



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE
SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS
GENÉTICOS VEGETAIS**



SOLANGE HENCHEN TREVISAN

**CARACTERIZAÇÃO FENOLÓGICA E MODELAGEM
PREDITIVA DE *Dicypellium caryophylaceum* (Mart.) Nees
(LAURACEAE): uma ferramenta para a Conservação**

Feira de Santana - BA

2024

SOLANGE HENCHEN TREVISAN

**CARACTERIZAÇÃO FENOLÓGICA E MODELAGEM
PREDITIVA DE *Dicypellium caryophylaceum* (Mart.) Nees
(LAURACEAE): uma ferramenta para a Conservação**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Recursos Genéticos Vegetais, da Universidade Estadual
de Feira de Santana, como requisito para obtenção do título
de Doutor em Recursos Genéticos vegetais.

Orientador: Prof. Dr. Lenaldo Muniz de Oliveira
Coorientadores: Profa. Dra. Lígia Silveira Funch (UEFS)
Prof. Dr. Diogo Souza Bezerra Rocha (IIS)

Feira de Santana – BA
2024

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Gustavo Carvalho Spanner
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Prof^a. Dra. Moirah Paula Machado de Menezes
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Profa. Dra. Maristela Marques da Silva
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Profa. Dra. Tainá Teixeira Rocha
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Prof. Dr. Lenaldo Muniz de Oliveira
Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)
Orientador

Prof. Dr. Fernando Santiago dos Santos (Suplente)
Instituto Federal de São Paulo (IFSP)

Prof. Dr. Alisson Rodrigo Souza Reis (Suplente)
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Dedico este trabalho aos meus filhos Sarah, Êmeli e Miguel, e aos meus netos Artur e Maitê, na esperança de que possam apreciar mais profundamente a biodiversidade amazônica, um tesouro de cores, aromas, texturas e sabores. Desejo que o respeito por todas as formas de vida e a curiosidade estejam presentes em vocês. Que cultivem o conhecimento necessário para uma exploração consciente e respeitosa da riqueza que Gaia, nossa Terra, oferece.

AGRADECIMENTOS

Na minha opinião, esta é a seção mais prazerosa de escrever, é o momento que podemos expressar o valor do trabalho que realizamos, a ajuda do outro, o nosso esforço em perseverar e ser resiliente frente aos desafios enfrentados. Aqui, a escrita se torna o resultado da aprendizagem de nossa pesquisa, do apoio e da reciprocidade entre as críticas, correções e sugestões das pessoas que nos acompanharam. Assim, expresso minha gratidão àqueles que contribuíram para a concretização deste trabalho, especialmente às instituições e às pessoas:

Agradeço à Universidade Estadual de Feira de Santana e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais pelo suporte acadêmico e infraestrutura disponibilizados. Agradeço também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), Código de Financiamento 001, ao Projeto PROCAD-AM, Edital 21/2018, e ao Programa de Pós-Graduação (PROAP) pelo apoio financeiro. Agradeço também aos funcionários administrativos e de apoio, cujo trabalho nos bastidores é fundamental para o sucesso da vida acadêmica.

À Norte Energia S.A., agradeço pela coleta e disponibilidade de registros de dados fenológicos (2012 a 2018) e pela liberação de acesso às matrizes monitoradas na ADA Belo Monte. Agradeço ainda à Universidade Federal do Pará, campus de Altamira, e aos membros do Laboratório de Biotecnologia (BIOTEC) pela colaboração e suporte técnico, especialmente à Profa. Dra. Raírys Cravo Herrera, pelo incentivo e apoio com equipamentos de campo. Aos identificadores parobotânicos (mateiros) meu profundo agradecimento. Sem a sua disposição em acompanhar nas expedições de campo, meu trabalho não teria alcançado tantos resultados. Cada história e cada contribuição foram valiosas para a construção do conhecimento científico.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Lenaldo Muniz de Oliveira, expresso minha profunda gratidão por sua paciência, sabedoria e incentivo contínuo ao longo de minha jornada acadêmica. Agradeço também aos meus coorientadores, Profa. Dra. Ligia Silveira Funch e Prof. Dr. Diogo Souza Bezerra Rocha, pelo suporte especializado e orientação dedicada. Ao meu professor de História Gilmar Mendes que no ano de 1998, quando eu cursava o magistério me falou da existência do pau-cravo, na época não acreditei que fosse possível a existência de uma planta que agregasse as características do cravo e da canela. A professora Daniela Santana Nunes, taxonomista e curadora do Herbário Padre José Maria Albuquerque (HATM) por auxiliar na identificação do material botânico.

Aos meus amigos da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS/PA) e da Secretaria Estadual de Educação (SEDUC/PA), bem como aos meus colegas da UEFS, que foram companheiros nessa aventura científica, trocando ideias e experiências. Um carinho especial à Brenda, amiga que tornou o conhecimento mais dinâmico. Um agradecimento especial aos membros da comunidade científica que nos entrecruzamentos possibilitado pelas conferências e simpósios apontaram novas perspectivas e conhecimentos ampliando visão de mundo e abrindo novos caminhos para minha pesquisa. Estendo os agradecimentos aos colegas de outras instituições e países que com suas perspectivas e colaborações enriqueceram minha pesquisa, a troca de conhecimentos além das fronteiras acadêmicas foi essencial para ampliar minha visão de mundo e fortalecer minha rede de contatos profissionais.

Aos membros da banca de qualificação, que estão aqui também como membros da banca de doutoramento, agradeço por toda a contribuição sugerida nos pareceres escritos e verbalizada no ato da qualificação. O olhar crítico e acolhedor desses diferentes pesquisadores foi o impulso necessário para a melhoria da primeira versão apresentada na qualificação, para esta que agora estou entregando. Aos membros da banca de defesa da tese, meu agradecimento por disponibilizar seu tempo, que é precioso, pois cada minuto dele carrega a história de vida da construção de um cientista. Ao ler uma tese, busca-se em sua memória todo o conhecimento adquirido para contribuir com o pesquisador que está à sua frente. Fazer ciência é isso: colaboração, descobertas, inovação. E quem não valoriza é porque não teve a oportunidade de ser apresentado a este mundo encantador.

Agradeço a Deus por me guiar e fortalecer em cada etapa. Aos meus pais, irmãos, e a toda minha família que me apoiaram durante toda essa jornada, das mais diversas formas. Cada um à sua maneira e dentro de suas possibilidades. Aos meus filhos e marido, vocês foram meu porto seguro, minha força e minha motivação para superar cada obstáculo, obrigada pela compreensão nos momentos que me fiz ausente, e por celebrarem comigo cada conquista. Expresso aqui minha gratidão mais profunda.

MEMORIAL DE DOUTORAMENTO

Desde o início da minha jornada de doutoramento, compreendi a importância fundamental de escolher um orientador adequado. Sabia que precisava de um profissional com expertise na área de meu interesse, alguém que estivesse disposto a acolher e apoiar-me nessa caminhada. Considerei vários critérios, como a especialização do orientador na minha área de interesse, pois essa expertise seria essencial para me ajudar a lidar com momentos de incerteza e manter o foco e a motivação. Além disso, o alinhamento com o tema da minha pesquisa facilitaria a colaboração e o diálogo acadêmico, levando a um trabalho mais coeso e com maior probabilidade de sucesso.

Entendi também que um orientador experiente poderia me orientar não apenas sobre a pesquisa em si, mas também sobre aspectos relacionados ao desenvolvimento da minha carreira acadêmica, como publicações, participação em conferências e construção de uma rede profissional. A construção de relações de confiança se mostrou fundamental nesse processo, pois a relação entre orientador e orientando é baseada na confiança mútua. Um orientador disposto a acolher e apoiar o doutorando cria um ambiente propício para o desenvolvimento de uma relação produtiva e de confiança, essencial para o progresso da pesquisa.

Foi nesse contexto que escolhi o Prof. Dr. Lenaldo Muniz de Oliveira como meu orientador. Ele sempre me acolheu com palavras em minhas diversas crises e contribuiu impecavelmente com minha evolução como pesquisadora na Amazônia. Eu sabia que me orientar seria um desafio na sua carreira profissional, especialmente quando, durante a entrevista, fui convidada a compor sua equipe de pesquisa consolidada com *Lippia* no serrado brasileiro. No entanto, reivindiquei e sugeri investigar uma planta da Amazônia, mesmo sem ter clareza sobre qual espécime. Fiz essa sugestão tentando me aproximar da sua linha de pesquisa, pois sempre tive convicção de que minha missão de vida está voltada para a Amazônia.

Eu sou uma pessoa muito sensível, e sua área me inspirou liberdade de ir além. Foi então que em nossa primeira conversa fui “apresentada” ao *D. caryophyllaceum*, eu exclamei: sou da Amazônia, mas não conheço essa espécie! Ledo engano! Eu não sabia o nome científico da espécie, mas já havia me apaixonado por ela no primeiro contato que tive, no primeiro campo para identificação da espécie que iria trabalhar no mestrado quando o mateiro me apresentou uma folha. Ali pensei em mudar meu objeto de pesquisa, mas fui desencorajada a estudar, pelo seu relato, quando informou da escassez deste espécime para realizar pesquisa. Ele, com seus

53 anos percorrendo as matas da Amazônia só sabia da existência daquele indivíduo, que acabara de me apresentar.

Então com o nome científico sugerido pelo senhor fui conversar com a orientadora do mestrado Profa Dr. Rairys Cravo Herrera sobre a espécie. Ela informou que tinha recentemente aprovado um projeto de pesquisa na CAPES para investigar *D. caryophyllaceum*. Alinhei com ela o contato de uma pessoa que sabia o local exato de uma pequena população e em 2019 parti em busca de conhecer a espécie para escrever o projeto de pesquisa que defendo agora.

Quando cheguei no campo e peguei a primeira folha em minhas mãos, reconheci de imediato pelo olfato que *D. caryophyllaceum* era a planta que gostaria de ter investigado no mestrado. O entusiasmo foi grande! Gravei vídeo, tirei fotos e me reconheci na espécie. Daquele momento em diante tive uma certeza: é com essa espécie que irei realizar minha pesquisa de doutorado. Escrevi o projeto de pesquisa direcionado para linha de pesquisa do meu futuro orientador, denominado: ESTUDO ECOGEOGRÁFICO E CARACTERIZAÇÃO ANATÔMICA E FITOQUÍMICA DE POPULAÇÕES REMANESCENTES DE *Dicypellium caryophyllaceum*: UMA ESPÉCIE PRATICAMENTE EXTINTA NA AMAZÔNIA. Apesar de não conhecer as técnicas para realizar um estudo ecogeográfico e uma caracterização fitoquímica, para amenizar um pouco minha insegurança inseri a identificação anatômica, esta já havia adquirido experiência no mestrado com outras plantas.

