desenvolvido desde 2014 na área da MPSA, com ênfase especial na ocorrência e distribuição espacial das espécies da Lista de espécies ameaçadas. Os objetivos específicos deste Projeto são: 1) Investigar a distribuição geográfica e seleção de habitat dos mamíferos terrestres; 2) Caracterizar a riqueza, composição e abundância dos mamíferos terrestres; 3) Investigar até que ponto os mamíferos terrestres recolonizam áreas em recuperação florestal; 4) Investigar a variação diurna e sazonal na distribuição dos mamíferos terrestres; e 5) Contribuir para a proteção dos mamíferos com preocupações com a conservação na área da MPSA e o estabelecimento de zonas-tampão fora da MPSA em cooperação com o município de Paragominas e proprietários de terras locais.

As armadilhas fotográficas são constituídas de caixas plásticas com um sensor infravermelho de calor e movimento, ligadas a uma câmera digital que dispara quando o animal passa na frente (Figura 2). Um flash é liberado quando está escuro. A câmera pode ser programada para tirar uma ou mais fotos seguidas ou gravar vídeos quando acionada. A armadilha é alimentada por seis baterias AA que podem durar cerca de um ano, dependendo da programação. A localização de cada armadilha fotográfica na área da MPSA é mostrada na Figura 3. As armadilhas devem passar por manutenção e as fotos nos cartões de memória devem ser baixadas várias vezes por ano. Os mamíferos nas imagens são identificados e codificados em relação à localidade, data e hora, e vinculados a informações sobre variáveis de habitat em cada local da câmera e armazenados em um banco de dados.

De março de 2014 a novembro de 2020, construímos um banco de dados contendo cerca de 300 mil imagens, principalmente de mamíferos, mas também de algumas aves, carros e caçadores, por aproximadamente 76.800 dias de câmeras ao todo, considerando o número de dias de exposição, vezes o número de câmeras. Identificamos 32 espécies de mamíferos nas imagens (Apêndice 1). As espécies mais abundantes na área de estudo são a anta (Índice de Abundância Relativa - IAR = 16,43 observações independentes por 100 dias de captura), a cutia (IAR = 14,32), o veado-mateiro (IAR = 10,60), o cateto (IAR = 10,09), a paca (IAR = 5,24) e a queixada (IAR = 3,78). Outras espécies também foram registradas, como o tamanduá-bandeira (IAR = 1,30), a onça-pintada (IAR = 0,43), o tatu-canastra (IAR = 0,32), o criticamente ameaçado de extinção macaco caiarara (IAR = 0,03), e o cachorro-vinagre (IAR = 0,02).



▲ Figura 2 - A aparência geral de uma armadilha fotográfica.



▲ Figura 3 - Os números verdes (CT seguido de numeração) indicam as localizações das armadilhas fotográficas na área da MPSA.

Ungulados de dedos pares (Ordem *Artiodactyla*)

O significado do nome "Artiodactyla" é "dedos iguais" e vem do grego: "artios" significa "par" e "dactylos" significa "dedo"³. Hoje, esta ordem é ampliada para abranger o clado Cetacea (mamíferos artiodátilos estritamente aquáticos)¹⁶, mas, neste capítulo, nos referimos apenas aos artiodátilos terrestres tradicionalmente reconhecidos.

Artiodátilos, também chamados de ungulados de dedos pares, incluem porcos, queixadas, veados, hipopótamos, camelos, girafas, antílopes, ovelhas, cabras e vacas. Este

grupo é representado principalmente por herbívoros de médio e grande portes distribuídos em todos os continentes do mundo⁷.

Duas famílias de artiodátilos são encontradas na floresta amazônica brasileira, incluindo taitiáquideos e veados⁹. Duas espécies de cada família são encontradas na área da MPSA (Apêndice 1). Uma espécie está classificada como ameaçada na Lista Vermelha Brasileira e Mundial, e duas espécies estão classificadas como Dados Deficientes.

Queixada (*Tayassu pecari*)

As queixadas⁹ pesam entre 25 e 45 quilos, têm de 95 a 110 centímetros de comprimento e cerca de 50 a 60 centímetros de altura. O nome vem da cor esbranquiçada no queixo, da mandíbula forte, mas especialmente do hábito de bater o queixo e os dentes quando se sentem acuados. Geralmente vivem em grandes rebanhos, de 50 a 300 animais,

ou mais, de ambos os sexos. Elas têm uma distribuição irregular e podem se mover por grandes distâncias e permanecer em uma área por horas ou dias enquanto se alimentam. Alimentam-se de frutos, às vezes frutos grandes e duros, nozes e invertebrados. A queixada é encontrada em grande número na área da MPSA e prefere

habitats florestais, mas também pode ser encontrada em áreas de recuperação florestal¹⁷.

A queixada é classificada como 'Vulnerável' no Brasil¹² e pela IUCN devido ao atual declínio populacional causado pela perda de habitat, caça ilegal, competição com gado e epidemias.



▲ Figura 4 - Queixada. Foto: Shutterstock.

Veado-mateiro (*Mazama americana*)

O veado-mateiro pesa de 24 a 48 quilos⁹. Seu comprimento varia entre 105 e 144 centímetros, e a altura dos ombros é de 67 a 80 centímetros. A pelagem é castanho-avermelhada no corpo e nas pernas, e a cabeça e o pescoço são castanho-acinzentados. Eles têm uma cauda curta que é vermelha na parte superior e branca na parte inferior. São solitários e alimentam-se de frutas, folhas, flores e fungos.

O veado-mateiro está adaptado para viver em habitats florestais, mas também é encontrado em habitats abertos. O veado-mateiro é encontrado em grande número em todos os habitats da área do MPSA, especialmente nas florestas tropicais e áreas de recuperação florestal.

O veado-mateiro é classificado como Deficiente em Dados (DD)

no Brasil¹² e pela IUCN⁴⁹. Devido à alta incerteza taxonômica, com diversas espécies crípticas, a espécie é impossível de ser avaliada em relação às categorias da lista vermelha. Além disso, o veado-roxo (*Passalites nemorivagus*) é classificado como DD no Brasil pelo mesmo motivo que o veado-mateiro.



▲ Figura 5 - Veado-mateiro. Foto: Shutterstock.

Carnívoros (Ordem Carnivora)

O significado do nome "Carnivora" é "comedor de carne" e vem do latim: "carni" significa "carne" e "vora" significa "devorar"³. Esta ordem inclui mamíferos terrestres, de médio a grande portes, adaptados a uma dieta à base de carne, embora alguns possam ser onívoros ou herbívoros⁴.

A ordem Carnivora está dividida em 16 famílias em todo o mundo⁷, das quais quatro (cães, doninhas, guaxinins e felinos) são encontradas na floresta amazônica brasileira⁹. Treze espécies de carnívoros estão documentadas na área da MPSA, das quais quatro são classificadas como "Ameaçadas" (Apêndice 1), sendo descritas abaixo.

Cachorro-vinagre (*Speothos venaticus*)

O cachorro-vinagre é um canídeo pequeno que pesa de 5 a 7 quilos⁹. Seu comprimento está entre 61 e 75 centímetros. A cauda e as pernas são curtas. A pelagem é longa e macia, de cor acastanhada a preta. O cachorro-vinagre prefere florestas úmidas, mas também foi observado em áreas mais secas. Eles vivem em pequenas matilhas e caçam pequenos mamíferos como pacas,

cutias e pequenos roedores⁹. Estes animais são estritamente carnívoros. Suas pernas curtas fazem com que eles se adaptem para perseguir suas presas até as tocas. Eles marcam seu território ficando em pé sobre as patas dianteiras e urinando mais alto nas árvores do que se estivessem em pé sobre as quatro patas¹⁵. São relativamente raros⁴⁹ e, desta forma, foram

observados em poucos registros na área da MPSA.

O cachorro-vinagre é classificado como 'Vulnerável' no Brasil¹² e 'Quase Ameaçado' pela IUCN¹³, devido ao declínio populacional causado pela perda de habitat e presas, predação por cães domésticos e doenças.



▲ Figura 6 - Cachorro-vinagre. Foto: Shutterstock.

Onça-pintada (*Panthera onca*)

A onça-pintada é o maior felino das Américas e pesa de 45 a 158 quilos⁹. Seu comprimento varia entre 110 e 185 centímetros, e a altura dos ombros é de 65 a 75 centímetros. A onça-pintada tem pelo amarelo acastanhado, com círculos abertos ou rosetas pretas, muitas vezes com pequenas manchas no meio. A cauda é longa com manchas pretas e anéis. Alguns indivíduos são melanísticos ("panteras negras") devido a uma variante genética, o pelo fica muito escuro, mas as rosetas ainda podem ser visualizadas. A cabeça, mandíbulas e caninos são fortemente consti-

tuídos e adaptados para esmagar a cabeça e o pescoço de suas presas. As onças são solitárias e se alimentam principalmente de grandes mamíferos, tartarugas e jacarés, mas também caçam presas menores. Esses animais raramente atacam seres humanos¹⁹, mas eventualmente podem matar gado, o que causa conflitos com os agricultores e leva à morte de onças e outros felinos de grande porte por retaliação. Isso também é um problema em Paragominas, e estamos trabalhando com fazendeiros e autoridades locais para diminuir esse problema (ver

Quadros 4, 5 e 6). As onças-pintadas ocorrem em quase todos os biomas brasileiros, ocorrendo em ambientes de floresta, mas também ambientes mais abertos, mas geralmente preferem habitats conservados. Na MPSA esta espécie é registrada nos habitats florestados, mas também são encontradas nas áreas de regeneração, especialmente em estágios mais avançados.

A onça-pintada é classificada como 'Vulnerável' no Brasil¹² e 'Quase Ameaçada' pela IUCN⁵⁰ devido à destruição de seu habitat e nível de exploração.



▲ Figura 7 - Onça-pintada. Foto: Shutterstock.

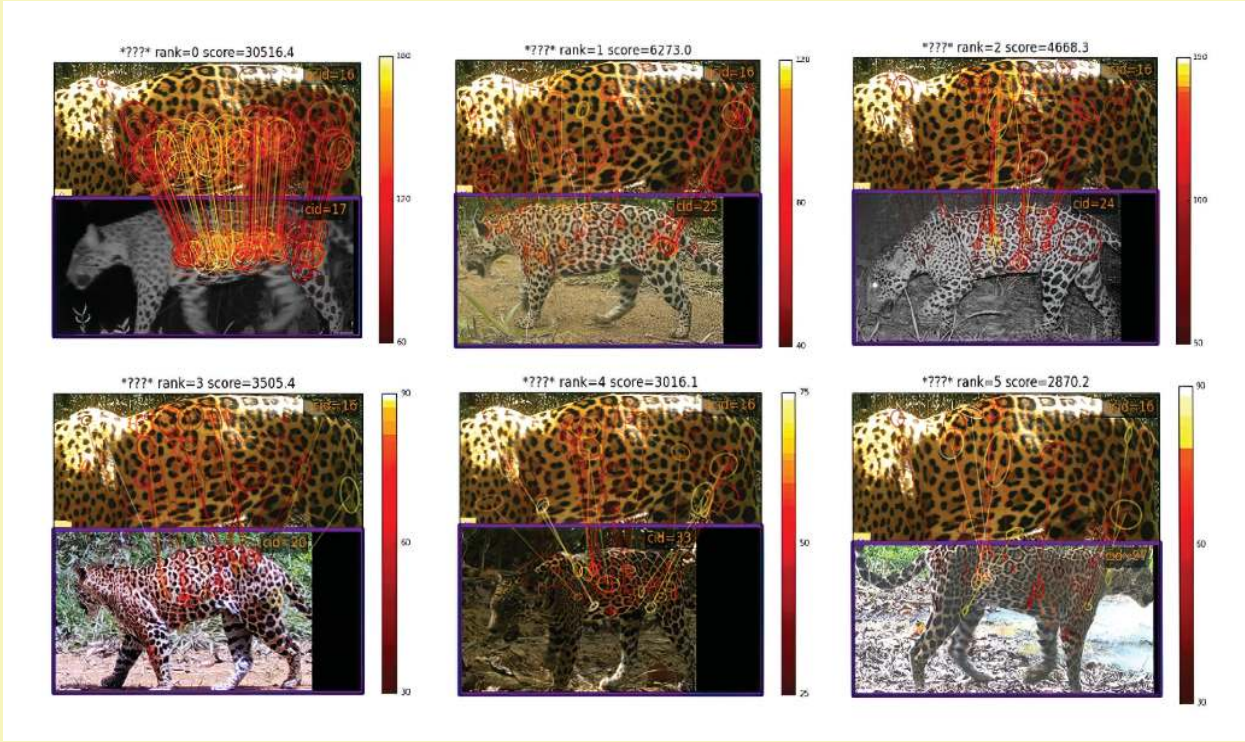
Quadro 4 - A identificação de onças-pintadas por padrões individuais de manchas

No período de 2014 a 2020, coletamos imagens através de 42 armadilhas fotográficas na área da MPSA. Em 11 locais, instalamos duas câmeras para fotografar ambos os lados das onças que passaram entre elas. Utilizamos o padrão de pintas, também chamadas de rosetas, para identificar individualmente cada indivíduo de onça pintada, através do programa HotSpotter (HS)^{42,51}. Este programa computacional analisa os diferentes padrões de rosetas, encontrando pontos quentes (*hotspots*) nas imagens selecionadas e comparando com outras imagens do banco de dados (Figura 8). O programa atribui uma pontuação de similaridade a cada pareamento, sendo que uma pontuação maior indica maior similaridade, cabendo ao usuário decidir qual das imagens é do mesmo

indivíduo. Vinte e cinco indivíduos diferentes de onças foram identificados na MPSA com base em imagens do lado esquerdo dos animais (Figura 9), dos quais 11 também tinham imagens do lado direito³⁷. Oito indivíduos adicionais tinham imagens apenas do lado direito. Fizemos sete observações de onças-pintadas melânicas (“pretas”), que consideramos como um único indivíduo devido a padrões de rosetas pouco visíveis. Doze dos 25 indivíduos foram identificados como fêmeas e oito como machos, enquanto o sexo de cinco indivíduos não pôde ser identificado³⁷.

O mapa de densidade de registros (Figura 10) mostra onde observamos os maiores números de indivíduos diferentes na área

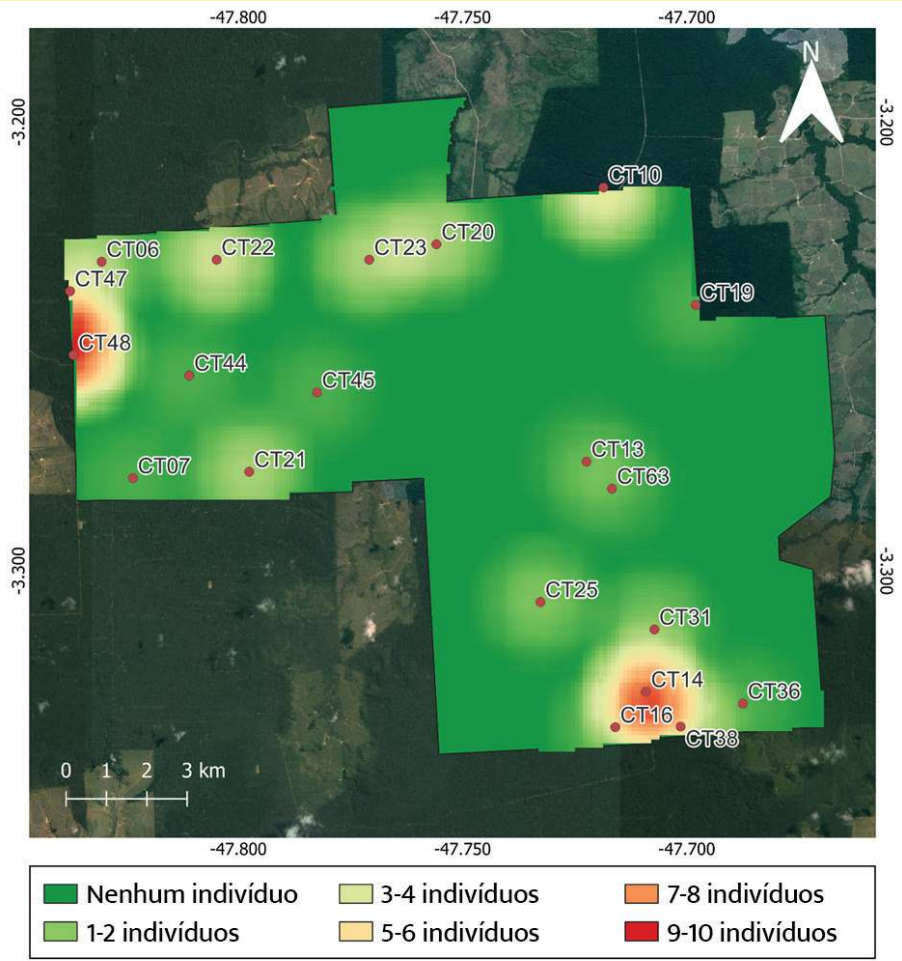
da MPSA. Esses “pontos críticos” estavam no sul e no noroeste. Essas áreas farão parte da mina ativa durante os próximos anos, o que significa que a floresta tropical será removida e as onças serão forçadas a busca outro local. Este estudo foi um ponto de partida para construir um banco de dados de onças-pintadas individuais na área da MPSA. Este banco de dados auxilia na estimativa de densidade e distribuição espacial das onças-pintadas na MPSA. Conhecer o número de indivíduos nessas áreas é essencial para que as informações sejam usadas pela população local e para promover a conservação e a educação ambiental.



▲ Figura 8 - Resultado da execução do programa HotSpotter. O programa encontra imagens semelhantes no banco de dados, classifica as imagens em ordem de similaridade e destaca com linhas entre elipses as partes das imagens que são mais semelhantes. As pontuações de similaridade são usadas para classificar as possíveis correspondências da primeira posição (par de imagens superior à esquerda, pontuação mais alta (30.516,4) = correspondência com classificação mais alta) até a sexta posição (par de imagens inferior à direita, pontuação mais baixa (2.870,2) = menor similaridade classificada) em ordem decrescente. Neste caso, apenas o primeiro par de imagens é do mesmo indivíduo.



▲ Figura 9 - Imagens mostrando seis dos 25 indivíduos de onça-pintada observados na área da MPSA. As onças são nomeadas de Ind 01 (canto superior esquerdo) a Ind 06 (canto inferior direito).



◀ Figura 10 - Mapa de densidade de número individual de onças-pintadas em diferentes locais de armadilhas fotográficas durante um estudo de armadilhas fotográficas na área da MPSA. Autoria: Geovana Linhares de Oliveira.

Quadro 5 - Rastreamento a onça-pintada por telemetria de satélite na área da MPSA

As onças-pintadas são encontradas em muitas partes da área da MPSA e serão forçadas a mudar a sua distribuição quando a floresta for destruída pela atividade de mineração naquela região. Investigamos a distribuição e os padrões de movimento das onças-pintadas dentro e ao redor da área de mineração, usando transmissores de satélite GPS/Iridium.

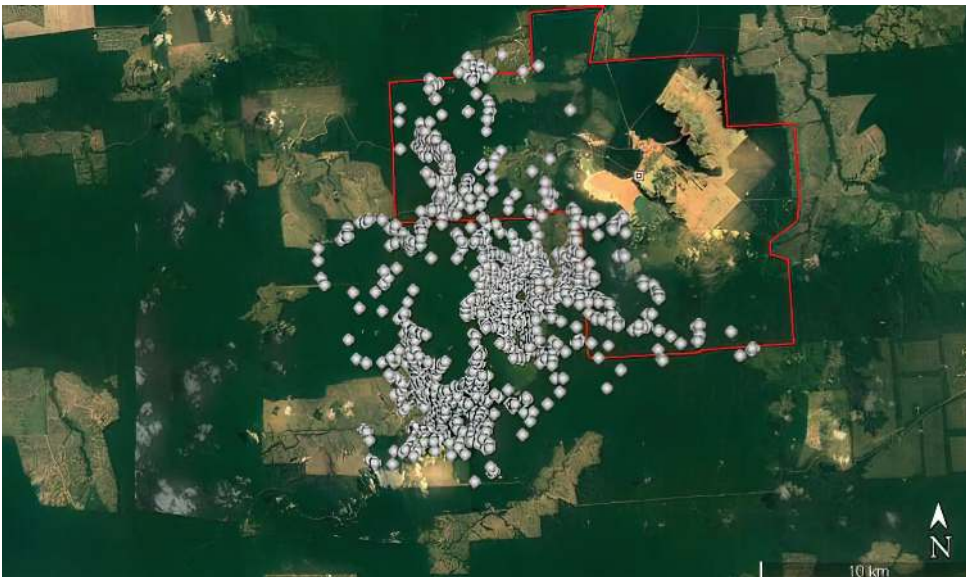
Capturamos uma onça-pintada com uma armadilha no dia 1 de novembro de 2019 (Figura 11). A onça-pintada foi imobilizada com um dardo disparado de um rifle de acordo com metodologias bem estabelecidas e realizada por uma equipe treinada do ICMBio. Os protocolos de captura e manuseio foram aprovados pelas autoridades brasileiras. A onça foi equipada com uma coleira de rastreamento via satélite GPS/Iridium (Figura 11). A coleira foi configurada para fornecer posições de GPS a cada hora por aproximadamente 16 meses. A coleira possuía um sistema de liberação

automática que liberava o colar quando a carga da bateria estivesse abaixo de um determinado valor, próximo ao esgotamento. Além disso, o mecanismo de liberação poderia ser ativado pelo usuário através de um aplicativo web através do sistema de satélite Iridium. Os dados do GPS foram baixados para o nosso computador por meio do mesmo aplicativo web.

A onça capturada era um macho adulto jovem que pesava 43 quilos. A coleira funcionou de 1 de novembro de 2019 a 7 de junho de 2020, e provavelmente foi liberada automaticamente devido à bateria fraca. Coletamos 2.573 posições de GPS durante os 219 dias. A área de vida desta onça-pintada foi de aproximadamente 230 km², e a distância média estimada neste período foi de 11 km/dia. Estes dados estão sendo analisados em conjunto com outras informações para servirem de subsídio para o manejo da espécie na Amazônia.



◀ Figura 11 - Equipe do Projeto Jaguar. De cima para baixo: onça-pintada com transmissor GPS via satélite instalado no pescoço; equipe fazendo as medições corporais do animal capturado.



◀ Figura 12 - Localizações dos pontos de posicionamento da onça-pintada rastreada pelo transmissor de satélite instalado no pescoço da mesma, indicando que ela percorreu áreas dentro e ao redor da área da MPSA de 1 de novembro de 2019 a 7 de junho de 2020.

Quadro 6 - Plano de coexistência entre humanos e carnívoros em Paragominas, Pará, Brasil

Com a colaboração de Iara Ramos dos Santos

Pessoas e onças-pintadas frequentemente compartilham o mesmo território e recursos, o que pode levar à predação de gado, ocorrência comum na América Central e do Sul, incluindo a cidade de Paragominas. Esse conflito, relatado pelos pecuaristas da região, causa perdas econômicas e aumenta a percepção das onças como animais perigosos para as pessoas que vivem nas proximidades. Não é de surpreender que matar uma onça em retaliação ou mesmo preventivamente pareça ser a única solução. No entanto, as onças geralmente não atacam as pessoas. Em um país tão vasto como o Brasil, há apenas dois registros de pessoas mortas por onça.

Para lidar com conflitos entre pessoas e onças-pintadas (e, na verdade, também com onças pardas), estamos executando o Projeto “Plano de convivência entre humanos e carnívoros em Paragominas, Pará, Brasil”, também apoiado pelo BRC. O desenvolvimento de um Plano de Coexistência permitirá que as comunidades locais, incluindo todas as partes interessadas envolvidas, tomem decisões

informadas, sugerindo ações que possam ser positivas tanto para os seres humanos quanto para as onças. A coexistência é uma abordagem onde a fauna em geral e as pessoas coexistirão de forma sustentável, o que exige flexibilidade e uma série de pesquisas sociais e biológicas, monitoramento e avaliação das ações implementadas.

Em Paragominas, pecuaristas e gestores de fazendas participam do projeto de convivência por meio da implementação de técnicas de manejo para evitar que onças ataquem o gado. Precisamos entender por que uma onça predou o gado em uma fazenda e, em seguida, tentar pensar em ações de manejo para prevenir tais ocorrências. Por exemplo, as maternidades (locais onde os bezerros nascem) podem estar muito próximos da floresta e o sangue da placenta pode atrair onças. Para evitar o conflito, podem ser sugeridas aos agricultores ações de gestão e melhores práticas na criação de gado, como a colocação das maternidades longe das florestas. Fogos de artifício e luzes também têm sido usados com sucesso para manter as onças longe do gado.

Em relação às crenças das pessoas e ao medo das onças, a educação por meio de palestras, mídias sociais e cartilhas tem sido de grande ajuda. Na MPSA, também fornecemos algumas orientações sobre protocolos de segurança em caso de onças-pintadas serem avistadas, principalmente em suas áreas de prospecção na floresta.

Enfatizamos a importância da vida selvagem, com as onças e suas presas, para o equilíbrio do ecossistema. Os pecuaristas parceiros do projeto permitem a instalação de armadilhas fotográficas, o que tem sido uma forma de muito sucesso de mostrar à comunidade vídeos, principalmente por meio das redes sociais, sobre a importância dos serviços ecossistêmicos que a vida selvagem nos proporciona.

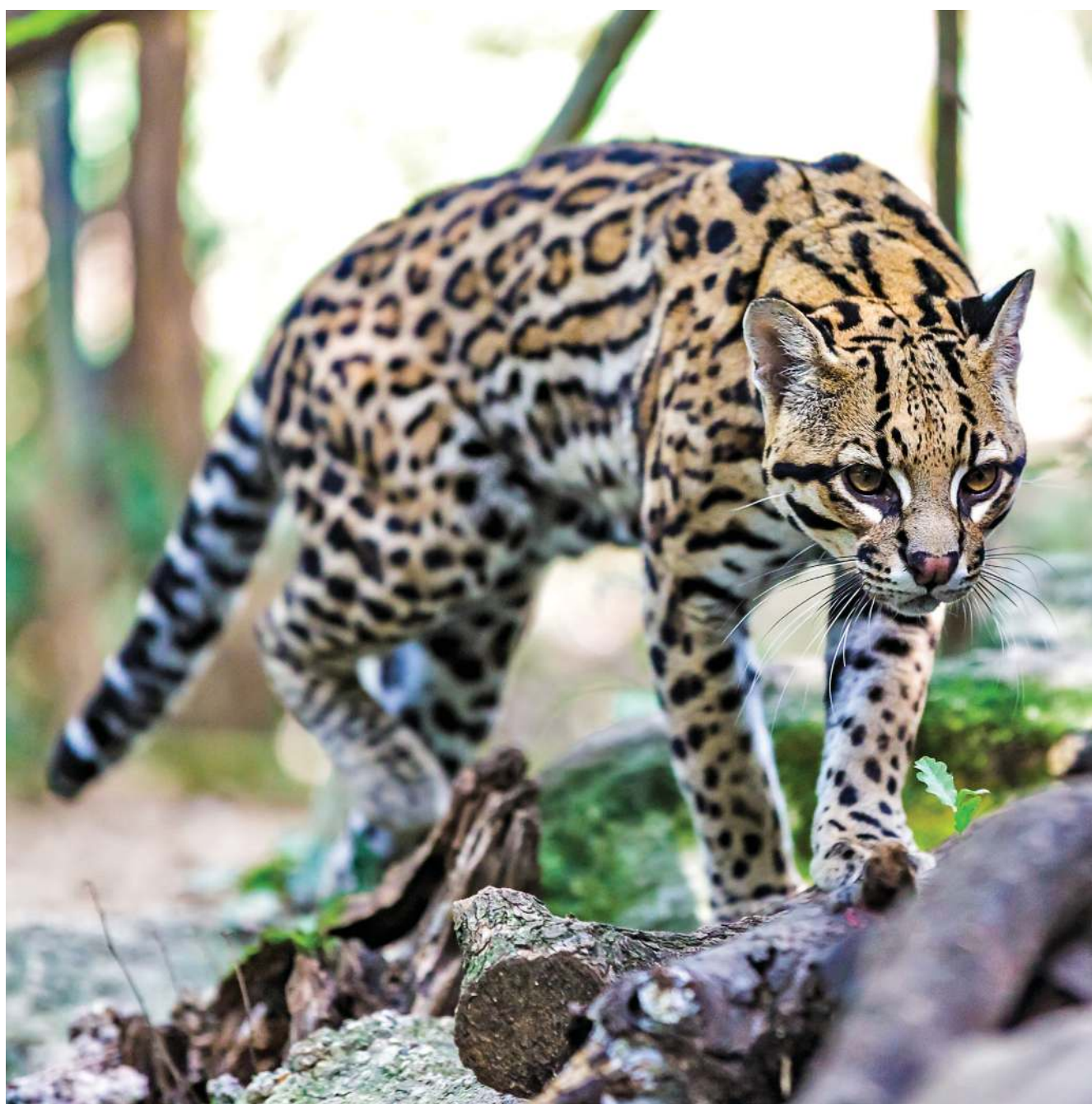
Assim, pretendemos com o Projeto “Fauna Sustentável” fazer um planejamento coparticipativo para a coexistência utilizando a Teoria da Mudança quando tivermos a possibilidade de compreender as causas e consequências da interação negativa entre ser humano e vida selvagem, e propor ações que possam ser benéficas para ambos.

Gato-maracajá (*Leopardus wiedii*)

O gato-maracajá é um felino pequeno que pesa de 3 a 9 quilos⁹. Seu comprimento varia entre 50 e 72 centímetros. A cor da pelagem vai do amarelo fulvo ao marrom acinzentado, e há fileiras de manchas e linhas pretas ao longo do corpo. Duas características são: seus olhos muito grandes, e uma cauda que é mais longa que as patas traseiras e cerca de 70% do comprimento da cabeça e do corpo. Os gatos-maracajá são solitários e noturnos e se alimentam de mamíferos, aves e répteis de

pequeno e médio portes²⁰. Geralmente estão confinados a florestas mais densas e preferem as florestas primárias na área da MPSA²¹.

O gato-maracajá é classificado como 'Vulnerável' no Brasil¹² e 'Quase Ameaçado' pela IUCN²⁰ devido ao previsto declínio populacional causado pela destruição do habitat induzida pelo homem.



▲ Figura 13 - Gato-maracajá. Foto: Shutterstock.

Jaguarundi (*Herpailurus yagouaroundi*)

O jaguarundi é um felino de tamanho médio que pesa de 4,5 a 9 quilos⁹. Seu comprimento varia em torno de 50 a 65 centímetros, e a altura dos ombros é de aproximadamente 35 centímetros. A cor do pelo varia mais do que em qualquer outro felino: cinza grisalho, marrom, vermelho, preto ou amarelo acastanhado, e sem manchas. Cabeça, orelhas e pés são pequenos. O corpo e a cauda são longos e finos e as pernas são curtas. O jaguarundi é solitário ou pode viver em pares. Eles são principalmente diurnos, andam muito, e podem ter áreas

de vida de até 100 km². Alimentam-se de mamíferos e répteis de pequeno e médio portes, podem viver perto de aldeias e podem matar galinhas e outros pequenos animais domésticos²². O jaguarundi prefere os ambientes de floresta primária na área da MPSA²¹.

O jaguarundi é listado como 'Vulnerável' no Brasil¹², devido à perda e fragmentação do habitat, e 'Pouco Preocupante' pela IUCN²².



▲ Figura 14 - Jaguarundi. Foto: Shutterstock.