Fui movida por uma única força: a espécie! Uma certeza dominou o meu ser, qualquer coisa que eu me propusesse a fazer com aquela espécie eu conseguiria. Assim, defendendo esse projeto de pesquisa fui aprovada na seleção de doutorado. Eis que chegou à pandemia da COVID 19, os cortes orçamentários direcionados pelo governo vigente, inviabilizaram a compra de materiais de laboratório para realização da pesquisa, nesse contexto se estabeleceram vários *lockdown*, inviabilizando a continuidade com essa temática, uma vez que faltavam reagentes e recursos para conserto de equipamentos. Foram anos de uma realidade sombria vivenciada por quem esteve na academia.

Paralelamente a todo esse esforço, continuei indo a campo com regularidade para acompanhar o desenvolvimento da espécie e coletar o material que seria posteriormente utilizado nas análises laboratoriais. Passei a anotar o comportamento da planta ao longo dos meses, na época, com o objetivo de identificar quais seriam os melhores períodos para a coleta final do material fitoquímico e anatômico. Mês a mês, registrei tudo que meus olhos conseguiam observar nos indivíduos e categorizei as observações utilizando a escala de

Fournier. No entanto, o estudo fenológico da espécie não fazia parte do meu objeto de pesquisa, pois esta não era a área de atuação do meu orientador e eu não possuía o conhecimento científico adequado para conduzir as análises estatísticas pertinentes a uma pesquisa com esse tema. Foi quando cursei a disciplina de fenologia com a professora Dra. Lígia Silveira Funch que obtive a base científica necessária para realizar uma pesquisa científica na área da fenologia.

Encontrei o que poderia fazer com os dados que já possuía em mãos. Conversei com meu orientador sobre o *insight* e ele concordou, com a ressalva de que seria possível, se a professora Lígia aceitasse ser minha co-orientadora. Longos diálogos foram estabelecidos com a professora; alinhamos a metodologia, fiz demonstração dos resultados que já possuía e abandonei a fitoquímica porque não havia recursos para consertar o equipamento que se encontrava avariado. Continuei com o propósito da anatomia, mas em outra disciplina ministrada pela professora Lígia e pelo professor Diogo, fui apresentada à modelagem. Foi amor à primeira vista; pensei: 'É isso que eu preciso fazer.' Identificar quais são os possíveis lugares onde a espécie pode ser encontrada, e isso se tornou o meu propósito. No último dia da disciplina, perguntei ao professor se ele aceitava ser meu co-orientador; ele aceitou. Estou contando isso para que vocês entendam a grandeza do meu orientador

Ele aceitou orientar uma futura doutoranda mulher, mãe, avó e que tinha dois vínculos empregatícios (professora e técnica em gestão de meio ambiente/Bióloga) e que no decorrer do doutorado mudou o projeto de pesquisa para temas que enveredava a outro campo de pesquisa. Não consigo expressar em palavras a tamanha gratidão que sinto por ele ter sido meu orientador no doutorado, gratidão essa que se estende aos coorientadores Profa. Dra. Lígia Silveira Funch e Prof. Dr. Diogo Souza Bezerra Rocha.

Para concluir o assunto da anatomia, registro que foi como arrancar parte de mim o ato de renunciar o material tão cuidadosamente coletado. Isso só ocorreu pela impossibilidade de encontrar estrutura física, como equipamentos e reagentes nos laboratórios aos quais eu tinha acesso, que pudessem viabilizar as análises. Essa situação ocorreu em detrimento do sucateamento em que as instituições de ensino e pesquisa foram submetidas no Governo Bolsonaro.

Sempre estive na minha mente que a experiência do mestrado havia sido um momento de superação, pois envolveu o trabalho com uma espécie florestal amazônica, no qual realizava monitoramento em campo das atividades fisiológicas e, em laboratório, desvendava a anatomia da espécie. Tudo isso foi feito sem liberação dos trabalhos, utilizando finais de semana, feriados

e férias para dedicação integral ao propósito da pesquisa. Mas, como Deus age em nossas vidas, logo que fui aprovada no processo seletivo do mestrado, também fui contemplada com uma gravidez não planejada. Realizar uma pesquisa, de início com uma gestação e no período de campo com um bebê recém-nascido, enquanto trabalhava em dois empregos, sempre foi para mim um claro ato de superação. O doutorado, porém, representou um momento de 'transcendência' em minha vida; gostaria de saber expressar em palavras a grandeza do aprendizado que a experiência me proporcionou. Esse aprendizado não se restringiu às normas acadêmicas e ao ato de fazer ciência. Foi um aprendizado amplificado que permeou todas as facetas da minha vida, marcado por momentos de extremo prazer e entrega nas incontáveis expedições de campo na floresta Amazônica. Quando digo incontáveis, é porque foram de fato inúmeras. Eu poderia estimar um número; ele se aproximaria de 100? Não, certamente ultrapassaria as 100 expedições, porque sou um ser da floresta, nasci na floresta, e a floresta é meu descanso e minha recarga de baterias, minha válvula de escape, é onde me sinto íntegra e integrada.

Mas retomando a essência da transcendência, ela se deu por vários motivos: quando finalmente consegui a liberação da SEDUC para me dedicar aos estudos, não havia mais a obrigatoriedade de estar em sala de aula ministrando aulas em horários definidos. Nos demais horários, também tive a liberdade de não precisar pensar e planejar as atividades envolventes e inovadoras que sempre permearam minha prática docente. Pensei: 'Que legal! Dessa vez vai ser diferente, vai ser leve, vou conseguir.' No entanto, ainda tinha meu outro trabalho na SEMAS, que demandava minha atenção presencial. E quando percebi, as disciplinas *on-line* haviam começado em virtude da pandemia da COVID-19, e me vi tendo que estar, ao mesmo tempo, em sala de aula no doutorado e no trabalho em formato presencial. Simplesmente não sabia como lidar com a situação de estar ao mesmo tempo em dois lugares diferentes. Foi aterrorizante! Quando, enfim, já em 2021, obtive a liberação da SEMAS para trabalhar em *home office*, pensei: 'Vou poder gerenciar o meu tempo pela primeira vez, pois trabalho desde os meus 18 anos, período que passei no meu primeiro concurso público.' A sensação foi maravilhosa, de que agora eu teria mais tempo para me dedicar a pesquisa e aproveitar. Mas foi um ledô engano de um iniciante no doutorado!

De fato esse 'tempo', me proporcionou a oportunidade de ter um encontro comigo mesma. E nesse encontro eu obtive acesso a memórias tão traumáticas (período de pandemia) que fui capaz de treinar meu cérebro inicialmente de forma consciente falando para mim mesma que iria esquecer aquelas memórias acessadas, para continuar a viver, e de fato elas foram

enviadas para o meu subconsciente por uma questão de sobrevivência ficou latente, guardado no meu inconsciente. Mas como nossas ações são moldadas por nossas experiências, essas memórias atuavam em mim levando-me a tomada de atitudes automatizadas que eu internalizei como parte de minha personalidade. Então, essas memórias vieram à tona e tive que lidar justo nesse momento de doutorado. Agora compreendo por que elas surgiram. Foi nesse período que tive a oportunidade de estar comigo mesma, em um momento de reclusão, mas também em um momento que já existiam profissionais qualificados (terapeutas, psicólogos e psiquiatras) aqui na Amazônia capazes de me oferecer de forma presencial o suporte emocional necessário para lidar com minhas feridas.

A jornada do doutorado é um caminho repleto de desafios, e a saúde mental é um aspecto que merece atenção especial. A pressão por resultados, e a carga de trabalho intensa podem afetar profundamente o bem-estar dos pós-graduandos e professores. É crucial reconhecer a importância do autocuidado e do apoio emocional nessa jornada. Agradeço aos profissionais de saúde mental que me acompanharam, oferecendo orientações valiosas para enfrentar os momentos de ansiedade e estresse, ajudando na ressignificação de traumas latentes e intermediando o autoconhecimento que resultou em amadurecimento emocional para chegar até aqui e submeter a tese a uma banca avaliadora.

Nos primeiros anos do doutorado, fui uma mulher multifacetada: concentrei as habilidades nos seis meses iniciais de atuar como professora na SEDUC, período necessário para a oficialização de Licença Aprimoramento; como analista ambiental (SEMAS); e pesquisadora (UEFS). Além disso, desempenhei os papéis de dona de casa; mãe de uma mulher adulta que perdeu um filho tão esperado e que, depois, deu à Luz a um tesouro; de uma adolescente que buscava construir sua própria personalidade; e de uma criança em fase de alfabetização em tempos de *lockdown*; além de filha de uma idosa que requer cuidados especiais. E, finalmente, quando qualifiquei, comemorei, pensando: 'Uma etapa vencida. Falta pouco!' Nesse momento, finalizou-se o contrato da minha estagiária no trabalho da SEMAS, Layza, que ao longo de dois anos foi minha extensão, proporcionando-me, com suas habilidades um ganho de tempo extraordinário no desempenho do trabalho. Eu ficava com as análises dos processos em *home office* e ela adquiriu a habilidade de atender os interessados na demanda presencial. A você, minha querida, meus sinceros agradecimentos.

Nessa altura da tese, encontrava-me com seis meses para finalizar a escrita, tentando atender todas as recomendações sugeridas pela banca. Além disso, enfrentei a negativa do artigo

submetido para publicação em uma revista renomada que eu desejava muito. Como uma boa virginiana 'perfeccionista', eu queria atender a tudo o que foi sugerido pela banca com excelência. Desejava reescrever o artigo para tê-lo publicado, pois todas as observações foram muito pertinentes e faziam muito sentido para a melhoria do produto escrito a ser entregue. Nesse processo, finalizou o contrato da estagiária na SEMAS. As demandas profissionais, acadêmicas e do papel de mulher no contexto familiar resultou em *burnout*. Fui obrigada a trancar o semestre para tratamento de saúde. Destaco esses fatos para chamar a atenção para o fato de que, apesar de toda a revolução feminista do último século, o sistema patriarcal ainda é uma realidade persistente que continua afetar mulheres e homens de diferentes maneiras.