Morcegos (Ordem Chiroptera)

O nome vem do latim, onde "chiro" significa "mão" e "pteron" significa "asa"³. Os morcegos são os únicos mamíferos com um estilo de vida verdadeiramente voador⁴. Uma fina pele é esticada entre os dedos da mão, ao longo da lateral do corpo, atrás dos membros posteriores; nas espécies com cauda, esta membrana pode se estender ao longo dela. Os morcegos¹⁴ consti-

tuem uma das ordens de mamíferos mais diversas do mundo, contendo cerca de 21% de todas as espécies. Curiosamente, no Brasil, 23,7% das 785 espécies de mamíferos são morcegos⁶. Quarenta e uma espécies de morcegos foram observadas na área da MPSA e nenhuma delas é classificada como 'Ameaçada' no Brasil, ainda que o filostomídeos *Vampyrum spectrum*

é classificado como 'Quase Ameaçado' na Lista Vermelha da IUCN devido à sua dependência de florestas primárias²³. Esta é a maior espécie da família Phyllostomidae, sendo amplamente distribuída do México ao Brasil, alimentando-se de pequenos vertebrados, frutas e, em alguns casos, de artrópodes²⁴.



▲ Figura 15 - Morcego (morcego-de-língua-longa-de-pallas). Foto: Shattersotck.

Tatus (Ordem Cingulata)

O significado do nome vem do latim "cingulum" que significa "blindado"³, e reflete que a superfície dorsal do corpo, pernas e cauda são cobertas por uma armadura óssea. A armadura atua como proteção contra predadores. Nas costas, a

armadura é disposta em várias faixas com pele flexível entre elas. O número de bandas é característico de muitas espécies e pode ser usado para identificação⁹. Os tatus vivem de pequenos vertebrados, invertebrados e, principalmente, de

formigas e cupins. Treze espécies de tatus são encontradas no Brasil⁶, e seis foram documentadas na área da MPSA, das quais uma está classificada como ameaçada (Anexo 1).

Tatu-canastra (*Priodontes maximus*)

Esta é a maior espécie de tatu, pesando até 30 quilos, e variando em torno de 75 a 100 centímetros de comprimento⁹. A cabeça é relativamente pequena, enquanto a armadura óssea na parte traseira parece pequena demais para o animal. As pernas e os pés são grandes, e os pés dianteiros possuem uma garra central grande,

como adaptação para cavar tocas e pegar formigas e cupins. Suas tocas são frequentemente utilizadas por outras espécies depois que os tatus as abandonam. O tatu-canastra é solitário e noturno. Estão distribuídos no leste dos Andes em florestas tropicais e savanas²⁵. O tatu-canastra é encontrado na área da MPSA em baixa densidade

tanto na floresta primária, quanto na área de regeneração¹⁷.

O tatu-canastra é classificado como 'Vulnerável' no Estado do Pará²⁶, no Brasil¹² e pela IUCN²⁵ devido ao declínio populacional causado pela perda de habitat, caça e captura para serem mantidos como animais de estimação.



▲ Figura 16 - Tatu-canastra. Foto: Shutterstock.

Gambás (Ordem Didelphimorphia)

Os gambás são marsupiais e o significado de "di" é "dois", de "delphus" é "útero", e de "morphia" é "forma" em grego³. Estes animais apresentam gestação curta, pois investem mais na lactação. Os pequenos filhotes nascem pouco maduros e sobem na barriga da mãe, e prendem-se a um mamilo, normalmente em uma bolsa abdominal⁴. Os jovens podem permanecer ali amamentando, por mais de um ano, dependendo da espécie. Os gambás pesam de 10 a 3.000 gramas, e seu comprimento varia de menos de 10 a aproximadamente

50 centímetros⁹. Gambás alimentam-se principalmente de insetos e outros invertebrados.

Existem 69 espécies de gambás no Brasil⁶, e sete delas foram encontradas na área da MPSA. Com exceção do gambá-comum (*Didelphis marsupialis*), a maioria é composta de animais pequenos, muitas vezes noturnos, difíceis de detectar. Por isso, provavelmente há mais espécies a serem encontradas na área.



▲ Figura 17 - Gambá-comum. Foto: Shutterstock.

Ungulados de dedos ímpares ou diferentes (Ordem Perissodactyla)

O significado do nome "Perissodactyla" é "dedos ímpares" e vem do grego: "perisso" significa "ímpar" e "dactylos", "dedo"³. Nestes animais, o peso corporal é transportado em um eixo que passa pelo dedo médio (3º dedo), que é então mais fortemente desenvolvido⁴.

A ordem é dividida em três famílias (cavalos, antas e rinocerontes), das quais três espécies de antas ocorrem na América do Sul⁹. A anta-brasileira é a única espécie da ordem encontrada no Brasil e na área da MPSA.

Anta-brasileira (*Tapirus terrestris*)

A anta-brasileira pesa de 227 a 250 quilos, e é o maior mamífero terrestre a leste dos Andes⁹. Seu comprimento varia entre 170 e 200 centímetros, e a altura dos ombros é entre 80 e 110 centímetros. A característica mais marcante da anta é o nariz, que é alongado em uma tromba curta e móvel, como nos elefantes (embora não tenham relação de parentesco próxima). O corpo é arredondado e pesado,

e a pele é cinzenta, coberta por uma pelagem curta. Ela tem uma juba dorsal curta e rígida. As antas são solitárias e se alimentam de plantas terrestres, grama e frutas. A sua reduzida capacidade digestiva torna-as muito eficientes como dispersores de sementes e importantes para a restauração de áreas florestais²⁷ (ver Quadro 7). A anta-brasileira é muito abundante em toda a área

da MPSA¹⁷. Elas parecem preferir as plantas recém-cultivadas na área de regeneração.

A anta-brasileira é classificada como 'Vulnerável' no Brasil¹² e pela IUCN⁵² devido ao declínio populacional causado pela perda de habitat, caça ilegal, atropelamentos e competição com gado.



▲ Figura 18 - Anta. Foto: Shutterstock.

Quadro 7 - Efeito da defaunação de mamíferos terrestres, especialmente grandes herbívoros, na recuperação florestal pós-mineração de bauxita

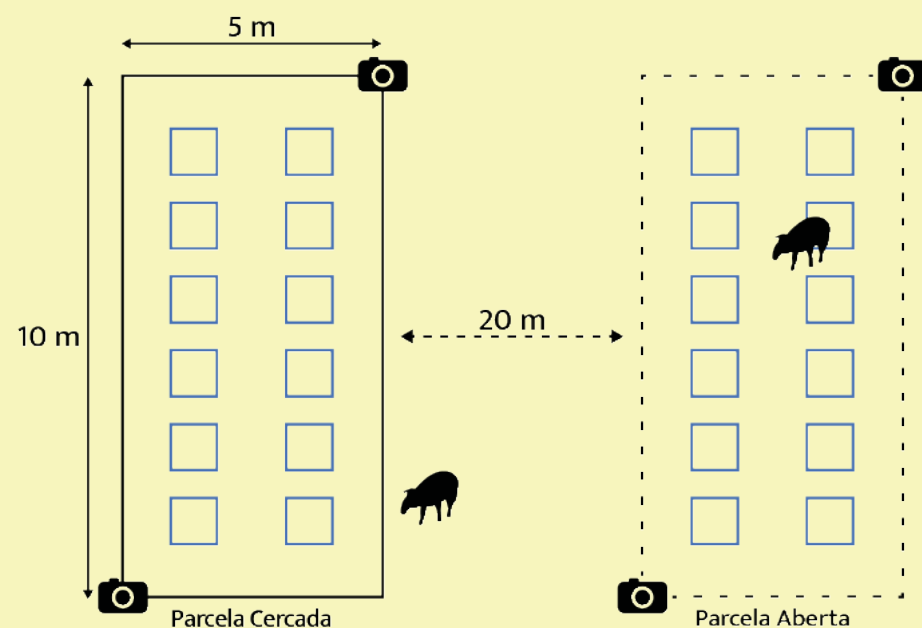
Os grandes mamíferos herbívoros da Amazônia representam uma parte considerável da biomassa deste bioma e desempenham papéis importantes nos processos de herbivoria, frugivoria e ciclagem de nutrientes⁴³. A herbivoria e a dispersão de sementes por mamíferos são dois dos principais mecanismos de regeneração e controle da diversidade vegetal nas florestas tropicais. Antas e veados são considerados excelentes herbívoros na floresta amazônica. A anta tem estômago simples e baixa eficiência de fermentação da celulose, e por isso passa muito tempo alimentando-se de grandes quantidades de plantas. Consequentemente, esses animais produzem grandes quantidades de excrementos repletos de materiais indigeríveis, como fibras, sementes e frutos⁴⁶. Por não possuírem câmara de fermentação pré-gástrica, como os ruminantes, as antas evitam as toxinas químicas das plantas ao não quebrar as sementes durante a mastigação, dispersando boa parte das sementes intactas⁴⁴. Além disso, espécies de veados e queixadas geralmente dispersam sementes a pequenas distâncias, cuspidando-as durante a mastigação⁴³. Essas características fazem dos grandes mamíferos herbívoros um dos grupos mais importantes para a recuperação e regeneração das florestas Neotropicais.

Os grandes mamíferos herbívoros têm sido bastante afetados pelas atividades antrópicas na Amazônia¹⁰. Além de sofrerem com alterações na cobertura

vegetal, esses herbívoros são severamente caçados, e suas populações costumam ser drasticamente reduzidas em áreas de fácil acesso ao homem⁴⁵.

Por outro lado, em áreas com baixa pressão de caça e alta disponibilidade de alimentos, estas espécies podem aumentar abundantemente. Em ambos os casos, a baixa ou alta densidade de grandes mamíferos herbívoros pode afetar os ecossistemas de diferentes formas ou intensidades.

Desde 2023, estamos realizando um experimento de exclusão de mamíferos herbívoros na área do MPSA. O experimento consiste na implementação de 30 estações de amostragem, compostas por duas parcelas de 5 x 10 metros, sendo uma cercada, para evitar a entrada dos animais e outra aberta, permitindo o livre acesso dos animais terrestres (Figura 19). Os objetivos deste projeto de pesquisa são: 1) avaliar quantitativa e qualitativamente os efeitos positivos e negativos de mamíferos herbívoros, como antas, queixadas e veados, no recrutamento de plantas em áreas de recuperação florestal pós-mineração na MPSA; 2) avaliar as diferentes estratégias de utilização de plantas por espécie animal; e 3) sugerir novas estratégias de manejo para áreas de recuperação florestal considerando os efeitos de grandes mamíferos herbívoros.



▲ Figura 19 - Esquema de um bloco experimental do Projeto de Exclusão de grandes herbívoros, com duas parcelas de 5 m x 10 m cada. Parcela cercada: com cerca de material resistente, capaz de impedir a entrada de grandes mamíferos herbívoros (antas, porcos selvagens e veados). Parcela aberta: apenas demarcada com estacas no solo, permitindo o livre acesso de grandes mamíferos herbívoros.

Tamanduás e Preguiças (Ordem Pilosa)

O termo "pilosa" significa "peludo" em latim³ e se refere às espécies peludas contidas neste grupo, incluindo tamanduás e preguiças. Junto com os tatus, eles estão contidos no antigo grupo endêmico sul-americano Xenarthra²⁸. Os membros da ordem Pilosa têm dentição bastante primitiva ou são desdentados, como os

tamanduás⁹. Eles alimentam-se principalmente de cupins ou folhas da copa das árvores. Sete espécies de tamanduás e quatro espécies de preguiças são encontradas na Amazônia⁹. Três espécies desta ordem foram observadas na área do MPSA, das quais uma está classificada como ameaçada (Apêndice 1).

Tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*)

É a maior espécie do gênero *Myrmecophaga*, pesando até 40 quilos e medindo entre 100 e 190 centímetros⁹. A cabeça e o focinho são muito longos, com olhos e orelhas pequenas e cauda espessa com aproximadamente 90 centímetros. A língua é muito longa e coberta por saliva pegajosa para lamber formigas e cupins para

fora de seus ninhos. As pernas e os pés são muito grandes e as patas dianteiras têm garras dobradas para dentro, resultado de uma adaptação para o ato de cavar, de modo que não andem nas solas dos pés, mas sim nas garras dobradas. O tamanduá-bandeira é solitário e tem hábitos noturnos ou diurnos, sendo encontrado na área da MPSA,

tanto em áreas de floresta tropical quanto em áreas de plantações¹⁷.

O tamanduá-bandeira é classificado como 'Vulnerável' no estado do Pará²⁶, no Brasil¹² e pela IUCN²⁹ devido à perda de habitat, mortes causadas por incêndios e atropelamentos.



▲ Figura 20 - Tamanduá-bandeira. Foto: Shutterstock.

Macacos (Ordem Primates)

O significado do nome "Primates" é "primeiro" e vem do latim "prima"³. A ordem inclui principalmente animais arbóreos vegetarianos ou onívoros, sendo alguns terrestres e insetívoros⁴. Os polegares e os dedões dos pés podem ser opostos, em muitas espécies, para o ato de

agarrar. Os primatas têm cérebros bem desenvolvidos e seus olhos são orientados para a frente, garantindo uma visão tridimensional.

A sistemática dos macacos na América do Sul é muito incerta e controversa⁷, de modo que 130

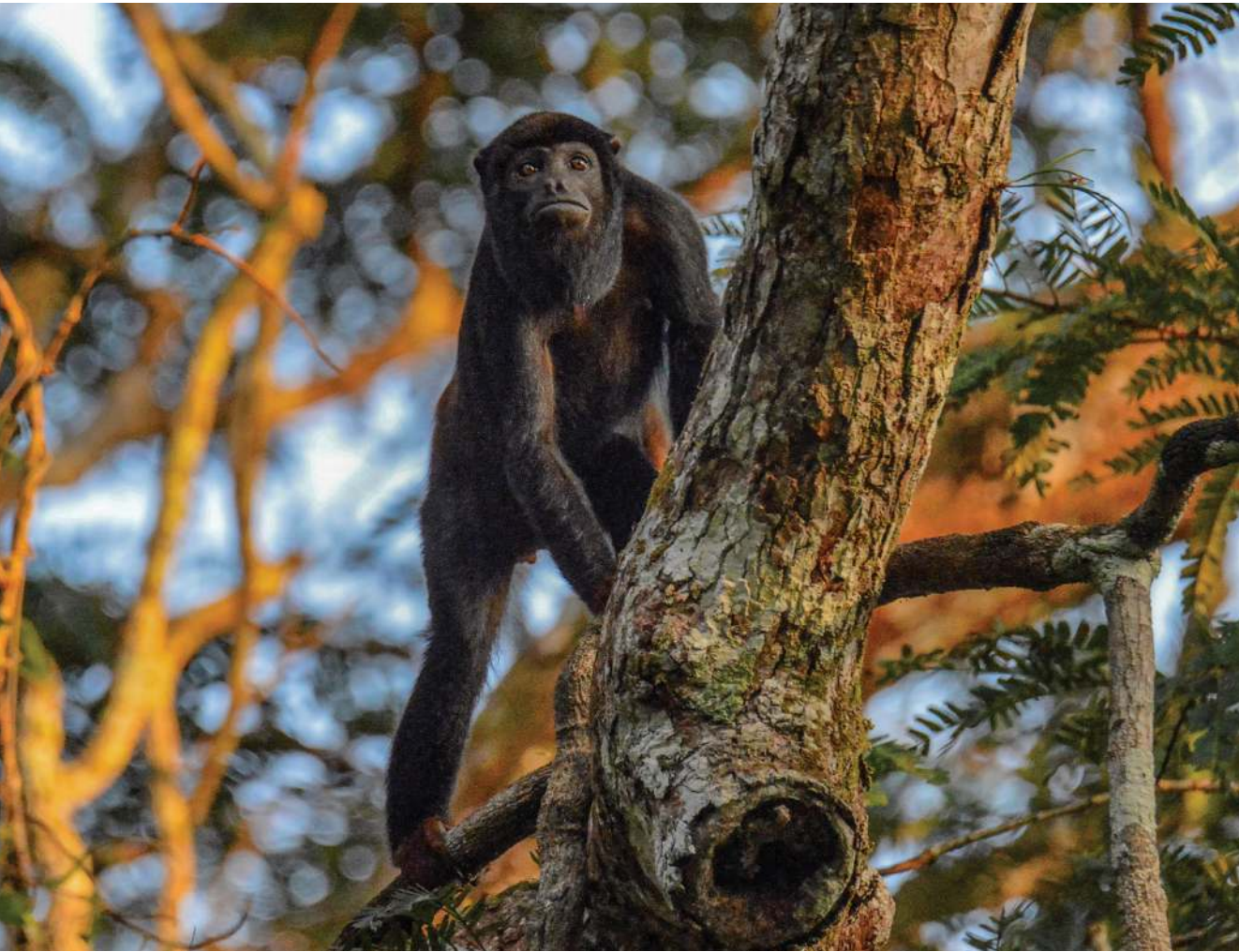
espécies são atualmente consideradas do Brasil⁶. Seis espécies de cinco famílias são encontradas na área da MPSA e quatro espécies são classificadas em diversos níveis de ameaça, e são descritas a seguir.