Para mim, o doutorado foi uma jornada de autoconhecimento, superação e crescimento, não apenas como pesquisadora, mas como pessoa. As lições aprendidas transcendem os muros da academia e se refletem em todas as áreas da vida. Agradeço aos momentos difíceis, pois eles me ensinaram resiliência e me mostraram a força que eu possuí para superá-los. Este doutorado é mais do que um título; é o símbolo de uma jornada repleta de aprendizados, descobertas e transformações. Encerro esta etapa com a certeza de que cada desafio enfrentado foi uma oportunidade para evoluir e contribuir para um mundo melhor através da ciência. Seguirei em frente, levando as lições aprendidas e a inspiração recebida para novos desafios e conquistas. É com o coração cheio de gratidão que me despeço desta fase, levando comigo as memórias, os ensinamentos e a certeza de que o conhecimento é uma ferramenta poderosa para transformar realidades.

É com extrema veracidade que chego até aqui e digo: Eu queria ter feito mais! Eu queria ter feito melhor! No entanto, o que entrego a vocês, aos amazônidas é o meu melhor, fruto das experiências vivenciadas no período de abril de 2020 a junho de 2024. Expresso minha gratidão ao Universo por ter chegado até este ponto, pois não sou capaz de citar os nomes de todos que me ajudaram; assim, 'TODOS' estão incluídos na palavra 'UNIVERSO'! Que possamos continuar a trilhar caminhos que nos levem ao conhecimento, à igualdade e à transformação equitativa da sociedade.

O conhecimento empírico sobre *Dicypellium caryophyllaceum*, adquirido nesses quatro anos de pesquisa, é maior do que o conhecimento científico expresso nas próximas páginas da tese. Com o objetivo de ampliar e sistematizar os conceitos pré-definidos pela ciência e, então torná-los públicos, foi elaborada e submetida uma proposta de Pós-doutorado junto aos Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Conselho

Nacional das FAPs à Pesquisa (CONFAP). A proposta faz parte da chamada projetos em expedições científicas: Iniciativa Amazônia+10. O projeto intitulado “Resgate e Valorização do Pau-cravo (*Dicypellium caryophyllaceum*, Lauraceae): Estratégias Integradas para Conservação e Desenvolvimento Sustentável na Amazônia” foi submetido para a Chamada CNPq/CONFAP nº 34/2023.

RESUMO

Dicypellium caryophyllaceum (Mart.) Nees (pau-cravo) é uma espécie arbórea da família Lauraceae que ocupa o sub-bosque da floresta tropical e está criticamente ameaçada de extinção. Com apenas 249 plantas adultas registradas no Estado do Pará, na Amazônia Legal, a espécie está listada como ameaçada pela IUCN e na Portaria nº 148/2022 do Brasil. Historicamente abundante, a drástica redução de suas populações deve-se à intensa exploração para extração de sua casca durante o período colonial do Brasil, devido às suas propriedades aromáticas e medicinais. No primeiro capítulo foi registrado uma série fenológica de oito anos das fenofases reprodutivas de uma população localizada na área diretamente afetada pela usina hidrelétrica Belo Monte, na Amazônia brasileira, com uma amostra de 30 indivíduos. As observações foram realizadas entre 2015 e 2023 e incluíram o índice de Oscilação Sul (ENOS), abrangendo períodos neutros e anomalias climáticas de *El Niño* e *La Niña*. O objetivo foi identificar os ciclos fenológicos reprodutivos da espécie e determinar quais variáveis climáticas impactam sua fenologia reprodutiva. A estatística circular detectou tendências sazonais, e a análise de componentes principais revelou que o fotoperíodo e a umidade elevada são os principais gatilhos para o início da fenofase reprodutiva. Observou-se sincronia nos ciclos reprodutivos da espécie, com sobreposição das fenofases: botões florais, flores, frutos imaturos e frutos maduros com dispersão de sementes. A análise indicou um ciclo reprodutivo anual unimodal, ajustando-se às variações interanuais das chuvas, com um atraso de dois meses em anos de *El Niño* forte e um adiantamento de dois meses em anos de *La Niña* moderado, variando a data média do início reprodutivo entre outubro e fevereiro do ano subsequente. Os resultados fornecem informações sobre as respostas reprodutivas da espécie, contribuindo para o entendimento dos seus mecanismos fisiológicos e endógenos, passíveis de subsidiar ações de conservação. No segundo capítulo, o objetivo foi integrar novos registros de campo, incluindo descobertas em municípios onde a espécie não havia sido previamente documentada, e aplicar modelagem de distribuição potencial. Os registros de ocorrência foram obtidos de herbários e bases de dados como GBIF, JABOT e Species Link. Expedições em propriedades particulares aumentaram a qualidade preditiva do modelo, com material botânico coletado e incorporado ao Herbário Padre José Maria Albuquerque (HATM). Utilizando o algoritmo Maxent, foram incluídas 19 variáveis bioclimáticas do WorldClim, além de dados edáficos e topográficos do SoilGrids. A análise de correlação foi aplicada para minimizar a multicolinearidade. A projeção do modelo indicou que 36% das áreas de adequabilidade estão em áreas protegidas, enquanto 64% estão em terras particulares ou públicas não destinadas. Foram identificados 74 novos espécimes, incluindo registros inéditos nos municípios de Brasil Novo, Medicilândia e Pacajá. Esses resultados reforçam a necessidade de políticas públicas para intensificar a busca por novos registros de ocorrência e promover a conservação da espécie na Amazônia.

Palavras-chave: Biodiversidade da Amazônia. Pau-cravo. Fenologia reprodutiva. Conservação de espécies nativas. Novos registros.

ABSTRACT

Dicypellium caryophyllaceum (Mart.) Nees is a tree species in the Lauraceae family that occupies the understory of the tropical forest and is critically endangered. With only 249 adult plants recorded in the state of Pará, in the Legal Amazon, the species is listed as threatened by the IUCN and in Brazil's Portaria No. 148/2022. Historically abundant, the drastic reduction in its populations is due to intense exploitation for bark extraction during Brazil's colonial period, due to its aromatic and medicinal properties. In the first chapter, an eight-year phenological series of the reproductive phenophases of a population located in the area directly affected by the Belo Monte hydroelectric plant in the Brazilian Amazon was recorded, with a sample of 30 individuals. Observations were conducted between 2015 and 2023 and included the Southern Oscillation Index (ENSO), covering neutral periods and climate anomalies of El Niño and La Niña. The aim was to identify the reproductive phenological cycles of the species and determine which climatic variables impact its reproductive phenology. Circular statistics detected seasonal trends, and principal component analysis revealed that photoperiod and high humidity are the main triggers for the onset of the reproductive phenophase. Synchrony in the reproductive cycles of the species was observed, with overlap of the phenophases: flower buds, flowers, immature fruits, and mature fruits with seed dispersal. The analysis indicated an unimodal annual reproductive cycle, adjusting to interannual variations in rainfall, with a two-month delay in strong El Niño years and a two-month advance in moderate La Niña years, varying the average start date of reproduction between October and February of the following year. The results provide information on the reproductive responses of the species, contributing to the understanding of its physiological and endogenous mechanisms, which can support conservation actions. In the second chapter, the objective was to integrate new field records, including findings in municipalities where the species had not previously been documented, and apply potential distribution modeling. Occurrence records were obtained from herbariums and databases such as GBIF, JABOT, and Species Link. Expeditions on private properties increased the model's predictive quality, with botanical material being incorporated into the Padre José Maria Albuquerque Herbarium (HATM). Using the Maxent algorithm, 19 bioclimatic variables from WorldClim were included, as well as soil and topographic data from SoilGrids. Correlation analysis was applied to minimize multicollinearity. The model projection indicated that 36% of the suitable areas are in protected areas, while 64% are on private or public lands not designated. Seventy-four new specimens were identified, including novel records in the municipalities of Brasil Novo, Medicilândia, and Pacajá. These results reinforce the need for public policies to intensify the search for new occurrence records and promote species conservation in the Amazon.

Keywords: Biodiversity of the Amazon. Clove Tree. Reproductive Phenology. Conservation of Native Species. New Records.

Sumário

INTRODUÇÃO GERAL	13
REVISÃO DE LITERATURA	16
Amazônia Legal e Áreas protegidas	16
Modelagem preditiva como subsídio para conservação de espécies nativas.....	17
Fenologia Vegetal	18
As Plantas Aromáticas na Amazônia	20
Família Lauraceae	22
<i>Dicypellium caryophyllaceum</i> (Mart.) Nees.....	23
REFERÊNCIAS	28
CAPÍTULO 1: A INFLUÊNCIA DE FATORES LOCAIS E GLOBAIS (<i>El Niño</i> OSCILAÇÃO SUL) NA FENOLOGIA REPRODUTIVA DO PAU-CRAVO, UMA ÁRVORE DE ESPECIARIA AMAZÔNICA AMEAÇADA DE EXTINÇÃO	31
1. INTRODUÇÃO	32
2. MATERIAL E MÉTODO.....	34
2.1 Área de estudo.....	34
2.2 Fenologia	35
2.3 Dados ambientais	36
2.4 Análise de dados	37
3. RESULTADOS	38
3.1 Padrões fenológicos reprodutivos	38
3.2 Efeitos ambientais na fenologia de <i>Dicypellium caryophyllaceum</i>	41
4. DISCUSSÃO	44
5. CONCLUSÃO	48
6. AGRADECIMENTOS	49
7. REFERÊNCIAS	49
CAPÍTULO 2: NOVOS REGISTROS DE <i>DICYPELLIUM CARYOPHYLLACEUM</i> (MART.) NESS, LAURACEAE, EM TERRITÓRIOS DA AMAZÔNIA: OPORTUNIDADES E DESAFIOS PARA A CONSERVAÇÃO	60
1. INTRODUÇÃO.....	61
2. MATERIAL E MÉTODO.....	63
2.1 Área de estudo, base de dados utilizada e critérios de seleção de amostras.....	63
2.2 Modelagem de Distribuição Potencial.....	66

2.3 Análise Espacial da Distribuição Potencial e Identificação de Áreas Prioritárias para a Conservação.....	67
2.4 Estratégias de Manejo e Reflorestamento para <i>Dicypellium caryophyllaceum</i> com base no Cadastro Ambiental Rural.....	68
2.5 Desenvolvimento de Recomendações para Gestores de Conservação e Formuladores de Políticas Públicas	68
3. RESULTADOS	68
3.1 Modelagem de distribuição potencial de <i>Dicypellium caryophyllaceum</i>	68
3.2 Estado de conservação das áreas de adequabilidade ambiental.....	70
3.3 Áreas prioritárias para manejo e/ou reflorestamento	74
3.4 Transformando o Mapa de Distribuição de <i>Dicypellium caryophyllaceum</i> com Novos Registros em Áreas Desconhecidas	75
4. DISCUSSÃO	75
4.1 Importância ecológica, econômica e conservação do pau-cravo na Amazônia	75
4.2 Adequabilidade ambiental dos imóveis rurais.....	80
5. CONCLUSÃO	83
6. REFERÊNCIAS	84
CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
ANEXO A – Mapa de Solos da Área de Influência Indireta (Belo Monte)	98

INTRODUÇÃO GERAL

O Domínio Fitogeográfico da Amazônia, o maior entre o Bioma das Florestas Úmidas, possui uma biodiversidade de grande relevância para o planeta. Somente entre as angiospermas foram identificadas 12.000 espécies nativas, das quais 2.548 espécies são endêmicas (Flora e Funga do Brasil, 2024). Considerando que este domínio fitogeográfico é o maior em extensão territorial do planeta, estima-se que o número de espécies identificadas possa aumentar significativamente. No Brasil, a Amazônia Legal abrange 58,93% do território nacional, incluindo regiões remotas e pouco estudadas, que representam grandes vazios geográficos em termos de pesquisa (Carvalho et al., 2023).

Há séculos, a Amazônia tem suas riquezas exploradas economicamente. Dentro dessa floresta, as áreas não inundadas são o habitat de uma Lauraceae, *Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees, uma árvore de porte médio, popularmente conhecida como pau-cravo, canela-cravo ou cravo-do-maranhão. Durante o período colonial, a espécie *D. caryophyllaceum* apresentava ampla distribuição geográfica, com registros de ocorrência nos estados do Amazonas, Pará, Rondônia e Maranhão (Almeida, 2009; Moraes, 1860; Noronha, 2006). Era amplamente utilizada e apreciada por suas propriedades aromáticas e medicinais, o que levou a uma exploração excessiva, quase resultando em sua extinção (Chambouleyron, 2022). A árvore era cortada e a casca retirada e exportada para a extração do eugenol, substância extraída prioritariamente do tronco (Ferreira, 1983).

O estudo fitoquímico realizado por Alencar et al. (1971) descreve que a composição química do óleo essencial de *D. caryophyllaceum* atinge a proporção de 95,5% de eugenol, uma substância que apresenta diversas propriedades medicinais e farmacológicas, incluindo atividades anticancerígenas, antivirais, antifúngicas, anti-inflamatórias e antioxidantes (Ulanowska; Olan, 2021).

O extrativismo predatório ao qual a espécie foi submetida reduziu significativamente sua distribuição e densidade. Em 2009, foi registrada a primeira população descrita desde o século XVIII, no município de Juruti, no estado do Pará, com 189 indivíduos (Salomão e Rosa, 2012). Em 2014, os mesmos autores integraram a equipe que avaliou os impactos ambientais do empreendimento hidrelétrico de Belo Monte, identificando na Volta Grande do Xingu, área de influência direta da Usina Hidrelétrica Belo Monte (ADA Belo Monte), em Vitória do Xingu, no estado do Pará, uma comunidade de *D. caryophyllaceum* com 21 indivíduos. A raridade da espécie levou à sua inclusão na Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de

Extinção, na categoria “criticamente em perigo”, conforme publicado na portaria do MMA nº 443/2014 e atualizada pela Portaria 148/2022 (BRASIL, 2022), e na União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2024).

Estudos de fenologia são fundamentais para a conservação da espécie, pois fornecem informações sobre os aspectos reprodutivos que compõem parte do conhecimento ecológico essencial para sua preservação (Bogdziewicz et al., 2023). A descrição da fenologia de nível individual é crucial, pois indica a funcionalidade de uma população (Morellato et al., 2016), enquanto séries temporais longas fornecem dados para o estudo de mecanismos fisiológicos, como a resposta a sinais ambientais ou ritmos endógenos da espécie (Cano-Barbacid; Cano Sánchez, 2020).

Neste contexto, desvendar a fenologia de uma espécie e priorizar estratégias de conservação *in situ*, que garantam a variabilidade intraespecífica, são medidas fundamentais para subsidiar a sua conservação. Essas estratégias incluem práticas de reposição, através do enriquecimento das áreas de ocorrência natural e do manejo/reflorestamento de áreas identificadas como ambientalmente adequadas para a espécie. A identificação dessas áreas é feita a partir da extrapolação das características ambientais dos locais de ocorrência conhecidos (Figueiredo; Figueiredo, 2019), permitindo a geração de um modelo preditivo de distribuição geográfica para *D. caryophyllaceum*. Esse modelo, baseado nos padrões presentes nos dados disponíveis, possibilita prever padrões e tendências ocultas nos dados, que podem passar despercebidos em análises tradicionais, permitindo insights mais profundos, facilitando a tomada de decisões baseadas em previsões mais precisas sobre a distribuição e comportamento das espécies (Santos, 2022), um recurso valioso para compreender a distribuição das populações remanescentes (Buechling; Tobalske, 2011).

Objetivo Geral

Identificar áreas potenciais de distribuição de *Dicypellium caryophyllaceum* indicadas para a conservação e reintrodução da espécie no Domínio Fitogeográfico da Amazônia e investigar os ciclos fenológicos de uma população remanescente na Bacia Hidrográfica do Baixo Xingu.

Capítulo 1: Objetivos Específicos

- Identificar os padrões de floração e frutificação de *Dicypellium*

caryophyllaceum considerando as frequências, durações e sazonalidade dessas fenofases;

- Investigar como a disponibilidade de luz e água afetam a fenologia reprodutiva da espécie;
- Averiguar as variações interanuais na floração e frutificação associada aos fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña*

Capítulo 2: Objetivos Específicos

- Delinear áreas de alta adequabilidade ambiental para *D. caryophyllaceum* dentro de Unidades de Conservação, Terras Indígenas e Áreas Particulares cadastradas no Cadastro Ambiental Rural (CAR);
- Identificar áreas prioritárias para o manejo e/ou reflorestamento de *D. caryophyllaceum*, destacando zonas de alta adequabilidade ecológica e viabilidade socioeconômica;
- Propor recomendações para políticas públicas e práticas de conservação baseadas nos resultados da pesquisa, com foco na conservação de *D. caryophyllaceum* e na otimização dos benefícios ambientais e sociais.

REVISÃO DE LITERATURA

Amazônia Legal e áreas protegidas

A Amazônia situa-se na região equatorial e é a maior floresta tropical úmida do mundo, possui um clima quente e úmido, com precipitação média de 2.300 mm ao ano. A vegetação predominante é a Floresta Ombrófila Densa, que corresponde a 41,67% do bioma, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2020). A floresta possui uma composição heterogênea, com fitofisionomias que podem ser classificadas de acordo com a proximidade a cursos d'água: matas de igapó, matas de várzea e matas de terra firme. A espécie *D. Caryophyllaceum* tem como habitat matas de terra firme (FLORA DO BRASIL, 2020). Essa grande variedade de espécies possibilita a utilização desse recurso por diferentes setores como a alimentação, artesanatos, madeira, cosméticos, biotecnologia e medicina (Almeida et al., 2023; Skirycz et al., 2016; Sist e Ferreira, 2007; Triggs et al., 2023). No entanto, Pitman e Jorgensen (2002) chamam a atenção para o fato de que muitas espécies, comunidades e ecossistemas estão sob constante ameaça, principalmente pela ação antrópica, decorrente da ampliação da ocupação territorial amazônica, que têm como consequência a crescente destruição de habitats naturais, ocasionando um empobrecimento na biodiversidade.

Neste contexto, as áreas protegidas desempenham um papel fundamental na conservação da biodiversidade, possibilitando a preservação do ecossistema, conservando espécies ameaçadas e mantendo a conectividade ecológica entre diferentes habitats. No Brasil há 2.426.789 km² de áreas protegidas. Desses, 1.174.258 km² estão na Amazônia, o que corresponde a 23,5% desse território. Essas áreas estão distribuídas em áreas de proteção integral e de uso sustentável, em Unidades de Conservação Federais, Estaduais e Municipais, regularizadas pela Lei 9.985/00 (BRASIL, 2000). O Estado do Pará possui a maior extensão de Unidades de Conservação (UCs) da Amazônia (403.155 km²), com 32,3% do território protegido (IMAZON, 2012).

Outra importante fonte de proteção ambiental regulamentada pelo Código Florestal Brasileiro, Lei 12.651/12 (BRASIL, 2012), são as Áreas de Preservação Permanente (APP) que possuem características ambientais importantes para preservar a integridade dos recursos naturais; e as áreas de Reserva Legal (RL), localizadas dentro de propriedades rurais que devem ser mantidas com cobertura vegetal nativa. A mesma lei criou o Cadastro Ambiental Rural (CAR) no âmbito do Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (SINIMA), que surgiu como um instrumento para o mapeamento das informações sobre as propriedades rurais,

como a localização, a área total, as áreas de uso alternativo do solo, reserva legal, APP e outras características ambientais.

Na Amazônia, em propriedades com uso do solo consolidada, as áreas de reserva legal (RL) devem compor uma cobertura florestal de 50% da propriedade, enquanto as áreas não consolidadas devem contemplar uma cobertura florestal na proporção de 80% da propriedade. Nessas áreas é permitida a utilização racional dos recursos naturais, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável através do manejo (BRASIL, 2012). Já nas APP, assim como nas Unidades de Proteção Integral o objetivo maior é a preservação, que visa à integralidade e a perenidade dos ecossistemas.

Nestes termos, na Amazônia temos áreas protegidas destinadas a conservação¹ e a preservação² sob domínio do Estado (Unidades de Conservação, Áreas Militares e Terras Indígenas) e sob a posse legal de particulares (propriedades rurais). Ambas são objeto de pesquisa nessa tese e representam a mais eficiente estratégia para conservação da biodiversidade.