Guariba-de-mãos-ruivas (*Alouatta belzebul*)

O guariba-de-mãos-ruivas pesa entre 4,8 e 8 quilos⁹. Seu comprimento está entre 37 e 56 centímetros. A cor da pelagem é geralmente preta ou marrom escura com mãos e pés vermelho-ferrugem. Eles ficam em grupos e rugem alto por muitos minutos, muitas vezes em coros, podendo ser ouvidos a longas distâncias. A espécie vive

de frutos e folhas e geralmente permanece nos estratos superiores das florestas.

O guariba-de-mãos-ruivas é classificado como 'Vulnerável' no Brasil¹² e pela IUCN⁵³ devido ao declínio populacional causado pela perda de habitat e pelos impactos da caça.



▲ Figura 21 - Guariba-de-mãos-ruivas. Foto: Shutterstock.

Mico-de-mão-preta (*Saguinus ursulus*)

São reconhecidas duas espécies de micos-de-mão-preta, *S. niger* e *S. ursulus*, que são alopátricas e separadas pelo rio Tocantins³⁰. Os micos-de-mão-preta estão entre os menores macacos. Seu comprimento, tanto de um macho ou de uma fêmea, é de aproximadamente 23 centímetros e pesando em torno de 500 gramas³¹. O rosto geralmente não tem pelos; a

cabeça, corpo, pés e cauda são pretos e com manchas amareladas ou amareladas no dorso. Eles são encontrados na maioria dos tipos de floresta e até mesmo em áreas florestais degradadas. Devido ao seu pequeno tamanho, são predados por muitos mamíferos e aves. O mico-de-mão-preta é endêmico do extremo leste da Amazônia brasileira, nos estados

do Pará e Maranhão³¹, e tem sido observado na área da MPSA.

O mico-de-mão-preta está listado como "Quase Ameaçado" no Brasil¹² e como "Vulnerável" pela IUCN³¹, devido principalmente à perda de habitat. Embora esta espécie tenha tolerância razoável a florestas alteradas, a remoção do seu habitat é a sua maior ameaça.



▲ Figura 22 - Mico de mão-preta. Foto: Shutterstock.

Cuxiú-preto (*Chiropotes satanas*)

O cuxiú-preto¹⁵ pesa entre 2,4 e 3,2 quilos, e seu comprimento varia entre 33 e 48 centímetros. O pelo é longo e quase todo preto, e a cauda peluda. O traço mais característico é a barba distinta no queixo e nas bochechas, principalmente

nos machos. Os cuxiús-pretos são altamente frugívoros e especialistas em comer sementes. A espécie tem distribuição escassa e só é encontrada (endêmica) nos estados brasileiros do Pará e Maranhão³².

O cuxiú-preto está listado como 'Criticamente Ameaçado' no Brasil¹² e 'Em Perigo' pela IUCN³² devido ao declínio populacional causado pela perda de habitat combinada com a caça de subsistência.



▲ Figura 23 - Cuxiú-preto. Foto: Shutterstock.

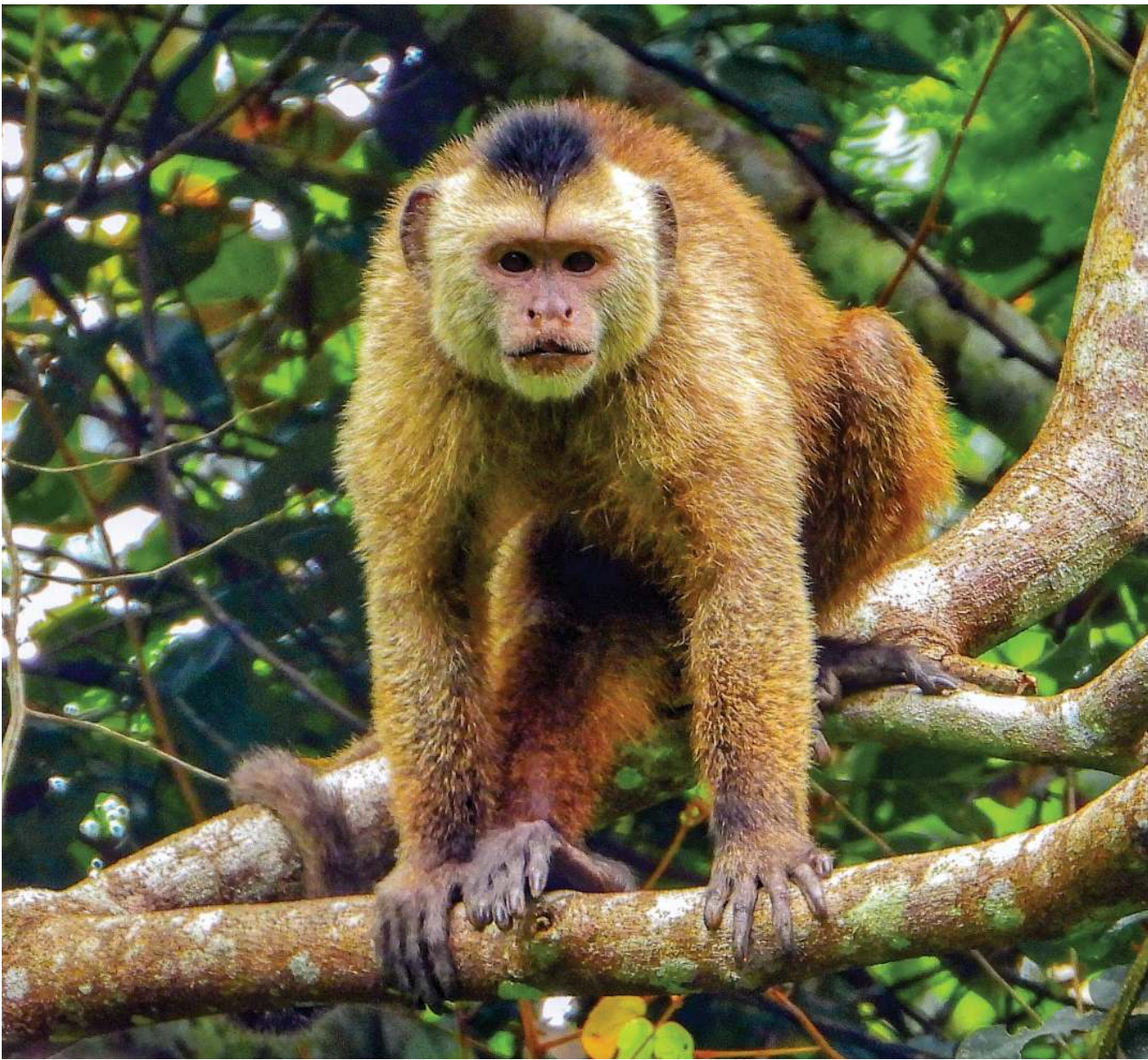
Caiarara (*Cebus kaapori*)

O tamanho do caiarara está mal documentado. O exemplar (espécime usado na descrição da espécie) pesa cerca de 3 quilos, e seu comprimento é de 46,5 centímetros³³. A cor geral foi descrita como marrom-cútia acinzentada e marrom claro acinzentado nas laterais, com patas marrom-escuras e pretas, enquanto a cauda é acinzentada na base, tornando-se cinza prateada e bege na ponta. A área entre o

queixo e as orelhas é cinza prateada e bege. A cabeça tem um chapéu triangular escuro característico. Os caiararas são altamente frugívoros, mas também comem sementes e insetos³⁴. A espécie tem distribuição muito escassa e só é encontrada (endêmica) nos estados brasileiros do Pará e Maranhão³⁵. Não se sabe o tamanho total da população.

O caiarara está listado como 'Criticamente Ameaçado' no

Estado do Pará²⁶ no Brasil¹¹ e pela IUCN³⁵ devido ao declínio populacional causado pela perda de habitat combinada com a caça. A espécie foi listada como um dos 25 primatas mais ameaçados do mundo em 2023 e o primata mais ameaçado da Amazônia³⁶. Este animal foi registrado 24 vezes na MPSA e é considerada a espécie mais ameaçada na área³⁷.



▲ Figura 24 - Caiarara. Foto: Fabiano de Melo.

Roedores (Ordem Rodentia)

O nome Rodentia vem do latim "rodent", que significa "roer"³. A anatomia mais característica dos roedores é o seu único par de incisivos de crescimento contínuo nas mandíbulas superior e inferior, respectivamente⁴. Os roedores compreendem cerca de 40% das espécies de mamíferos conhecidas no mundo¹⁴. Eles são predominantemente vegetarianos, embora alguns possam ter

uma dieta à base de carne. Os roedores estão divididos em 36 famílias em todo o mundo¹⁴, seis delas encontradas na área da MPSA, contando 14 espécies observadas (Apêndice 1). O roedor mais comum em nossos dados de armadilha fotográfica é uma espécie de cutia, descrita abaixo.

Cutia-de-dorso-preto (*Dasyprocta prymnolopha*)

A cutia-de-dorso-preto⁹ tem um comprimento de aproximadamente 45 a 53 centímetros. Os membros posteriores são notavelmente mais longos que os anteriores. Tem um corpo esguio e arredondado com

cauda muito curta, e a cabeça e os olhos grandes. Seu pelo é geralmente avermelhado com a parte inferior mais clara e a anca preta. É uma espécie herbívora, alimentando-se frequentemente

te de frutos maduros que caem das árvores. É comum na floresta tropical e no Cerrado, mas parece não ter preferência por áreas de regeneração.



▲ Figura 25 - Cutia-do-dorso-preto. Foto: Dreamstime.

Referências

1. BENTON, M. J. *Vertebrate Paleontology*. Bristol, UK: University of Bristol; Oxford: Blackwell Publishing LTd, 2008. 437pp.

2. PROTHERO, D. R. *The Princeton Field Guide to Prehistoric Mammals*. Nova Jersey: Princeton University Press, 2016. 240 p.

3. JAEGER, E. C. *A source-book of biological names and terms*. 3rd edition. Springfield: Charles C. Thomas Publisher, 1972. 360 p.

4. HICKMAN, C. L.; ROBERTS, L. S.; LARSON, A. *Integrated principles of zoology*. 11th edition. Boston: McGraw Hill, 2001. 899 pp.

5. MAMMAL DIVERSITY DATABASE. Mammal Diversity Database (Version 2.0) [Data set]. 2025. Zenodo.

6. ABREU, E. F.; CASALI, D.; COSTA-ARAÚJO, R.; GARBINO, G. S. T.; LIBARDI, G. S.; LORETTO, D.; LOSS, A. C.; MARMONTEL, M.; MORAS, L. M.; NASCIMENTO, M. C.; OLIVEIRA, M. L.; PAVAN, S. E.; TIRELLI, F. P. *Lista de Mamíferos do Brasil (2023-1)* [Data set]. Zenodo. 2023. Doi: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10428436>

7. BURGIN, C. J.; WILSON, D. E.; MITTERMEIER, R. A.; RYLANDS, A. B.; LACHER, T. E.; SEFCHREST, W. *Illustrated checklist of the mammals of the World*. Barcelona: Lynx Edicions, 2020.

8. PAGLIA, A.; FONSECA, G. A. B.; RYLANDS, A. B.; HERRMANN, G.; AGUIAR, L. M. S.; CHIARELLO, A. G.Y.; LEITE, L. R.; COSTA, L. P.; SICILIANO, L. P. S.; KIERULFF, M. C. M.; MENDES, S. L.; TAVARES, V. C.; MITTERMEIER, R. A.; PATTON, J.L. *Lista anotada dos mamíferos do Brasil*. 2a edição. *Occasional Papers in Conservation Biology*, v. 6, p. 1–76, 2012.

9. EMMONS, L. H.; FEER, F. *Neotropical rainforest mammals: a field guide*. 2nd Ed. Chicago; London: The University of Chicago Press, 1997.

10. ALMEIDA-MAUÉS, P. C. R.; BUENO, A. S.; PALMEIRIM, A. F.; PERES, C. A.; MENDES-OLIVEIRA, A. C. *Assessing assemblage-wide mammal responses to different types of habitat modification in Amazonian forests*. *Sci. Rep.*, v. 12, p. 1797, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05450-1>

11. INSTITUTO CHICO MENDES DE BIODIVERSIDADE (ICMBIO). *Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção: Vol II - Mamíferos*. 1st ed. Brasília: ICMBio/MMA, 2018. 622 pp.

12. INSTITUTO CHICO MENDES DE BIODIVERSIDADE (ICMBIO). *Sistema de Avaliação do Risco de Extinção da Biodiversidade – SALVE*. 2024. Disponível em: <https://salve.icmbio.gov.br/>. Acessado em 20 de fevereiro de 2024.

13. IUCN 2024. *The IUCN Red List of Threatened Species*. Version 2023-1. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>.

14. BURGIN, C.J. ; COLELLA, J. P.; KAHN, P. L.; UPHAM, N. S. How many species of mammals are there? *Journal of Mammalogy*, v. 99, n. 1, p. 1-14, 2018. Doi: <https://doi.org/10.1093/jmammal/gyx147>

15. EISENBERG, J. F; REDFORD, K. H. *Mammals of the Neotropics*, Volume 3, the Central Neotropics: Ecuador, Perú, Bolivia, Brazil. Chicago, IL, USA: University of Chicago Press, 1999. 609 p.

16. PROTHERO, D. R.; DOMNING, D.; FORDYCE, R. E. *et al*. On the unnecessary and misleading taxon "Cetartiodactyla". *Journal of Mammalian Evolution*, v. 29, p. 93–97, 2021.

17. TEIXEIRA-SANTOS, J.; RIBEIRO, A. C.; WIIG, Ø.; PINTO, N. S.; CANTANHÊDE, L. G.; SENA, L. *et al*. Environmental factors influencing the abundance of four species of threatened mammals in degraded habitats in the eastern Brazilian Amazon. *PLoS ONE*, v. 15, n. 2, p. e0229459, 2020. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229459>

18. IUCN SPC (2024). *Guidelines for Using the IUCN Red List Categories and Criteria*. Version 16. Prepared by the Standards and Petitions Committee. Disponível em: <https://www.iucnredlist.org>

19. SUNQUIST, F.; SUNQUIST, M. *The wild cat book*. Chicago: The University of Chicago Press, 2014. 268 pp.

20. OLIVEIRA, T.; PAVIOLO, A.; SCHIPPER, J.; BIANCHI, R.; PAYAN, E.; CARVAJAL, S. V. *Leopardus wiedii*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T11511A50654216. 2015.

21. RIBEIRO, A. C. *Fatores determinantes na ocorrência de espécies de carnívoros (Mammalia: Carnivora) em áreas degradadas na Amazônia Oriental*. Orientador: Ana Cristina Mendes de Oliveira. 2018. 45 f. Dissertação (Mestrado em Zoologia) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, 2018.

22. CASO, A.; OLIVEIRA, T.; CARVAJAL, S. V. *Herpailurus yagouaroundi*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T9948A50653167. 2015.

23. SOLARI, S. *Vampyrum spectrum*. The IUCN Red List of Threatened Species 2018: e.T22843A22059426. 2018.

24. BERNARD, E.; GAMA, A. R.; GOMES, A. M. E. *et al*. *Vampyrum spectrum* (Linnaeus, 1758). Sistema de Avaliação do Risco de Extinção da Biodiversidade - SALVE. 2023.

25. ANACLETO, T. C. S.; MIRANDA, F.; MEDRI, I.; CUELLAR, E.; ABBA, A. M.; SUPERINA, M. *Priodontes*

- maximus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T18144A47442343. 2014.
26. SEMAS – Secretaria de Estado de Meio Ambiente a Sustentabilidade. Espécies ameaçadas no estado do Pará. Resolução 057/2007 (mais anexos) SEMAS, Governo do Pará. 2007. https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/files/anexos/375_ANEXO.%20Resolu%C3%A7%C3%A3o%20COEMA%20n%C2%BA%2054.2007.pdf
 27. PAOLUCCI, L. N.; PEREIRA, R. L.; RATTIS, L.; SILVÉRIO, D. V.; MARQUES, N. C. S.; MACEDO, M-N.; BRANDO, P. M. Lowland tapirs facilitate seed dispersal in degraded Amazonian Forests. *Biotropica*, v. 51, p. 245–252, 2019.
 28. DEFLER, T. *History of terrestrial mammals in South America: how South American mammalian fauna changed from the Mesozoic to recent times*. 1st ed. Basel: Springer Nature Switzerland Ag., 2019.
 29. MIRANDA, F.; BERTASSONI, A.; ABBA, A.M. *Myrmecophaga tridactyla*. The IUCN Red List of Threatened Species 2014: e.T14224A47441961.
 30. GREGORIN, R.; DE VIVO, M. Revalidation of *Saguinus ursula* Hoffmannsegg (Primates: Cebidae: Callitrichinae). *Zootaxa*, v. 3721, n. 2, p. 172-182, 2013.
 31. MENDES-OLIVEIRA, A. C.; RAVETTA, A. L.; CARVALHO, A. S.; FIALHO, M. S.; VEIGA, L. M. *Saguinus ursulus* (amended version of 2020 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T70610874A192553791. 2021.
 32. PORT-CARVALHO, M.; MUNIZ, C. C.; FIALHO, M. S.; ALONSO, A. C.; JERUSALINSKY, L.; VEIGA, L. M. *Chiropotes satanas* (amended version of 2020 assessment). *The IUCN Red List of Threatened Species* 2021: e.T39956A191704509. 2021.
 33. QUEIROZ, H. L. A new species of capuchin monkey, genus *Cebus* Erxleben, 1977 (Cebidae, Primates), from eastern Brazilian Amazonia. *Goeldiana Zoologia*, v. 15, p. 1–3, 1992.
 34. OLIVEIRA, S. G.; LYNCH-ALFARO, J. W.; VEIGA, L. M. Activity budget, diet, and habitat use in the critically endangered Ka'apor capuchin monkey (*Cebus kaapor*) in Pará State, Brazil: A preliminary comparison to other capuchin monkeys. *American Journal of Primatology*, v. 76, n. 10, p. 919-931, 2014.
 35. FIALHO, M. S.; JERUSALINSKY, L.; MOURA, E. F.; RAVETTA, A. L.; LAROQUE, P. O.; QUEIROZ, H. L.; BOUBLI, J. P.; LYNCH ALFARO, J. W. *Cebus kaapor* (amended version of 2020 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T40019A191704766. 2021.
 36. MITTERMEIER, R. A.; REUTER, K. E.; RYLANDS, A. B.; JERUSALINSKY, L.; SCHWITZER, C.; STRIER, K. B.; RAT-SIMBAZAFY, J.; HUMLE, T. (eds.). *Primates in Peril: The World's 25 Most Endangered Primates 2022–2023*. IUCN SSC Primate Specialist Group, International Primatological Society, Re:wild. Washington, DC: Global Wildlife Conservation, 2023. 163pp.
 37. WIIG, Ø.; MENDES-OLIVEIRA, A. C.; SENA, L. Observations of the Critically Endangered Ka'apor capuchin (*Cebus kaapor*) in the Hydro Paragominas bauxite mine area. Internal BRC report 22 August 2023a. 8 p.
 38. INGRAM, D. J. *et al.* Wild meat is still on the menu: Progress in wild meat research, policy, and practice from 2002 to 2020. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, v. 46, p. 221–54, 2021.
 39. HIRAOKA, M. 1992. *Caboclo and Ribereno resource management in Amazonia: A Review*. In: Redford, K. H; Padoch, C. (eds.) *Conservation of Neotropical Forests: Working from Traditional Resource Use*. New York: Columbia University Press, 1992. P. 134-157.
 40. SHEPARD Jr., G. H; LEVI, T.; NEVES, E. G.; PERES, C. A.; YU, D. W. Hunting in Ancient and Modern Amazonia: Rethinking Sustainability. *American Anthropologist*, v. 14, n. 4, p. 652–667, 2012.
 41. ANTUNES, A. P.; FEWSTER, R. M.; VENTICINQUE, E. M.; PERES, C. A.; LEVI, T.; ROHE, F.; SHEPPARD, G. L. Empty forest or empty rivers? A century of commercial hunting in Amazonia. *Science Advances*, v. 2, n. 10, p. e1600936, 2016.
 42. CRALL, J. P.; STEWART, C. V.; BERGER WOLF, T. Y.; RUBENSTEIN, D.; SUNDARESAN, S. R. *HotSpot-ter-patterned species instance recognition*. In: 2013 IEEE Workshop on Applications of Computer Vision (WACV). Institute of Electrical and Electronics Engineers, 15–17 January 2013, Tampa, Florida, USA, 2013. P 230–237.
 43. BODMER, R. Strategies of Seed Dispersal and Seed Predation in Amazonian Ungulates. *Biotropica*, v. 23, p. 255-261, 1991.
 44. GALETTI, M.; KEUROGHLIAN, A.; HANADA, L.; MORATO, M. I. Frugivory and Seed Dispersal by the Lowland Tapir (*Tapirus terrestris*) in Southeast Brazil. *Biotropica*, v. 33, p. 723–26, 2001.
 45. NOVARO, A. J.; REDFORD, K. H.; BODMER, R. E. Effect of Hunting in Source-Sink Systems in the Neotropics. *Conservation Biology*, v. 14, p. 713–21, 2000.
 46. FRAGOSO, J. M. V.; SILVIUS, K. M.; CORREA, J. A. Long-distance seed dispersal by tapirs increases seed survival and aggregates tropical trees. *Ecology*, v. 84, n. 8, p. 1998-2006, 2003.
 47. KEUROGHLIAN, A.; DESBIEZ, A.; REYNA-HURTADO, R.; ALTRICHTER, M.; BECK, H.; TABER, A.; FRAGOSO, J.M.V. *Tayassu pecari*. The IUCN Red List of Threatened Species 2013: e.T41778A44051115. 2013.
 48. DUARTE, J.M.B; VOGLIOTTI, A. *Mazama americana*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T29619A22154827. 2016.
 49. DEMATTEO, K., MICHALSKI, F.; LEITE-PITMAN, M.R.P. *Speothos venaticus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2011: e.T20468A9203243. 2011.
 50. QUIGLEY, H.; FOSTER, R., PETRACCA, L.; PAYAN, E.; SALOM, R.; HARMSEN, B. *Panthera onca* (errata version published in 2018). The IUCN Red List of Threatened Species 2017: e.T15953A123791436. 2017.
 51. WIIG, Ø.; TEIXEIRA, K.S.; SENA, L.; OLIVEIRA, H.C.S.; MENDES-OLIVEIRA, A.C. Identifying individual jaguars from camera-trap images using the HotSpotter program. *Mammalia* 2023 v.87(6), p. 602–605. 2023b.
 52. VARELA, D.; FLESHER, K.; CARTES, J.L.; DE BUSTOS, S.; CHALUKIAN, S.; AYALA, G.; RICHARD-HANSEN, C. *Tapirus terrestris*. The IUCN Red List of Threatened Species 2019: e.T21474A45174127. 2019.
 53. VALENÇA-MONTENEGRO, M.M.; FIALHO, M.S.; CARVALHO, A.S.; RAVETTA, A.L.; RÉGIS, T.; DE MELO, F.R.; JERUSALINSKY, L.; VEIGA, L.M.; MITTERMEIER, R.A.; CORTES-ORTÍZ, L.; TALEBI, M. *Alouatta belzebul* (amended version of 2019 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2021: e.T39957A190412426. 2021.

Capítulo 7: Um Mundo de Conexões

Marlúcia Bonifácio Martins, Alexandra Maria Ramos Bezerra, Fernanda Vieira, Grasiela Casas, Cláudia Inês da Silva, Marivana Borges Silva, Rita de Cassia Oliveira dos Santos, Roberta Macedo Cerqueira e Rony Peterson Santos Almeida

Interações biológicas

A biodiversidade é representada pelo conjunto de animais, plantas, fungos e microrganismos em uma região. Na natureza, esses organismos não vivem de forma independente, mas interagem entre si de maneiras variadas. Essas interações entre espécies podem ser vistas e analisadas sob a forma de redes, do mesmo modo que as redes de internet. Nesse caso, cada ponto da rede representa uma espécie e cada linha representa algum tipo de interação que existe entre as espécies. Por exemplo, em uma floresta existem redes de interações ecológicas, envolvendo presas e predadores do reino animal; existem também complexas redes que envolvem os animais e microrganismos no solo; pode-se observar ainda interações entre plantas e seus polinizadores, assim como associações entre dispersores e plantas frutíferas; e até mesmo entre os animais parasitas e seus hospedeiros, ou os animais herbívoros e as plantas

que consomem. Enfim, nenhum organismo vive isolado e uma espécie influencia outra muito além do que vemos. Sempre haverá alguma interação, direta ou indireta. Consequentemente, a perda de uma espécie pode resultar no aumento, diminuição ou extinção de espécies aparentemente desconectadas. Está tudo conectado!

Por que essas interações são importantes? Por causa de dois aspectos principais: o primeiro é a interdependência entre os organismos, que sustenta a ideia de que a conservação da biodiversidade deve ser integrada, pois a perda de uma espécie sempre trará consequência para as demais que se associam a ela, de forma direta ou indireta. O outro aspecto muito importante é que o funcionamento dos ecossistemas, que geram os serviços ambientais, é totalmente dependente dessas interações ecológicas.

O papel das interações nos serviços ambientais

Os serviços ambientais são os benefícios que os ecossistemas geram para os seres humanos e para a manutenção da vida no planeta, essenciais para a qualidade de vida das pessoas. Os serviços ambientais sistêmicos são normalmente classificados em quatro grandes grupos: serviços de provisão, que seriam aqueles que nos fornecem produtos como alimento, remédios e água potável; o segundo grupo refere-se aos serviços de regulação, que são todos aqueles que garantem o nosso dia a dia equilibrado como a regulação do clima, a prevenção de enchentes, a qualidade do ar, a manutenção da polinização das plantas, principalmente as usadas na agricultura, e o controle das pragas e doenças; o terceiro grupo refere-se aos serviços de suporte, ou seja, serviços que sustentam a vida na terra como a ciclagem de nutrientes, a formação do

solo que comporta os diferentes tipos de vegetação nativa e de produção agrícola; e no quarto grupo incluem-se os benefícios culturais, estéticos e emocionais, correspondendo à maneira como as diferentes culturas e modos de vida dos humanos se apropriam da natureza para prover seu bem-estar, equilíbrio emocional e reprodução de crenças e costumes.

Todos esses serviços dependem dos organismos e de suas interações. A sinergia entre esses serviços ambientais é denominada serviços ecossistêmicos.

Vale ressaltar que para a manutenção de todos os serviços é necessário que as interações se processem de forma sincronizada. Por exemplo, na formação do solo há uma sequência de organismos que atuam na decomposição da matéria

orgânica e na sua incorporação ao solo. Na polinização, há uma sincronia entre o tempo de abertura das flores, disponibilidade dos recursos florais e a chegada dos visitantes. Essa sincronia é extremamente dependente dos ciclos climáticos determinados pela dinâmica da temperatura e disponibilidade de água. Dessa forma, é preciso notar que mudanças globais, tais como perda de espécies e alteração no clima, podem produzir grave interferência, desestruturando as interações ecológicas e levando à perda de serviços ecossistêmicos essenciais.

Um bom exemplo para ilustrar como a perda das espécies e as alterações climáticas afetam os serviços ecossistêmicos é analisar a reprodução das plantas. Cerca de 80% das plantas existentes necessitam da presença de animais para a sua reprodução, seja pela polinização

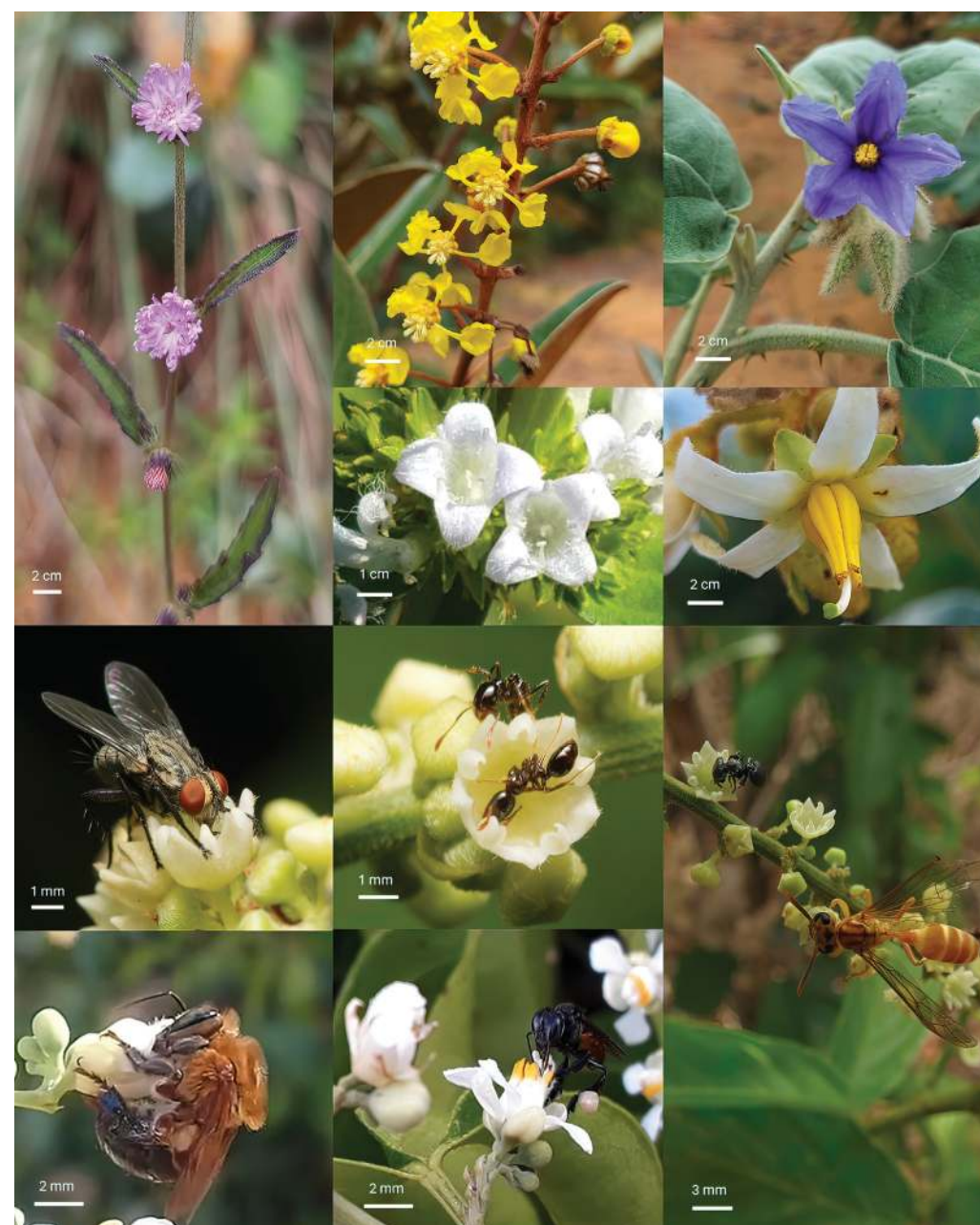
(Figura 1) ou pela dispersão dos frutos. Quando se trata da agricultura, 76% das culturas agrícolas utilizadas para a produção de alimento no Brasil dependem das interações entre visitantes e recursos florais.

Algumas espécies de plantas possuem polinizadores muito específicos e exclusivos, o que significa que a extinção de um polinizador pode acarretar a extinção da planta e vice-versa. Porém, mesmo para espécies que possuem vários polinizado-

res, há uma sincronia entre as atividades desses polinizadores e a dinâmica de floração. Ocorre que a floração é, em geral, estimulada por sinais climáticos, como a presença ou ausência de chuva e limiares de temperatura. Dessa forma, alterações climáticas podem modificar a dinâmica de floração e desconfigurar a sincronia entre as flores e seus visitantes, implicando em queda expressiva ou até em ausência de polinização. Outra ameaça importante a este serviço é a difusão de agrotóxicos que têm provocado uma redução

global na abundância e diversidade de insetos e afetado extraordinariamente os polinizadores e a polinização.