Modelagem preditiva como subsídio para conservação de espécies nativas

A pesquisa ecogeográfica é baseada nos dados associados com espécimes de herbários, coleções de germoplasma, literatura associada e outras pesquisas, sendo suplementada com a exploração de campo. Com essas informações, é possível definir um modelo de dados que podem ser usados para descrever estrutura e operações em um banco de dados, gerando modelos de distribuição de espécies (SDMs), também conhecidos como nicho ecológico (Sanchez; Osborne; Haq, 2010). Para espécies ameaçadas de extinção, como é o caso do *pau-cravo*, a modelagem têm sido uma ferramenta importante para entender a distribuição das populações remanescentes (Buechling; Tobalske, 2011).

Deste modo, vem sendo desenvolvidas várias técnicas de modelagem de distribuição geográfica de espécies, com grande utilidade na descoberta de padrões de distribuição potencial, uma vez que os algoritmos procuram por condições ambientais semelhantes àquelas onde a espécie foi encontrada, relacionando a distribuição de pontos de ocorrência com um conjunto

¹Nas leis brasileiras, significa proteção dos recursos naturais, com a utilização racional, garantindo sua sustentabilidade e existência para as futuras gerações.

²Visa à integridade e à perenidade de algo. O termo se refere à proteção integral, a “intocabilidade”.

multivariados de informações sobre o ambiente dos locais de ocorrência da espécie (Figueiredo; Figueiredo, 2019). Esses dados resultam em áreas potenciais onde as condições ambientais seriam propícias ao desenvolvimento da espécie, além disto, têm auxiliado na avaliação da distribuição geográfica, indicando a provável presença ou ausência da espécie no espaço geográfico (Peterson e Vieglais, 2001; Phillips et al., 2006)

Em linhas gerais, os estudos ecogeográficos com o auxílio da modelagem contribuem para o entendimento da dinâmica populacional das espécies nativas. O ato de identificar os ambientes dos sítios de ocorrência da espécie, através de pontos de coleta, fornece informações do espaço geográfico que podem ser projetadas por algoritmos, gerando modelos potenciais de distribuição de espécies (MPEs). Esses modelos podem ser uma ferramenta importante para compreensão da distribuição de espécies, na indicação de áreas prioritárias para conservação, como também na proposição de hipóteses sobre como as mudanças climáticas futuras podem afetar as espécies (Colombo e Joly, 2010; Siqueira e Peterson, 2003; Siqueira, 2005) ou auxiliando no desenvolvimento de estratégias para a conservação dos recursos genéticos vegetais ao indicar as áreas prioritárias para conservação (Santos, 2022), além de indicar áreas ecologicamente adequadas para espécies com valores comerciais e culturais (Gaikwad et al., 2011).

Estudo realizado por Terasawa (2019) com as espécies *Bertholletia excelsa* (Humb. e Bonpl.), *Cedrela fissilis* (Vell), *Cedrela odorata* L., *Heteropsis flexuosa* (Kunth) e da *Swietenia macrophylla* King), que são ameaçadas de extinção na Amazônia Legal, avaliou a distribuição geográfica através de modelagem preditiva e inferiu que nas áreas protegidas as espécies encontram-se abaixo das metas internacionais de conservação. As variáveis ambientais utilizadas no estudo demonstram um potencial de distribuição maior do que atualmente é encontrado na literatura. Outro modelo que utilizou o algoritmo Maxent para prever a distribuição preditiva de espécies comerciais ameaçadas (*Bertholletia excelsa*, *Manilkara huberi* Ducke, *Dicypellium caryophyllaceum* e *Aniba rosaeodora* Ducke) no estado do Pará, demonstrou que muitas áreas com potencial de ocorrência não estão inseridas em Unidades de Conservação (Gomes, 2012).

Fenologia Vegetal

A fenologia estuda eventos biológicos e cíclicos que acontecem durante a vida dos seres vivos e sua interação com fatores bióticos e abióticos (Funch et al., 2002; Morellato, et

al., 1990). A compreensão do ciclo reprodutivo das plantas é de fundamental importância para espécies nativas e ameaçadas (Morellato, et al., 2016).

A importância dos estudos fenológicos está na abrangência da dinâmica dos ecossistemas, ao compreender como o clima está correlacionado aos eventos cíclicos, como a queda foliar, brotamento, floração, frutificação, germinação e o sucesso de estabelecimento de espécies em seu habitat (Wright e Calderon 1995; Williams-Linera e Meave 2002; Tannus et al., 2006; Silva, 2021; Gonçalves, 2018). Também busca entender a relação da floração com polinizadores, da frutificação com dispersores de sementes, permitindo estimar quais animais dependem dos recursos vegetais de determinada espécie (Bawa et al., 2003), bem como pode facilitar ao entendimento sobre os mecanismos de especiação ou de extensão de uma espécie, fornecendo entendimento de ecologia e evolução de espécies e comunidades (Newstrom et al., 1994).

Nesse contexto, informações sobre a época em que ocorrem o brotamento, a queda foliar e a intensidade desses eventos fornecem dados sobre os processos que regem o crescimento da planta (Sophia, 2021; Reich, 1995), enquanto informações sobre floração, frutificação e o período de dispersão das sementes fornecem dados do processo reprodutivo (Newstrom et al., 1994).

Dessa forma, os eventos fenológicos cíclicos são mecanismos eficazes para monitorar as mudanças ambientais, pois manifestam de forma simples e confiável os efeitos das mudanças climáticas globais (Faria et al., 2016; Torres et al., 2013), uma vez que são eventos recorrentes do ciclo de vida.

Em se tratando de florestas, fatores abióticos, como temperatura, precipitação pluviométrica, umidade relativa do ar, insolação e fotoperíodo, tendem a determinar os processos fenológicos das espécies (Silva e Lameira, 2021). Diversos estudos relatam como as fenofases vegetais (brotamento, queda foliar, floração e frutificação) respondem aos impactos sofridos pelas mudanças de temperatura, precipitação, altitude e latitude (Polgar e Primack, 2011; Menezes, 2017). Para compreender como as plantas respondem às variações climáticas, normalmente, torna-se necessário o acompanhamento de séries temporais fenológicas de longo prazo (Cano Barbacil e Cano Sánchez, 2019).

Assim, o impacto das mudanças climáticas na fenologia reprodutiva das florestas tropicais ainda é pouco compreendido, em função da falta de dados fenológicos de longo prazo

(Nugroho e Numata, 2022; Chambers et al., 2013; Sakai e Kitajima, 2019). No entanto, sugere-se que as espécies tropicais são mais sensíveis às mudanças climáticas do que as espécies temperadas e boreais, porque evoluíram em áreas com menor variação ambiental sazonal (Janzen, 1967).

Dicypellium caryophyllacem é uma espécie de florestas tropicais e, nessas, devido à falta de estações definidas, determinar os padrões fenológicos é bem mais complexo do que em florestas temperadas (Pau et al., 2011). Devido a este fator, a maioria das espécies tropicais não apresenta sincronidade em seus eventos fenológicos, ou eles são de difícil reconhecimento (Bencke e Morellato, 2002). Na floresta Amazônica geralmente as espécies florescem no período seco ou entre o seco e chuvoso e a sua frutificação tende a ser sazonal (Arcos et al., 2013; Morellato et al., 2013).

Há décadas os padrões fenológicos de diversas espécies da família Lauraceae vem sendo avaliados (Magalhães e Alencar, 1979, Milanesi e Brack, 2019; Hansika et al., 2022), no entanto, informações fenológicas sobre o gênero *Dicypellium* são escassas e sobre a espécie *D. caryophyllaceum* são inéditas.

As Plantas Aromáticas na Amazônia

As ervas aromáticas e medicinais impulsionaram a colonização da Amazônia, na época do Brasil colônia, alcançando excelentes preços no mercado mundial (Barata, 2012), fato que impulsionou o conhecido ciclo das “drogas do sertão” ou “especiarias do Amazonas”. As espécies mais comercializadas foram o cacau (*Theobroma cacao*), baunilha (*Vanilla sp*), castanha-do-Pará (*Bertholletia excelsa*), guaraná (*Paullinia cupana*), copaíba (*Copaifera langsdorffii*), andiroba (*Carapa guianensis*) e pau-cravo (*Dicypellium caryophyllaceum*) (Daniel, 1976, a, p. 264).

Elas já eram conhecidas pelos indígenas e no processo de colonização foram apropriadas pelos brancos e seus descendentes, que deram continuidade em seu uso, incorporando-as na alimentação, na medicina, na cosmética natural, na perfumaria e na aromaterapia, independente da classe econômica, religiosa ou grupo étnico (Herculano, 2013).

Os séculos de exploração aliados à forma de utilização favoreceram a domesticação de algumas espécies, como foi o caso do cacau (*Theobroma cacao*), uma vez que a parte apreciada eram suas amêndoas (Rocha, 2023). Em contrapartida, levaram espécies à beira da

extinção, como é o caso de *D. Caryophyllaceum* (Lauraceae), pois, nesse caso, a parte que despertava maior interesse na planta era a casca, havendo a supressão do indivíduo para sua extração (Daniel, 1976).

As plantas aromáticas na Amazônia possuem uma relevância significativa tanto do ponto de vista econômico quanto medicinal (Pereira, 2021). A Embrapa Amazônia Oriental publicou recentemente um catálogo ilustrado que descreve detalhadamente as espécies presentes no horto da instituição, destacando a importância do cultivo e estudo dessas plantas para a região (Lameira, 2024).

A flora medicinal da Amazônia é vasta e desempenha um papel crucial na saúde pública das comunidades locais (Lameira, 2024). Muitas espécies de plantas medicinais aromáticas já foram estudadas, incluindo *Montrichardia linifera* Schott (Araceae) e *Myrcia* spp., que são amplamente utilizadas na região (Silva et al, 2021). *Montrichardia linifera* é conhecida por suas propriedades medicinais e aromáticas, sendo utilizada em tratamentos tradicionais e na fabricação de medicamentos naturais (Amarante et al, 2015). Da mesma forma, várias espécies do gênero *Myrcia* são usadas na medicina popular por suas propriedades curativas e aromáticas (Portal et al, 2013; Silva et al, 2021).