Os agrotóxicos também afetam os insetos predadores que regulam a herbivoria, afetando o crescimento das plantas, assim como o controle biológico de pragas exercido por invertebrados. Já a maior ameaça à dispersão dos frutos está na caça, no desmatamento e no fogo, que reduzem as populações dos animais dispersores, limitando a propagação das plantas.



◀ Figura 1 - Da esquerda para a direita, de cima para baixo: flores e insetos na MPSA, Paragominas, PA. As plantas *Lepidaploa* sp. (Asteraceae), *Byrsonima crassifolia* (L.) Kunth (Malpighiaceae), *Solanum crinitum* Lam. (Solanaceae), *Borreria latifolia* (Aubl.) K.Schum. (Rubiaceae) e *Solanum rubiginosum* Vahl (Solanaceae) tiveram seu pólen representado no corpo das abelhas coletadas no local, o que corrobora a importância das espécies vegetais nativas e adaptadas ao estágio da regeneração. Os insetos das ordens Diptera (moscas) e Hymenoptera (formigas, vespas e abelhas) são os visitantes mais frequentes das flores de *Gouania cornifolia* Reissek (Rhamnaceae) e *Serjania paucidentata* DC. (Sapindaceae), cipós que ofertam abundantes recursos florais (pólen e néctar) à diversidade de insetos na área de estudo. Fotos da mosca e formigas: César Augusto Chaves Favacho.

Conservar as interações biológicas para manter os serviços ambientais

Para entender os impactos das mudanças globais sobre a biodiversidade é fundamental olharmos para além da riqueza de espécies, considerando o fato de que todas elas estão conectadas por interações. Dessa forma, acessar a biodiversidade por meio de estudos das interações ecológicas se faz necessário diante de um contexto de mudanças climáticas globais. As análises de redes de interações configuram-se uma importante ferramenta para ajudar a compreender a estrutura e dinâmica de interações ecológicas. Ter um olhar sistêmico por meio das redes de interações nos permite, por exemplo, analisar e descrever processos ecológicos em diferentes escalas de tempo e espaço, tal como mudanças na paisagem.

Em um mundo de constantes mudanças e alterações na paisagem, torna-se necessária a utilização de ferramentas que nos auxiliem a monitorar mudanças ambientais,

planejar a recuperação de áreas degradadas e auxiliar na conservação não somente das espécies, mas também das interações. Estudos recentes indicam que as análises de redes são importantes ferramentas para avaliar como as interações ecológicas são afetadas diante de impactos ambientais como, por exemplo, o quanto a remoção do solo e a supressão intensa da vegetação podem promover a redução drástica nas interações por meio da perda de polinizadores e dispersores de frutos e/ou sementes, que garantem a manutenção e substituição de espécies em estágios sucessionais em áreas de regeneração e restauração ambiental. Para ilustrar a importância desses estudos, um exemplo de aplicação da rede de interações na avaliação de dispersores de frutos é apresentado na Figura 3. Esses estudos permitem identificar as espécies-chave no processo, proporcionando que um melhor manejo da restauração seja feito considerando essas espécies.

Algumas das interações mais interessantes da Amazônia

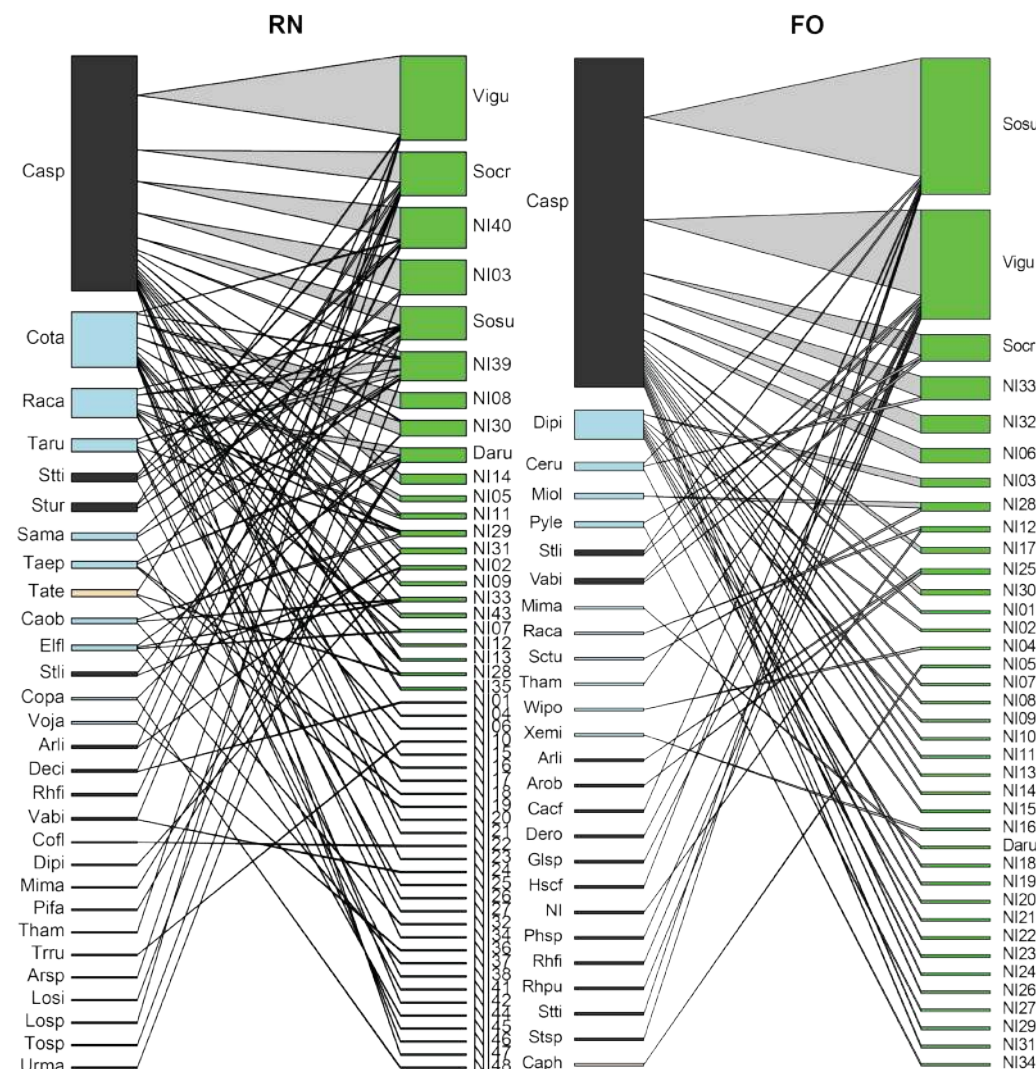
Formigas e plantas em áreas de regeneração da floresta

A interação entre formigas e plantas é considerada reguladora e pode ajudar a proteger a planta do ataque de herbívoros. Estes, por sua vez, são os animais que consomem as plantas e podem provocar até sua perda total. Em ambientes alterados, plantas com ciclos de vida curtos, apresentam vantagens para conseguir gerar descendentes em uma janela temporal estreita, sobretudo por evitar os animais herbívoros. No entanto, essas plantas dificilmente chegam a grandes tamanhos, característica importante a ser considerada quando se trata de recuperação de áreas alteradas.

A embaúba (gênero *Cecropia*) é uma planta que foge dessa regra, sobretudo por contar com um exército de formigas como defensoras, graças à sua interação com a “formiga-de-embaúba” (gênero *Azteca*) (Figura 2). A embaúba oferece abrigo e uma recompensa nutritiva para a formiga, enquanto a formiga protege a planta de herbívoros. Pelo menos 13 espécies desse gênero de formigas fazem associação obrigatória com a embaúba, algo que acontece há mais de oito milhões de anos, sendo exemplo de uma das interações benéficas mais impressionantes do mundo.



▲ Figura 2 - Formigas do gênero *Azteca* patrulhando o tronco de uma embaúba em busca de possíveis herbívoros. Foto: Peter Marting.



▲ Figura 3 - Exemplo de análise de redes de interação. Redes de interação entre animais frugívoros e plantas presentes nas áreas de restauração na MPSP, em Paragominas, Pará, em área de regeneração natural (RN) e área de floresta (FO). Em destaque nas imagens, as espécies com maior importância nos processos de dispersão: o morcego *Carollia* sp.; a ave *Columbina talpacoti*, que se destacaram nas áreas de regeneração natural; e a ave *Pseudopipra pipra*, que se destacou na área de floresta, juntamente com o morcego. Na área de regeneração, a planta com mais interações com os dispersores de frutos foi a *Vismia guianensis* (Hypericaceae); e na floresta, a *Solanum subinerme* (Solanaceae). Nos gráficos, as linhas representam as interações entre os animais (coluna à esquerda) e as plantas (coluna à direita).

Formigas e plantas na floresta, uma estratégia de guerra

Uma interação curiosa é encontrada em florestas preservadas na Amazônia, geralmente em áreas alagadas ou próximas a igarapés. Ela ocorre entre formigas que moram dentro de estruturas das plantas, em forma de campânulas denominadas de domácias (Figuras 4 e 5). A planta é do gênero *Hirtella* e apresenta pequenas cavidades na base das folhas, onde as formigas do gênero *Allomerus* vivem e cuidam da sua prole. Porém, é ao

longo da parte externa do caule que a formiga cria uma verdadeira estratégia de guerra para conseguir alimento. As formigas cortam os espinhos da planta e os usam para construir uma armadilha (cuidadosamente construída com os pedaços de espinhos justapostos) onde um tipo de fungo (ascomiceto) se desenvolve, constituindo um tipo de cimento envolvendo os espinhos. Insetos herbívoros, ao pousar sobre a armadilha, são capturados pelas

formigas já que a construção é um tipo de plataforma com orifícios que permitem a passagem das cabeças e as pernas anteriores das formigas. Esta plataforma permite um ataque furtivo das formigas sobre os insetos que estão pousados na planta, atacando por baixo. As formigas, então, seguram e cortam esses insetos e levam seus pedaços para o abrigo, garantindo a alimentação da colônia.



▲ Figura 4 - Domácias na base das folhas de *Hirtella* sp. (Chrysobalanaceae) que servem de abrigo para as formigas do gênero *Allomerus* sp. Note os detalhes da armadilha feita por essa formiga ao longo do caule da planta com pedaços de espinhos concretados pelo fungo ascomiceto.



▲ Figura 5 - Formigas do gênero *Allomerus* sp. em atividade, saindo da domácia (esquerda) e realizando a caça aos insetos herbívoros que pousam no caule e folhas (direita) da planta do gênero *Hirtella* sp.

Plantas e insetos polinizadores

A polinização é o mecanismo de transferência de pólen entre flores de plantas da mesma espécie. As flores são estruturas reprodutivas e apresentam características diversificadas para a atração de uma diversidade de insetos que garantem a polinização, a fertilização e, consequentemente, a produção de frutos e sementes. Dentre os atributos florais, a coloração, forma, tamanho, unidade de atração (flor isolada ou em inflorescência), horário de abertura (antese floral), composição e produção do néctar, odor floral etc. são utilizados para classificar as síndromes de polinização das espécies de plantas.

As plantas com flores e seus polinizadores formam grupos de organismos que interagem para garantir a manutenção de boa parte das cadeias alimentares em ambientes terrestres. Na maioria dos casos, esse transporte só pode ser feito pelos insetos que visitam as flores.

A síndrome de polinização tem um valor preditivo na determinação do polinizador efetivo, ou seja, por meio dos atributos florais podemos prever a síndrome de polinização como, por exemplo, qual grupo de inseto irá polinizar

aquela espécie de planta: mariposas, moscas, abelhas, borboletas, besouros etc. Embora essas síndromes de polinização sejam muito utilizadas, a sua aplicação não é universal. Isso porque uma espécie de planta pode ter mais de um tipo de polinizador e um determinado visitante pode polinizar espécies com síndromes florais distintas. O mais comumente encontrado na natureza são espécies com interações generalistas e síndromes mistas de polinização. Por exemplo, plantas polinizadas por abelhas, também podem ser polinizadas eficientemente por moscas.

A interação planta-polinizador é considerada mutualística, onde ambos os organismos envolvidos se beneficiam e garantem a sua sobrevivência, além de contribuir direta ou indiretamente com outros organismos, formando uma grande rede de interações. Por exemplo, flores de espécies da família Annonaceae (família do biribá, graviola etc.) atraem besouros que as usam como local de acasalamento e de dormitório (Figura 6). Após a permanência nas flores durante a noite, os besouros saem no dia seguinte em busca de outras flores e, dessa forma, promovem a transferência do pólen entre as plantas.

Outro exemplo emblemático na floresta amazônica é a polinização da castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*), que apresenta flores com atributos florais muito elaborados. Essas flores atraem uma diversidade de espécies de abelhas de grande porte (gêneros *Eulaema*, *Bombus* e outros), que coletam principalmente o néctar para a alimentação dos adultos e de suas crias, promovendo a polinização entre flores de plantas diferentes (Figura 7). Como essas abelhas voam por longas distâncias, elas podem promover a troca de pólen entre plantas que estejam até 50 km distantes uma da outra. Isso explica em parte porque as castanheiras estão distribuídas em toda Amazônia, produzindo os frutos tão apreciados pelo mundo inteiro.

Os estudos da biologia floral e da ecologia da polinização constituem a base para os estudos das interações entre as plantas e seus polinizadores. Além disso, ao conhecer a biologia floral, torna-se possível identificar a contribuição e os benefícios dos polinizadores na estruturação das comunidades de plantas.



◀ Figura 6 - Flor de *Annona* sp. (Annonaceae), evidenciando a morfologia floral adaptada à polinização por besouros, com cálice e corola carnosos, formando uma câmara floral que funciona como abrigo, fonte alimentar e/ou local de acasalamento. Observada no município de Bragança, PA. Foto: Ulf Mehlig.



▲ Figura 7 - Abelha de grande porte, *Eulaema (Eulaema) bombiformis*, visitando a flor de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa*). Foto: Marcelo Cavalcante.

Insetos galhadores

As galhas representam crescimento anormal (aumento no número e no tamanho das células) do tecido vegetal que se desenvolvem nas plantas induzidas por diferentes grupos de organismos, principalmente insetos, que se alojam no interior do tecido vegetal (Figura 8). Elas podem ocorrer nas folhas, caules, flores e frutos, e desenvolver as mais variadas formas, tamanhos e cores, apresentando ou não pilosidade, alterando assim a arquitetura do órgão ou até mesmo da planta como um todo. Em última análise, as galhas representam características definidas pela interação entre a genética do galhador (organismo indutor da galha) e da planta hospedeira (produtora da galha) e o ambiente.

Os insetos galhadores são considerados bons bioindicadores ambientais, pois além da alta diversidade taxonômica, as larvas desses insetos são sedentárias e, em geral, específicas para uma única espécie de planta. As galhas induzidas por insetos são abundantes, de fácil identificação e amostragem com base em suas características morfológicas, podendo ser usadas

também como ferramentas na taxonomia vegetal (identificação de plantas). Além disso, apresentam respostas ambientais previsíveis por estarem intimamente associadas às suas plantas hospedeiras. Em função dessas características e da relação quase sempre espécie-específica dos insetos indutores com suas plantas hospedeiras, galhas entomógenas são cada vez mais utilizadas em programas de monitoramento e reabilitação do uso do solo envolvendo projetos de mineração na Amazônia.

A importância de insetos galhadores em áreas de mineração foi revelada por um estudo realizado no início dos anos 2000 que, além da descrição de uma espécie nova de galhador, deixou clara a importância do monitoramento de galhas. *Parkia pendula* (Fabaceae) é uma espécie de planta utilizada em programas de restauração ambiental e é parasitada pelo mosquito *Parkiamyia paraensis* (Diptera, Cecidomyiidae). No estudo em questão, essa espécie de Fabaceae foi monitorada em parcelas delimitadas na floresta, área de replantio e em estufa. Durante o período de

acompanhamento, foi observado um aumento nas taxas de ataque por *P. paraensis* sobre as plantas nas áreas de replantio, indicando a necessidade do monitoramento, uma vez que o ataque contínuo de galhadores, tende a reduzir o desenvolvimento e a performance das plantas atacadas, o que poderia, a longo prazo, inviabilizar o programa de restauração.

Outro aspecto interessante da interação entre organismos galhadores e suas respectivas plantas hospedeiras está relacionado ao aumento da riqueza local de espécies como resultado do uso das galhas. Os animais indutores de galhas são considerados engenheiros de micro-habitats. As galhas criam e disponibilizam nichos potenciais para diversos outros grupos de organismos, principalmente artrópodes, que podem interagir de diversas formas com os indutores (p. ex., inquilino, parasitoide). Além disso, após a morte do indutor ou emergência dos adultos e abandono das galhas, estas irão representar um novo habitat a ser ocupado por insetos herbívoros, onívoros e/ou predadores.



▲ Figura 8 - Diferentes morfotipos de galha. Da esquerda para a direita: galha foliar cônica pilosa marrom em *Pseudima frutescens*; galha foliar globoide com projeção apical glabra verde em *Ocotea canaliculata*. Ambas observadas na área de remanescentes florestais da MPSA, em Paragominas, Pará. Fotos: César Augusto Chaves Favacho.

As plantas e os mamíferos

Existem cerca de 450 espécies de mamíferos que habitam as diversas paisagens da Amazônia brasileira. Esses são representados pelos pequenos mamíferos e por mamíferos de médio e grande portes, incluindo espécies terrestres, arbóricolas e aquáticas. Para todos esses grupos, existem muitas espécies que podem contribuir com a dispersão e a viabilidade de sementes, sendo atores essenciais em redes ecológicas. Os principais modos de dispersão realizados pelos mamíferos são a dispersão onde a semente fica presa ao corpo do animal; o transporte deliberado da semente ou fruto pelo animal; e por meio da ingestão da semente ou fruto que passa pelo tubo digestivo do animal e depois é defecada.

No Brasil, os pequenos mamíferos são representados pelos morcegos (ordem Chiroptera), roedores (ordem Rodentia), gambás (ordem Didelphimorphia) e tapitis (ordem Lagomorpha), sendo os dois primeiros grupos os que contêm mais espécies. Em processos ecossistêmicos impulsionados pela dispersão, onde os mamíferos herbívoros-dispersores de médio e grande porte entram em declínio populacional ou são levados à extinção por diversos fatores (desmatamento, caça, perda de habitat), pequenos mamíferos ganham importância como vetores de dispersão devido à sua onipresença, diversidade de espécies e hábitos, e abundância em comunidades de mamíferos.

Os morcegos, únicos mamíferos com voo verdadeiro, desempenham serviços ecossistêmicos cruciais, atuando tanto como polinizadores quanto dispersores de sementes. Morcegos forrageiam principalmente na camada mais alta da floresta. Além disso, em regiões tropicais, morcegos podem ser polinizadores, onde podem representar o modo polinizador de 1% (Cerrado e Caatinga) a 3% (floresta de

várzea da Costa Rica) das espécies de plantas. Alguns exemplos de espécies de morcegos comuns nas comunidades amazônicas são o morcego-beija-flor *Glossophaga soricina* (polinizador) e os frugívoros (dispersores de sementes) morcego-da-cara-branca *Artibeus lituratus* e o morcego-de-cauda-curta *Carollia perspicillata*.

Pequenos mamíferos não voadores são importantes dispersores de sementes. Essa interação pode ocorrer por meio da alimentação/predação de frutos e sementes, carregando-os para ninhos, refúgios, tocas ou cavidades. De maneira global, a epizootia (dispersão por transporte no corpo ou pelagem de animais) e a endozootia (dispersão após a passagem pelo trato digestivo) são provavelmente modos universais em roedores e tapitis. Alguns exemplos de espécies que ocorrem na MPSA que contribuem com a dispersão de sementes são o esquilo-das-guias *Guerlinguetus aestuans*, a cutia *Dasyprocta prymnolopha* e a paca *Cuniculus paca*.

Um evento de polinização potencial também foi descrito para uma espécie de pequeno mamífero marsupial não-voador na Mata Atlântica. O gambá *Didelphis aurita* foi registrado visitando regularmente plantas terrestres da espécie holoparasita flor-cogumelo *Scybalium fungiforme*. Essa espécie de gambá ocorre desde o leste do Brasil, nos domínios da Mata Atlântica e Floresta de Araucárias, até o Paraguai e nordeste da Argentina, e tem uma dieta onívora, sendo um forrageador oportunista. Na Amazônia brasileira existem duas espécies do gênero *Didelphis*, *D. marsupialis* e *D. imperfecta*, que poderiam ser potenciais dispersoras devido à atividade forrageira similar, mas demandam pesquisas direcionadas para responder esta questão.



▲ Figura 9 - Germinação de plantas cujas sementes foram transportadas em fezes de anta *Tapirus terrestris* (Mammalia, Perissodactyla) em uma área de restauração da MPSA, em Paragominas, Pará.

Pequenos roedores e marsupiais têm sido descritos como potenciais polinizadores de plantas terrestres em localidades da América Central, África, Ásia e Austrália, mas sabe-se pouco ainda sobre esses processos. Portanto, mais pesquisas precisam ser direcionadas para entender a importância desses animais na polinização.

Os mamíferos herbívoros e frugívoros de médio e grande portes são, talvez, os dispersores de sementes mais conhecidos, devido ao seu tamanho corporal e ao seu carisma. Esse grupo inclui a anta (ordem Perissodactyla), veados (ordem Artiodactyla) e os macacos-prego, macacos-aranha e saguis (ordem Primates). Os principais modos de dispersão entre essas espécies são endozootia (Figura 9) e a sinzootia (quando o animal transporta, esconde e/ou enterra as sementes de um fruto após comer o arilo). Podem alimentar-se de um amplo espectro de frutos, desde o nível do solo (espécies terrestres e escansoriais) até aos estratos mais elevados (espécies escansoriais e arbóreas), e de frutos de pequeno e grande porte.

Como as interações plantas-animais beneficiam a restauração

As estruturas morfológicas das plantas propiciam uma rede interativa com a fauna e o ambiente. Dentre as estruturas atrativas estão as glândulas de óleo, tricomas glandulares, nectários florais e extraflorais, grãos de pólen, frutos e sementes. Estas estruturas tornam-se importantes porque auxiliam na atração de polinizadores e dispersores. A presença desses organismos no ambiente em restauração é

crucial para acelerar o processo de regeneração e restauração de áreas degradadas. Plantas especialmente atrativas aumentam a probabilidade de plantas menos atrativas serem polinizadas e dispersadas para a área, aumentando a diversidade local e acelerando o recobrimento do solo. O aumento da diversidade nas fases iniciais da restauração cria condições favoráveis para que a floresta futura seja

também mais florística, estrutural e funcionalmente diversa, possibilitando o pleno sucesso do processo de restauração. A seguir, apresentamos dois importantes exemplos de espécies altamente interativas, presentes nas áreas de regeneração natural da MPSA, que podem potencializar a restauração em áreas degradadas em decorrência das atividades de mineração.

Murici (*Byrsonima crassifolia*)

A *Byrsonima crassifolia* (Malpighiaceae), conhecida popularmente como murici, é uma espécie abundante nas áreas de restauração por regeneração natural da MPSA. A espécie apresenta atrativos para a fauna, como um par de glândulas de óleo (elaióforos) na

base de cada sépala, e fruto tipo baga, consumido frequentemente por grandes herbívoros como a anta (Figura 10). O óleo produzido pelos elaióforos é usado como fonte de alimento por certas abelhas como as dos gêneros *Centris*, *Epicharis* e *Tetrapedia*, além de algumas

espécies de abelhas sem ferrão (Meliponini), besouros (Coleoptera) e moscas (Diptera). Por apresentar floração quase constante durante o ano, variando apenas na intensidade e pico de floração, a espécie é uma importante fonte de recurso para a fauna local.



◀ Figura 10 - De cima para baixo: inflorescência de *Byrsonima crassifolia* (Malpighiaceae), o murici, com flores amarelas e botões; fruto imaturo e fruto maduro, evidenciando os elaióforos (glândulas que produzem óleo) na base das sépalas persistentes. Foto: Fabiana Sampaio.

Maravuvuia (*Croton matourensis*)

A espécie *Croton matourensis*, da família Euphorbiaceae, chamada popularmente de maravuvuia no Brasil, abundante nas áreas de restauração da MPSA, apresenta estruturas atrativas como um par

de glândulas na base do pecíolo (atração de formigas) (Figura 11), flores melíferas aromáticas que são visitadas por abelhas de diferentes grupos e uma quantidade expressiva de pólen. Durante o período

mais intenso de floração da espécie (janeiro e fevereiro), é possível sentir o perfume de suas flores. Seus frutos do tipo cápsula liberam sementes pequenas no ambiente.



▲ Figura 11 - Folha de *Croton matourensis* com par de nectários extraflorais e interação com formigas em áreas de regeneração natural no Município de Paragominas, Pará.

Sugestões de leitura

- ARÉVALO-SANDI, A.; BOBROWIEC, P. E. D.; RODRIGUEZ CHUMA, V. J. U.; NORRIS, D. Diversity of terrestrial mammal seed dispersers along a lowland Amazon forest regrowth gradient. PLoS One, v. 13, n. 3, p. e0193752, 2018. Doi: 10.1371/journal.pone.0193752.
- BPBES - Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos. REBIPP - Rede Brasileira de Interações Planta-Polinizador Relatório Temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimento no Brasil. São Paulo, SP: Editora Cubo, 2019. Disponível em: https://www.bpb.es.net/wp-content/uploads/2019/03/BPBES_CompletoPolinizacao-2.pdf
- CARTHEW, S. M.; GOLDINGAY, R. L. Non-flying mammals as pollinators. Trends in Ecology and Evolution, v. 12, n. 3, p. 104–108, 1997. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(96\)10067-7](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(96)10067-7).
- CARUSO, M. B. R.; MEDEIROS, D.; SANTOS, R. F. D.; PEREIRA, A. P. N.; TORRES, D. S. C.; SECCO, R. S.; MUNIZ FILHO, E.; VALDUGA, E.; LIMA, L. R.; RIINA, R.; ROSSINE, Y. Flora do Brasil 2020. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://dspace.jbrj.gov.br/jspui/bitstream/doc/118/5/Flora%202020%20digital.pdf>
- CORNELISSEN, T.; CINTRA, F.; SANTOS, J. C. Shelter-building insects and their role as ecosystem engineers. Neotropical Entomology, v. 45, p. 1-12, 2016. <https://doi.org/10.1007/s13744-015-0348-8>.
- DEJEAN, A.; SOLANO, P. J.; AYROLES, J.; CORBARA, B.; ORIVEL, J. Arboreal ants build traps to capture prey. Nature, v. 434, p. 973, 2005. Doi:10.1038/434973a.
- FERNANDES, G. W.; SANTOS, J. C.; CASTRO, F. M.; CASTILHO, A. Impact of a gall midge *Parkia myia paraensis* (Diptera, Cecidomyiidae) on the Amazonian plant *Parkia pendula* (Fabaceae). Revista Brasileira de Entomologia, v. 50, n. 1, p. 1-5, 2006.
- FRAGOSO, J. M. V.; SILVIUS, K. M.; CORREA, J. A. Long-distance seed dispersal by tapirs increases seed survival and aggregates tropical trees. Ecology, v. 84, n. 8, p. 1998–2006, 2003. Doi: <https://doi.org/10.1890/01-0621>.
- GARDNER, A. L. (Ed.). Mammals of the South America, Volume 1. Marsupials, Xenarthrans, Shrews, and Bats (pp 1-11). Chicago; London: The University of Chicago Press, 2008. DOI:10.7208/chicago/9780226282428.001.0001.
- GODÓ, L.; VALKÓ, O.; BORZA, S.; DEÁK, B. A global review on the role of small rodents and lagomorphs (clade Glires) in seed dispersal and plant establishment. Global Ecology and Conservation, v. 33, p. e01982, 2022. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01982>.
- MELLO, M. A. R. Redes mutualistas: pequenos mundos de interações entre animais e plantas. Ciência Hoje, v. 47, n. 277, p. 32–37, 2010.
- SHORTHOUSE, J. D.; WOOL, D.; RAMAN. Gall-inducing insects – Nature’s most sophisticated herbivores. Basic and Applied Ecology, v. 6, n. 5, p. 407-411, 2005.



Capítulo 8: Legado do BRC e Lições Aprendidas

Fridtjof Mehlum

O Legado do Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade Brasil-Noruega (BRC)

Com a publicação deste livro, o Consórcio de Pesquisa em Biodiversidade Brasil-Noruega (BRC) comemorou seu décimo primeiro aniversário. Desde o seu início até o presente, esta parceria tem sido muito bem-sucedida para as instituições parceiras envolvidas. O consórcio é único e inclui uma parceria indústria-academia e cooperação acadêmica internacional entre Brasil e Noruega. Essa colaboração entre a indústria e a academia pode resultar numa contribuição significativa para a conservação da biodiversidade e a restauração das florestas tropicais. A vertente internacional do consórcio, formado por instituições brasileiras e norueguesas, enquadra-se nas estratégias das universidades para incentivar a cooperação internacional em pesquisa e educação. O Brasil é um dos países definidos como prioritário de cooperação pela Universidade de Oslo e pelo governo norueguês.

O BRC proporcionou uma oportunidade única para as instituições parceiras brasileiras e norueguesas se envolverem em pesquisas relacionadas à biodiversidade da floresta tropical e à restauração de ecossistemas em conexão com operações de mineração em grande escala. Em um período em que as oportunidades de financiamento governamental para esse tipo de pesquisa foram restritas no Brasil, o financiamento da indústria por meio do BRC foi bem recebido pelos grupos de pesquisa das instituições parceiras. Isso permitiu aos pesquisadores realizar estudos de base em biodiversidade, altamente relevantes para os operadores de



▲ Figura 1 - Um terreno onde o método de regeneração natural foi aplicado na Mineração Paragominas S.A. A restauração desse terreno foi iniciada em 2009, e a foto foi tirada em março de 2016.



▲ Figura 2 - Professores e alunos participando do curso de campo de pós-graduação em ecologia e biodiversidade de florestas tropicais, oferecido pelo BRC, em 2019.

mineração para a aplicação das melhores práticas de restauração e monitoramento da biodiversidade em áreas afetadas pelas operações de mineração.

Ao mesmo tempo, a Hydro (como operadora de mineração) teve, por meio da parceria com o BRC, acesso a um grande número de especialistas, tanto pesquisadores quanto estudantes em grupos de pesquisa com experiência e alta competência em assuntos como ecologia de florestas tropicais, taxonomia e conservação da biodiversidade. A Hydro poderá, então, usar os resultados da pesquisa do BRC para fortalecer a implementação de uma gestão baseada na ciência e na tomada de decisões

nas suas estratégias de restauração e reflorestamento.

A pesquisa realizada pelo BRC está ancorada em um programa de pesquisa que tem sido a base para a seleção de temas prioritários para projetos a serem financiados por meio do consórcio. O objetivo geral deste programa é dirigir, promover e implementar projetos de pesquisa colaborativos relacionados à avaliação e monitoramento de ações antrópicas e restauração de ecossistemas em áreas afetadas por atividades de mineração na Amazônia Oriental brasileira, buscando assim implementar estratégias de gestão baseadas na ciência

nessas áreas. Este programa tornou possível abordar diferentes temas e envolver diferentes especialistas em pesquisa de biodiversidade. A experiência complementar realizada nas diferentes instituições parceiras também tornou possível a pesquisa interdisciplinar.

Alguns dos projetos conduzidos pelo BRC têm um escopo científico relativamente restrito, enquanto outros têm uma base mais ampla. Entre estes últimos, estão estudos sobre as interações entre plantas e polinizadores, dispersão de sementes e frutos por animais e herbivoria. Tais estudos são muito importantes quando o objetivo da restauração florestal é recriar ecossistemas funcionais

com uma rede ecológica robusta, o mais próximo possível daquela encontrada nas florestas antes da mineração.