Os óleos essenciais extraídos de plantas amazônicas, como *Montrichardia linifera*, espécies do gênero *Myrcia* e da família Lauraceae, contêm compostos voláteis que têm sido amplamente estudados por suas propriedades terapêuticas (Silva et al, 2021). A família Lauraceae, uma das famílias mais importantes na floresta amazônica, incluem espécies que produzem óleos essenciais com propriedades medicinais e aromáticas significativas (EMBRAPA, 2020). Estes óleos são utilizados na medicina tradicional por suas atividades antibacterianas, antioxidantes e anti-inflamatórias (Yamaguchi, 2011). Além disso, são valiosos na indústria cosmética e de perfumaria, devido às suas propriedades aromáticas únicas (Cerri e Esmerino, 2022).

O cultivo sistemático de plantas aromáticas na Amazônia é essencial para maximizar o potencial econômico da região (Becker, 2006). Estudos indicam que o cultivo dessas plantas pode gerar oportunidades econômicas significativas para a população local, além de contribuir para a conservação da biodiversidade (Morales, 2009; Barata, 2012). Informações detalhadas sobre a identificação botânica, usos e características ecológicas das plantas aromáticas da região

estão disponíveis no Banco de Dados de Plantas Aromáticas e Frutos da Amazônia e são de domínio público.

Família Lauraceae

A família Lauraceae é um dos agrupamentos taxonômicos mais complexos para a identificação de espécies, devido à sua grande diversidade (Lorenzi e Souza, 2012). A origem das Lauraceae está associada à ordem Laurales, onde formam grupos monofiléticos com outras famílias, como Hernandiaceae e Monimiaceae, evidenciando uma evolução compartilhada e relações filogenéticas complexas dentro do grupo (Renner e Chanderbali, 2000). Considerada uma das famílias mais primitivas pertencentes à divisão Magnoliophyta (Cronquist, 1988), a distribuição geográfica das Lauraceae abrange principalmente florestas pluviais da Ásia e das Américas, demonstrando sua adaptabilidade e diversidade ecológica (Lorenzi e Souza, 2012; Quinet et al, 2015).

Esta família é amplamente distribuída nas regiões tropicais e subtropicais, abrangendo cerca de 50 gêneros e entre 2.500 e 3.500 espécies (EMBRAPA, 2021; Farias et al, 2023), revelando sua ampla dispersão geográfica. As folhas dessas plantas são conhecidas por seu cheiro característico quando esmagadas, devido à presença de óleos essenciais (Castro, 2020).

A utilização mais antiga das espécies desta família data de 2800 a.C., na Grécia Antiga (Marques, 2001), influenciando significativamente a nomenclatura de vários gêneros (Quinet e Andreato, 2002). Esse uso ancestral destaca a integração dessas plantas em diversas culturas ao longo dos séculos. As espécies do gênero *Cinnamomum*, por exemplo, são referenciadas desde essa época (Marques, 2001). Estas plantas são predominantemente árvores e arbusto, conhecidas por suas flores, frutos e madeira de grande valor (Quinet, 2002).

No Brasil, a família Lauraceae é representada por aproximadamente 469 espécies, distribuídos em 27 gêneros. A Amazônia, em particular, abriga 21 gêneros e 246 espécies, com 51 endêmicas (Flora e Funga do Brasil, 2024), destacando a importância ecológica da região e sua contribuição para a biodiversidade global. Estudos indicam que as florestas amazônicas apresentam uma diversidade local elevada de espécies de Lauraceae, evidenciando a complexidade e interdependência dos ecossistemas tropicais (Alcântara, 2009; Marques, 2001; Oliveira e Amaral, 2004; Leal et al, 2021).

A família Lauraceae possui significativa importância econômica, inclui espécies como o abacate (*Persea americana* Mill.), a canela (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) e o louro

(*Laurus nobilis* L.) amplamente empregadas em aplicações culinárias ao redor do mundo. Contrariamente, espécies como a cânfora (*Cinnamomum camphora* [L.] J. Presl) e o benjoim (*Lindera benzoin* [L.] Blume) são valorizadas por suas propriedades medicinais (Kostermans, 1957). A relevância da Lauraceae estende-se à ecologia e à economia, com suas madeiras, como as do louro e da canela, sendo altamente cotadas na marcenaria devido à sua durabilidade e beleza (EMBRAPA, 2023). Essas madeiras também são utilizadas na culinária como condimentos e na medicina tradicional devido às suas propriedades terapêuticas (Quinte, 2005).

Notadamente, óleos essenciais e especiarias destas plantas, provenientes de gêneros como *Cinnamomum*, *Ocotea*, *Laurus*, *Litsea* e *Persea*, são de grande interesse econômico e medicinal (Farias et al, 2023). Os estudos de Farias et al (2023) também indicam uma maior presença de compostos oxigenados em espécies asiáticas, contrastando com a predominância de hidrocarbonetos nas americanas, um reflexo do isolamento geográfico histórico entre América e Ásia. Além disso, a família Lauraceae é conhecida por suas espécies aromáticas, cujos óleos essenciais são empregados na indústria farmacêutica (Machado e Junior, 2011), alimentícia (Adelakun et al., 2016; Mariod, 2016) e de perfumaria. Por exemplo, o pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) foi historicamente utilizado na fabricação do perfume Chanel N° 5, graças ao linalol, um monoterpene de aroma agradável (Marques, 2001; Bizzo et al., 2009).

As Lauraceae desempenham um papel crucial na ecologia das florestas tropicais, fornecendo habitat e alimento para várias espécies (Fontana et al, 2016). No Estado do Rio de Janeiro, a família Lauraceae foi objeto de uma sinopse taxonômica que documentou os gêneros presentes na região. Este estudo contribuiu significativamente para o conhecimento da biodiversidade local, destacando a riqueza e a diversidade das espécies de Lauraceae na Mata Atlântica (Quinet, 2005).

O gênero *Dicypellium* é nativo e endêmico da América do Sul, mais precisamente do Domínio Fitogeográfico da Amazônia (CNCFlora, 2012; IUCN, 2022; Flora e Funga do Brasil, 2024). Esse gênero é conhecido principalmente por suas propriedades aromáticas, sendo uma fonte valiosa de óleo essencial, o que ressalta sua importância tanto econômica quanto ecológica dentro da família Lauraceae (Salomão, 2007). Este gênero compreende três espécies: *Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees, *Dicypellium manausense* W. A. Rodrigues e, recentemente, Alves et al. (2024) descreveram uma terceira espécie, *Dicypellium anisum* F.M. Alves & Zappi.

***Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees**

A espécie mais conhecida deste gênero é o pau-cravo ou cravo-do-maranhão (*Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees). O nome popular faz referência ao odor emitido pela planta e local de ocorrência da espécie, respectivamente. É descrita como uma árvore que pode atingir até 20 metros de altura (Figura 1A), folhas alternas, pecíolo 0,8 – 1,2 cm, delgado, canaliculado, glabrescente; lâmina cartácea, elípticas a elíptico-lanceoladas, 7-21 x 2 – 7 cm, base obtusa, ápice acuminado a longo acuminado (Fig. 1B); face adaxial opaca, glabra, face abaxial glabra; padrão de nervação camptódromo-broquidódromo, nervuras secundárias 6-9 pares, reticulado denso. Apresenta inflorescência terminal e subterminal botrióide, com flores de 10 – 12 mm de diâmetro (Fig. 1C). Tépalas ovadas, face adaxial e abaxial exparsamente pilosas. Estames das séries I, com 3 estaminódios tepalóides; série II anteras triangulares, glabras; série III anteras triangulares extrorso apicais, com par de glândulas subglobosas, reduzidas; série IV estaminodial ausente. Ovário elipsoide, glabro, estilete cilíndrico, estigma truncado. Frutos elipsoide (Fig. 1D), envolvido parcialmente por cúpula de margem dupla, tépalas persistentes. Caule cilindro liso (Fig. 1E). (Flora do Brasil (2020).