Os muitos projetos de pesquisa conduzidos pelo BRC na Mineração Paragominas S.A. e áreas adjacentes no nordeste do estado do Pará geraram novos conhecimentos sobre a biodiversidade nas manchas antigas de florestas tropicais fragmentadas ao redor da mina e nas áreas reflorestadas, que estão nos estágios iniciais de sucessão (primeiro plantio de mudas de árvores começou em 2009) (Figura 1).

Entre os pesquisadores do BRC e seus colaboradores de outras instituições, fizeram parte taxonomistas com experiência em uma ampla gama de grupos de animais, plantas e fungos. Esses cientistas deram uma grande contribuição para a identificação de espécies, e até mesmo descreveram diversas espécies novas para a ciência. Infelizmente, muitos grupos de organismos da floresta amazônica seguem pouco conhecidos e pouco estudados devido à falta de conhecimento especializado ou de financiamento. O trabalho de campo na área de estudo também resultou na coleta de um grande número de espécimes para complementar as coleções científicas dos museus de história natural das instituições participantes. Os taxonomistas, juntamente com os ecólogos, conseguiram registrar a ocorrência de um grande número de espécies acrescentando informação sobre a sua distribuição geográfica e requisitos de habitat. Algumas espécies raras ou ameaçadas de extinção foram documentadas nas áreas de estudo, que necessitariam de atenção especial para sua conservação. Conflitos entre os interesses dos fazendeiros em Paragominas e espécies da fauna, como a onça-pintada,

foram estudados e propostas de mitigações foram feitas.

Estudos de solo conduzidos pelo BRC demonstraram a complexidade da restauração da camada superficial e das camadas subjacentes do solo após a supressão da vegetação para a mineração. A camada superficial do solo (*topsoil*) que foi armazenada, transportada de volta e colocada sobre a camada estéril após a remoção da camada de bauxita, pode perder propriedades importantes, incluindo qualidades físico-químicas, o que retarda os processos de regeneração. Nesta questão, o conhecimento dos cientistas de solos será de grande valia para os gestores das empresas de mineração no sentido de aperfeiçoar os atributos físico-químicos do solo para a regeneração da floresta. Foi demonstrado que existe uma estreita inter-relação entre processos pedogenéticos (de formação dos solos) e da vegetação. Tornou-se claro que uma melhor compreensão da resposta solo-vegetação é crucial para a implementação de procedimentos de restauração para uma sucessão otimizada, desde parcelas com espécies de árvores pioneiras até fases de sucessão mais avançadas.

Para os participantes, fazer parte de um consórcio multi-institucional como o BRC proporciona muitas novidades: oferece aos estudantes e pesquisadores informações sobre as operações da indústria da mineração e os seus efeitos na biodiversidade nas áreas próximas à mineração e nos ecossistemas terrestres e aquáticos adjacentes às áreas de operações. Também proporcionada uma melhor base para a formulação de pesquisas futuras sobre biodiversidade, tanto de base como aplicadas, que podem ser de grande relevância para a indústria da mineração, além de serem pesquisas de alta qualidade, conforme exigido pelas universi-

dades. A maioria dos projetos de pesquisa conduzidos pelas instituições do BRC foi fomentada financeiramente pela Hydro. Contudo, as próprias instituições apoiam financeiramente os projetos com o pagamento do salário de professores e a manutenção dos seus laboratórios. Esta colaboração entre a indústria e a academia tem sido um benefício para ambas as partes.

Nos projetos de pesquisa conduzidos pelo BRC, tem sido uma prioridade fundamental incluir estudantes de graduação e pós-graduação nos trabalhos. Nos últimos anos, cerca de 100 estudantes de diferentes níveis acadêmicos participaram anualmente de projetos do BRC, e muitos deles usaram dados gerados por esses projetos para suas teses e dissertações. Um curso para estudantes de pós-graduação em ecologia e biodiversidade de florestas tropicais (financiado por fundos noruegueses) foi conduzido pelo BRC durante três anos, com trabalho de campo na floresta amazônica brasileira e trabalho de laboratório na Noruega. O curso contou com alunos e professores dos dois países e tem sido uma parte importante para fortalecer a colaboração entre as instituições do BRC e os grupos de pesquisa (Figura 2).

O BRC tem proporcionado a formação de estudantes locais no estado do Pará em ciências ambientais que são altamente relevantes para a indústria da mineração. Muitos desses estudantes podem potencialmente se tornar valiosos futuros funcionários da Hydro ou de outras empresas de mineração, como gestores envolvidos na restauração da floresta tropical e em outras questões ambientais, além de poderem atuar como pesquisadores na região.

Capítulo 9: Próximos Passos

Patrick Brading

Olhando para o futuro - Uma perspectiva da indústria

As ligações entre a atividade humana e a atual crise ambiental estão muito relacionadas. As mudanças no uso do solo, a superexploração dos recursos naturais, as mudanças climáticas e a poluição estão impulsionando significativamente as taxas de extinção de espécies, a perda de habitats e reduções na abundância global da vida selvagem. Como agravante, precisamos entender que a nossa sociedade é extremamente dependente da natureza e dos serviços que ela nos fornece. Até o momento, estima-se que mais de 55% da economia global seja de moderada a altamente dependente dos serviços ecossistêmicos.

A ação global para enfrentar a crise ambiental teve o seu clímax em dezembro de 2022, quando governos de todo o mundo se reuniram em Montreal, Canadá, na 15ª Conferência das Partes (COP-15) da Convenção sobre Diversidade Biológica. Neste evento, foi adotado o texto final de um novo acordo do Marco Global da Biodiversidade (Global Biodiversity Framework). Esse quadro estabeleceu um conjunto de 23 metas que visam deter e reverter a perda da biodiversidade até 2030. Assim, a recuperação da natureza pode seguir uma trajetória positiva até 2050. Essas metas estão organizadas em três temas, incluindo: “redução das ameaças à biodiversidade”, “satisfazer as necessidades das pessoas por meio do uso sustentável e da partilha de benefícios”, e “ferramentas e soluções para a implementação e integração”. Embora seja de responsabili-

dade dos países signatários atingir essas metas até 2030, muitas delas terão impacto direto ou indireto na indústria, uma vez que sejam implementadas nas políticas e legislações nacionais.

Em um esforço dos governos para reduzir os principais fatores de perda da biodiversidade, a indústria deve antecipar regulamentações mais rigorosas que regerão a forma como os negócios serão conduzidos no futuro. Isso deve incluir requisitos mais exigentes para atividades econômicas que têm impacto sobre os habitats naturais, maior responsabilização pelos impactos que ocorrem nas cadeias de abastecimento, e uma expectativa muito maior de transparência e divulgação nos relatórios corporativos. A Meta 15, por exemplo, exige que as grandes empresas monitorem e divulguem os seus “riscos, dependências e impactos na biodiversidade ao longo das suas operações, cadeias de abastecimento e de valor”.

Com uma elevada dependência econômica dos serviços ecossistêmicos e uma mudança ambiental regulatória, a indústria deve, portanto, entender como as suas atividades contribuem para a perda da biodiversidade (impactos), mas também como estão expostas aos efeitos que a perda da biodiversidade pode ter na sua capacidade de operar (dependências). Esse conceito de impactos e dependências, denominado “dupla materialidade”, é essencial para compreender como a exposição de uma empresa a riscos relacionados

com a natureza pode estar ligada a riscos jurídicos, reputacionais e de mercado. Uma empresa que não compreende e não gere os seus impactos e dependências na natureza com uma estratégia robusta é um risco financeiro para os investidores. Iniciativas voluntárias, como a Força-Tarefa para Divulgações Financeiras Relacionadas à Natureza (abreviado em inglês pela sigla TNFD - *Taskforce on Nature-related Financial Disclosures*), e as regras legais, como a Diretiva de Sustentabilidade Corporativa da União Europeia, colocam expectativas claras sobre as empresas para avaliarem e quantificarem os seus riscos relacionados à natureza e divulgá-los publicamente.

Para mitigar estes riscos relacionados à natureza, as principais empresas industriais já estão estabelecendo metas ambiciosas para abordar os seus principais impactos e dependências na natureza. Isso pode incluir metas relacionadas à reabilitação de áreas afetadas pelas suas atividades, a redução das emissões de gases do efeito estufa e outras fontes de poluição, melhorias na eficiência hídrica e de recursos na produção, taxas mais elevadas de recuperação de resíduos e adoção de modelos de negócios circulares. No entanto, se uma empresa pretende contribuir significativamente para o objetivo global de um futuro positivo para a natureza, deve fazer mais do que reduzir os seus impactos na mesma. Em outras palavras, a empresa deve usar a sua influência, sempre que

possível, para melhorar a pegada ambiental das suas cadeias de valor, e também identificar oportunidades para resultados positivos na natureza e nas paisagens onde opera. Esses tipos de ações não beneficiam somente a natureza, mas também podem agregar valor às comunidades locais e criar resiliência para a própria empresa. As indústrias devem buscar esses resultados positivos para a natureza por meio de parcerias estratégicas com o meio acadêmico, a sociedade civil, as comunidades locais e as agências governamentais para garantir resultados duradouros e sustentáveis.

Para o setor do alumínio, por exemplo, um dos maiores desafios é o impacto direto na biodiversidade por meio da mudança no uso do solo, impulsionada pela extração de bauxita. A profundidade relativa da camada de bauxita, combinada à sua elevada coincidência com áreas de alto valor de biodiversidade, significa que o alumínio, como material, tem uma intensidade de utilização do solo muito elevada e um maior risco de impacto para a natureza quando comparado com outros materiais concorrentes, como o aço. Esse é um risco inerente e inevitável para a produção de alumínio, então é extremamente importante que as indústrias de alumínio que se dedicam à mineração de bauxita minimizem e compensem o impacto real na biodiversidade por meio de práticas de mineração responsáveis.

Para a Hydro, a maior parte do alumínio primário produzido é baseado na bauxita extraída de sua própria mina em Paragominas. Conforme discutido nos capítulos anteriores, a mina está localizada em uma área de elevado valor de biodiversidade, ainda mais porque a região é caracterizada por uma longa história de perturbação humana anterior à presença da Hydro. A pesquisa conduzida pelo BRC proporcionou à Hydro um bom entendimento da biodiversidade presente na paisagem e como a atividade de mineração impacta esses valores. Além disso, a pesquisa forneceu informações sobre a melhor forma de gerir esses impactos e também sobre a eficácia do programa de reabilitação da Hydro.

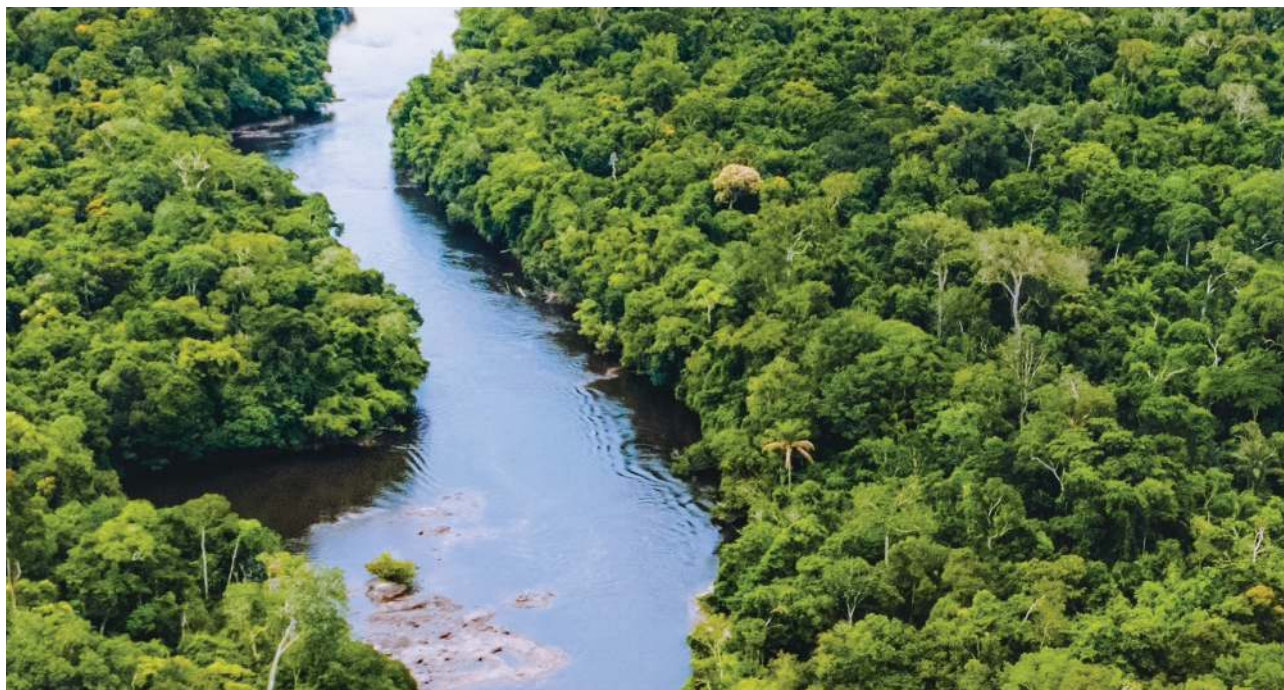
Contudo, ainda há desafios que devem ser superados. Mesmo com a reabilitação progressiva da mina, ainda existe uma lacuna entre o impacto da mina e a taxa com que é tecnicamente viável reabilitar áreas onde ocorreram a mineração, além do tempo necessário para que as áreas em reabilitação sejam totalmente restauradas. Reconhecendo este desafio, a Hydro estabeleceu uma meta de “sem perda líquida da biodiversidade” que será aplicada à futura expansão da mina. Para alcançar esse resultado, será necessário rever a nossa estratégia de gestão do risco de biodiversidade e explorar mais as medidas que podem ser tomadas para evitar a ocorrência de impactos, minimizando-os e

reabilitando-os. Uma vez esgotadas as oportunidades de prevenção, minimização e reabilitação, a Hydro terá de considerar a melhor forma de compensar os impactos restantes na biodiversidade por meio de ações que visem restaurar e/ou converter áreas de valor e escala equivalentes de biodiversidade.

Dentro de cada um desses níveis da hierarquia de mitigação da biodiversidade, serão necessários dados confiáveis e objetivos para informar quais medidas são apropriadas e quais terão o maior efeito positivo sobre a biodiversidade. Por isso, as parcerias com especialistas acadêmicos, como os do BRC, são imprescindíveis. No futuro, a indústria e o meio acadêmico necessitarão de maior colaboração na pesquisa dos processos de tomada de decisão empresarial. O foco no futuro é transformar a pesquisa básica sobre biodiversidade em resultados aplicados. Por exemplo: como uma empresa deve levar em consideração os valores da natureza, ou o custo da perda da biodiversidade, em decisões de negócios como a expansão de uma mina? Qual conhecimento podemos levar dos processos de regeneração natural para a reabilitação, como instalações de armazenamento de rejeitos? Como uma empresa mede seu desempenho na gestão de impactos à biodiversidade de forma transparente e significativa? São esses tipos de perguntas que a Hydro buscará responder nos próximos anos.

“Se uma empresa pretende contribuir significativamente para o objetivo global de um futuro positivo para a natureza, deve fazer mais do que reduzir os seus impactos na mesma.”

Patrick Brading



“Recomendo este livro para estudantes e público em geral como fonte de informação sobre a biodiversidade e conservação da floresta amazônica. O livro também pode ser uma importante fonte de referência para pesquisadores, professores, gestores e outros interessados não apenas em aspectos biológicos locais, mas também em técnicas de recuperação florestal, monitoramento da fauna e métodos de mitigação de impactos florestais resultantes da atividade de mineração.”

Fridtjof Mehlum

“Este livro é feito para aqueles que querem aprofundar seus conhecimentos sobre a fauna e a flora amazônicas, especialmente da região de Paragominas, no Nordeste do Estado do Pará. Sejam eles acadêmicos, trabalhadores rurais, operários, estudantes e professores, graduados ou leigos, amantes da vida selvagem ou simplesmente interessados na biodiversidade.”

Rafael Leandro de Assis
Emília Zoppas de Albuquerque



Instituições Parceiras



Secretaria Executiva



Apoio Financeiro