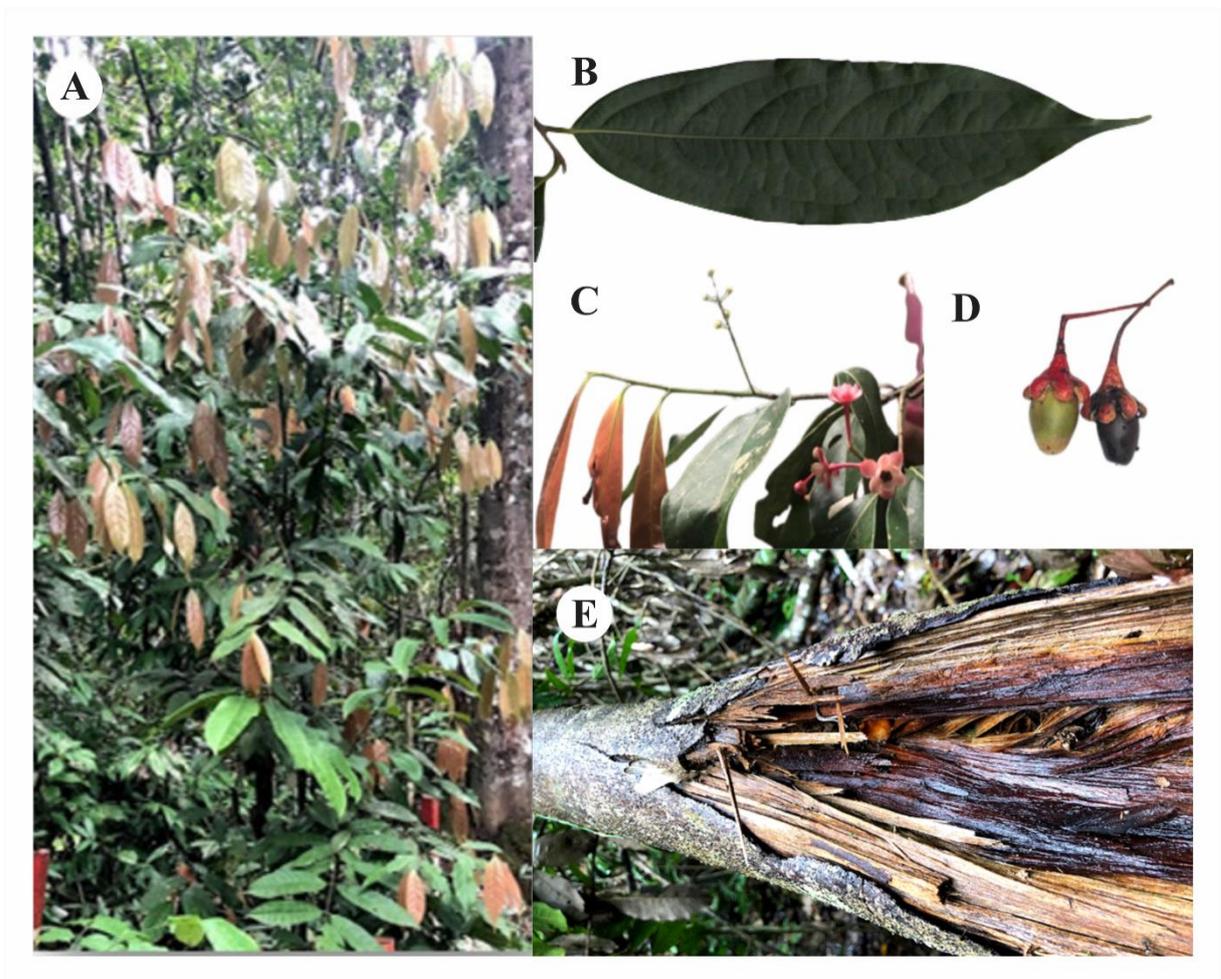


Figura 01. Morfologia de *Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees. Indivíduos localizados na ADA Belo Monte, estado do Pará, Brasil. **A.** Árvore juvenil; **B.** Folha; **C.** Inflorescência; **D.** Frutos imaturos e maduros; **E.** Tronco em queda parcialmente aberto, revelando seu interior.

Um estudo comparativo de Salomão e Rosa (2012), entre as populações de pau-cravo de Juruti e Vitória do Xingu, ambas no estado do Pará, encontrou indivíduos com média de 7,1 m de altura, com árvores que chegavam a 21m de altura, quando a copa das árvores mais altas atinge cerca de 40 metros de altura. Essas observações caracterizam que a planta é uma espécie de sub-bosque e de ciclo de vida curto e, segundo os mesmos autores, chegando a 30 anos, no máximo 40.

A família Lauraceae também se destaca por sua importância econômica nas indústrias farmacêutica e de alimentos (MARQUES, 2001), já que há uma variabilidade de espécies com propriedades aromáticas. Estudo dos compostos químicos extraídos de folhas e galhos de *D. caryophyllaceum* realizado por Zoghbi et al. (2013) encontrou 36 componentes, classificados como monoterpenos (8,63-52,86%), oxigenados monoterpenos (zero-1,13%), sesquiterpenos (0,36-1,89%), sesquiterpenos oxigenados (0,11-0,51%), fenilpropanóides (45,79-80,76%) e n-alcanos (1,40-2,35%), tendo o eugenol como composto majoritário. Os autores verificaram que o maior rendimento nos óleos foi obtido das folhas (0,90 a 7,21%), enquanto os galhos finos e galhos grossos forneceram 2,93% e 1,08%, respectivamente.

Além do eugenol, limoneno + silvestreno (4,78%), metileugenol (0,20%), trans-calameneno (0,07%) e acetato de eugenil (0,12%) foram detectados no óleo a partir dos galhos grossos, enquanto o α -pineno (2,32%), canfeno (0,14%), β -pineno (1,11%), mirceno (1,21%), α -folandreno (2,70%), p-cimeno (vestígios), limoneno + silvestreno (27,13%), α -cubebeno (0,06%), metileugenol (0,14%), cariofileno (0,41%) e acetato de eugenil (0,35%) foram detectados no óleo de galhos finos. Uma mistura de monoterpenos limoneno e silvestreno também foi detectada na extração de óleos de todas as partes estudada da planta (ZOGHBI et al., 2013).

A espécie *D. caryophyllaceum* chamava bastante atenção dos Europeus, porque fornecia uma casca com aroma idêntico ao da canela e sabor picante idêntico ao do cravo da Índia. Por conta disso, a espécie foi bastante negociada pelos portugueses no último século de colonização, em substituição ao cravo-da-índia e da canela de Ceilão (Salomão e Rosa, 2012; Corrêa, 1984). O padre jesuíta João Daniel relata que a extração contou com o conhecimento e a mão-de-obra indígena e que para facilitar a extração da casca, os índios cortavam as árvores

e a transportavam em canoas. Sendo a supressão completa da planta, a única forma de coleta de pau-cravo na Amazônia nesta época (Daniel, 1976, b).

Com o intuito de cultivar o pau-cravo, em 1804, o governador geral, Conde dos Arcos, estabeleceu um horto experimental em Belém, com 972 plantas da espécie, que resultaram em uma produção de 3 mil quilos de casca (Homma, 2003). As técnicas de colheita utilizadas na época envolviam o corte raso (Chamboleynon, 2022), permitindo o aproveitamento completo da planta para diferentes fins. Do tronco, extraía-se um pigmento de cor violeta escuro, que, quando manufaturado, proporcionava um pigmento preto utilizado na tinturaria. A casca era empregada como medicamento e condimento, enquanto o óleo extraído dela possuía propriedades aromáticas e medicinais. Esses diversos usos resultaram em uma intensa colheita (Corrêa, 1984). Após essa colheita inicial que produziu os 3 mil quilos de casca, não há registros de novas tentativas de cultivo até os dias atuais.

O reconhecimento da importância da espécie é registrado no mais completo e diversificado inventário etnogeográfico e botânico sobre o Norte do Brasil, realizado no século XVIII, pelo naturalista baiano Alexandre Rodrigues Ferreira (1756- 1815) em seu livro “Diário da Viagem Filosófica pela Capitania de São José do Rio Negro”, em que relata as trabalhosas coletas, assim como os registros das extensas matas de pau-cravo que os europeus avistavam navegando pelos rios (Ferreira, 1885 p. 121), recolocando a região Amazônica na historiografia do império português (Chambouleyron, 2022).

As extensas áreas com árvores de *D. caryophyllaceum* também são descritas nos registros de Moraes (1860), Noronha (2006) e Almeida (2009). Os relatos de sua ocorrência constam na região do baixo Amazonas e afluentes, como rio Tocantins, Trombetas, Tapajós e, principalmente, do Rio Xingu e em rios menores, como Pacajá, Curuá, Akiki e Maue. Ferreira (1983) também observou que a extração de pau-cravo na época acontecia de maneira desenfreada, e Daniel (1976b) relata a redução da espécie durante o século XVIII, além de registrar que os colonos/comerciantes sentiram nos seus negócios o reflexo da exploração predatória da espécie.

O modo de exploração e a intensa comercialização têm ligação direta com a quase extinção da espécie, atualmente classificada como criticamente ameaça (IUCN, 2022), e apontada como sendo de alto risco de desaparecimento num futuro próximo. Todavia, essa preocupação não é recente, nos registros de Ferreira (1885) é citado o alvará de 22 de março de

1688, deferido pela Coroa Real, que proibia a coleta de pau-cravo por dez anos, com o objetivo de garantir sua reprodução e conservação da espécie. Provavelmente, esta foi à primeira restrição de supressão de uma planta no Brasil.

Os registros de Ferreira (1885 p. 121) relatam ainda que a retomada da coleta estaria submetida a vistoria de oficiais do governo, e que as pessoas que realizavam a coleta deveriam estar de acordo com o termo de “não cortarem nem bolirem nas ditas árvores novas”, para garantir que a regeneração não fosse suprimida para a retirada da casca, sob pena de prisão por três anos. No entanto, nas mesmas observações é descrito que os intendentos não advertiram as pessoas sobre estas restrições.

Conforme relatado, após três séculos de extensa exploração, é penoso constatar que a comunidade científica do século XXI tem conhecimento de apenas duas populações de pau-cravo, ambas no estado do Pará, e o registro de um indivíduo no estado do Maranhão, totalizando apenas 249 indivíduos maduros, com tendência populacional em declínio, sob os critérios A2acd; C1 (Fernandes, 2020).

REFERÊNCIAS

- ADELAKUN, T.; et al. Use of Lauraceae essential oils in perfumery. *Perfumery Journal*, 2016.
- ALCÂNTARA, J. M. Universidade Federal do Amazonas. 2009. Disponível em: <<https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/3352>>. Acesso em: 2 jun. 2024.
- AMARANTE, C. B.; MIRANDA, J. A. L.; SILVA, E. C. da; GOMES, L. A.; OLIVEIRA, L. E. C. de. Atividade antibacteriana de extratos de folhas de *Montrichardia linifera*. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, 2015. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbpm/a/RChw6TFtZGf64RkhnDtHG8r/?lang=pt>>.
- BIZZO, H. R.; et al. Essential oils of *Aniba rosaeodora* Ducke: a review. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 2009.
- CASTRO, C. C. de. Caracterização química do óleo essencial das folhas, galhos e frutos de *Cinnamomum verum* J. Presl (Lauraceae) coletado em Belém (Pará/Brasil). 2020. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/index.php/BRJD/article/view/12328>>. Acesso em: 2 jun. 2024.
- CNCFlora. *Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees CR. Disponível em: <<http://cncflora.jbrj.gov.br/portal/ptbr/profile/Dicypellium%20caryophyllaceum>>. Acesso em: 2 jun. 2024.
- CRONQUIST, A. *The Evolution and Classification of Flowering Plants*. 2. ed. New York: New York Botanical Garden, 1988.
- EMBRAPA. A importância econômica da família Lauraceae. Disponível em: <<https://www.embrapa.br>>. Acesso em: 2 jun. 2024.
- EMBRAPA. Lauraceae. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/manual-de-producao-editorial/normalizacao-bibliografica>>. Acesso em: 2 jun. 2024.
- EMBRAPA. Óleo essencial de planta amazônica controla pragas importantes da agricultura. 2020. Disponível
- FARIAS, K. S.; et al. Global distribution of the chemical constituents and biological activities of Lauraceae. *ScienceDirect*, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0254629923000959>>. Acesso em: 2 jun. 2024.
- FARIAS, Katyuce S. et al. Global Distribution of the Chemical Constituents and Antibacterial Activity of Essential Oils in Lauraceae Family: A Review. *South African journal of botany*, v. 155, p. 214-222, 2023. Print.
- KOSTERMANS, A. J. G. H. Lauraceae. In: KOSTERMANS, A. J. G. H. (ed.). *Medicinal Plants of Asia and the Pacific*. 1957.
- KROPF, M.S. Lauraceae das restingas do estado do Rio de Janeiro, Brasil. 2015. Disponível em: <<https://isb.emnuvens.com.br/iheringia/article/view/392>>. Acesso em: 2 jun. 2024.

LAMEIRA, Osmar Alves. Catálogo do Horto de Plantas Medicinais e Aromáticas. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2024. ISBN 978-65-5467-043-2.

LEAL, Glória da Silva Almeida et al. Perfil de diversidade florística e padrão espacial de espécies arbóreas em florestas com ocorrência de bambu na Amazônia. *Advances in Forestry Science*, v. 8, n. 3, p. 1545-1555, 2021.

LORENZI, H.; SOUZA, V.C. Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2012.

MACHADO, S. R.; JUNIOR, O. L. Essential oils from Lauraceae: a review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 2011.

MARIOD, A. A. The importance of Lauraceae in food industry. *Food Research International*, 2016.

MARQUES, C. A. Importance of Lauraceae in the perfume industry. *Journal of Natural Products*, 2001.

MARQUES, C. A. Importância econômica da família Lauraceae. 2001. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/floram/a/bKwfdLhXhXWx6KLnfm484Sn/?lang=pt>>. Acesso em: 2 jun. 2024.

OLIVEIRA, Arlem Nascimento de; AMARAL, Iêda Leão do. Floristic and phytosociology of a slope forest in Central Amazonia, Amazonas, Brazil. *Acta Amazonica*, v. 34, p. 21-34, 2004.

PEREIRA, Arildo Gonçalo; ALCANTARA, Liliane Cristine Schlemer; OLIVEIRA, Renata Evangelista de; SAIS, Adriana Cavalieri. Plantas com potencial medicinal em quintais agroflorestais: diversidade entre comunidades rurais do Portal da Amazônia - Mato Grosso, Brasil. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 6, e59010615713, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.15713.

PORTAL, R. K. V. P.; LAMEIRA, O. A.; RIBEIRO, F. N. S.; ASSIS, R. M. A. de. Fenologia e screening fitoquímico do açoita-cavalo. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 17.; SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL, 1., 2013, Belém, PA. Anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2013. 1 CD-ROM. PIBIC 2013. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/970420>>.

QUINET, A. Lauraceae Jussieu na Reserva Ecológica de Macaé de Cima, Nova Friburgo, RJ. 2002. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rarv/a/jvTg9wttGNdZJJn5vnQnGwC/?lang=pt>>. Acesso em: 2 jun. 2024.

QUINET, A.; BAITELLO, J.B.; MORAES, P.L.R. de; ASSIS, L.; ALVES, F.M. Lauraceae *In: Lista de Espécies da Flora do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil2015.jbrj.gov.br/FB143>>. Acesso em: 2 may. 2024.

QUINTE, A. Economic and ecological importance of Lauraceae. 2005.

RENNER, Susanne; CHANDERBALI, Andre. What Is the Relationship among Hernandiaceae, Lauraceae, and Monimiaceae, and Why Is This Question So Difficult to Answer?. S109 Int. J. Plant Sci. 161, 109-119, 2000. DOI: 10.1086/317574.

SECRETARIA EXECUTIVA DA INICIATIVA AMAZÔNIA+10. **Relatório de Atividades 2023**. Disponível em: <https://2674d7a2-d750-449d-8d95-d5e5e21b80bb.usrfiles.com/ugd/2674d7_1bd0b59b5fe944718d3360758eb70947.pdf> Acesso em: 01 jul. 2024.

SILVA, A. F. da; MIRANDA, J. A. L.; AMARANTE, C. B. Etnobotânica de plantas medicinais aromáticas: preparações e usos da flora local em cinco comunidades rurais localizadas na região do Baixo Tocantins, Pará, Brasil. Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, v. 13, n. 2, p. 38-52, 2021. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/11284/10294/152904>>.

Sinopse taxonômica da família Lauraceae na porção norte da Floresta Atlântica do Brasil, entre os estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo. 2013. Disponível em: <<https://seer.ufrgs.br/index.php/rbrasbioci/article/view/115539>>. Acesso em: 2 jun. 2024.

YAMAGUCHI, Klenicy Kazumy de Lima. Estudos biológicos dos extratos e composição química dos óleos essenciais de espécies da família Lauraceae. 2011. 161 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2011.

CAPÍTULO 1: A INFLUÊNCIA DE FATORES LOCAIS E GLOBAIS (*El Niño* OSCILAÇÃO SUL) NA FENOLOGIA REPRODUTIVA DO PAU-CRAVO, UMA ÁRVORE DE ESPECIARIAS AMAZÔNICA AMEAÇADA DE EXTINÇÃO.

RESUMO

Os padrões de floração e frutificação estão relacionados a fatores locais e globais, pois as forças seletivas determinam os ciclos reprodutivos das plantas. Este estudo examina a fenologia reprodutiva de *Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees, conhecido como pau-cravo, uma árvore criticamente ameaçada da floresta amazônica. Utilizando uma sequência temporal contínua de oito anos de observações, investigamos os seguintes aspectos: (i) quais são os padrões de floração e frutificação desta espécie em seu centro de origem, considerando as frequências, durações e sazonalidade dessas fenofases? (ii) como a disponibilidade de água e luz afetam a fenologia reprodutiva da espécie? (iii) há variações interanuais na floração e frutificação associadas aos fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña*? Foram monitorados 30 indivíduos entre 2015 e 2023, período que incluiu dois eventos climáticos de *El Niño* e três de *La Niña*. Determinamos que os ciclos reprodutivos de *D. caryophyllaceum* são sazonais e sincrônicos durante a estação chuvosa. O fotoperíodo elevado e a insolação reduzida desencadearam a floração, enquanto a precipitação e umidade influenciaram as fenofases de frutificação. As variações interanuais associadas ao *El Niño* e *La Niña* provocaram alterações no início da floração. Este estudo destaca a importância de pesquisas fenológicas ampliadas entre e dentro as populações de pau-cravo para compreender as diferenças nos padrões ecológicos da espécie.

DESTAQUES:

- *Dicypellium caryophyllaceum*, exibe um ciclo fenológico reprodutivo anual, unimodal e sincronizado.
- Floração foi influenciada pelo fotoperíodo elevado e insolação reduzida.
- Frutificação é influenciada pela precipitação e umidade.
- Influência do *La Niña* na antecipação da floração.

PALAVRAS-CHAVE: *Dicypellium caryophyllaceum*; Série Temporal Longa; Floresta Tropical; Padrões Reprodutivos; Sazonalidade

1. INTRODUÇÃO

Apesar de ser uma das maiores e mais preservadas florestas do mundo, a Amazônia continua sendo uma das menos estudadas do ponto de vista biológico. A vastidão de seu território, sua diversidade e o difícil acesso tornam a documentação de sua biodiversidade extremamente desafiadora. A análise dos dados globais de localização de espécies revela um forte viés espacial, concentrando-se em áreas urbanas, centros de pesquisa e principais vias de acesso, como rios e estradas (Carvalho et al., 2023). Um exemplo é o *Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees, da família Lauraceae, conhecido como pau-cravo ou cravo-do-maranhão, uma árvore de sub-bosque endêmica da floresta Amazônica (Salomão; Rosa, 2012). Historicamente, essa espécie teve ampla distribuição e sua comercialização contribuiu para a colonização da região amazônica durante o século XVII (Daniel, 1975). Considerada uma especiaria e planta medicinal importante, foi intensamente procurada pelos europeus durante o período colonial do Brasil (Almeida, 1860), devidos aos seus sabores e aromas que lembram a canela (*Cinnamomum verum* J. Presl) e o cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum* L. Merr). Essa procura levou à intensa colheita da espécie (Corrêa, 1984), resultando em sua quase completa erradicação no Brasil, com conhecimento atual restrito a poucos indivíduos em fase reprodutiva distribuídos em apenas duas populações no estado do Pará (Fernandez, 2020).

A sobre-exploração de *D. caryophyllaceum* levou à sua designação na categoria criticamente em perigo (CR) na Lista Nacional Oficial de Espécies Nativas Ameaçadas de Extinção do Brasil, conforme a Portaria nº 561/2021 (Portaria MMA Nº 148, de 7 de junho de 2022) e na Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN 2024). Registros históricos mostram a preocupação com a conservação da espécie já no período colonial, como evidenciado pela proibição da Coroa Portuguesa, em 22 de março de 1688, de retirar casca de pau-cravo dos rios Capim e Tocantins por dez anos (Ferreira, 1885). Este é um dos primeiros exemplos de atenção à conservação de uma espécie no Brasil.

Apesar da importância histórica de *D. caryophyllaceum*, há uma carência de informações sobre os ciclos fenológicos reprodutivos e os impactos das variáveis climáticas locais e globais nesses processos. Para preencher essa lacuna na literatura científica, este estudo acompanhou uma série temporal de 8 anos, buscando mitigar a falta de informações detalhadas sobre os padrões de floração e frutificação dessa espécie e sua relação com fatores ambientais. A importância de estudar a fenologia reprodutiva *in situ* de uma espécie está no conhecimento da distribuição temporal da frutificação, contribuindo para o entendimento do melhor período

de colheita de sementes, viabilizando estratégias adequadas à conservação e preservação da espécie (Morellato et al., 2016).

Estudos anteriores demonstraram a importância das variáveis abióticas, como temperatura, precipitação, umidade, insolação (Chen et al., 2022; Costa, Lameira, 2021) e fotoperíodo (Borchert et al., 2015) como desencadeadores de eventos reprodutivos. As respostas da fenologia das plantas as variáveis abióticas podem ser importantes na definição do momento, periodicidade e sincronia de reprodução (Bogdziewicz et al., 2023). No entanto, as informações sobre os efeitos das alterações nas variáveis abióticas em regiões tropicais ainda são limitadas (Morellato; Camargo; Gressler, 2013) e conjunto de dados de longo prazo são escassos (Cano-Barbacil; Cano Sánchez, 2020).

Estudos sobre a fenologia reprodutiva de espécies nativas na Amazônia são antigos (Alencar et al., 1971; Magalhães; Alencar, 1979). Em regiões tropicais, especialmente na América do Sul, as variações climáticas relacionadas à Oscilação Sul do *El Niño* (ENSO) afetam os regimes de precipitação e tendem a provocar condições mais secas na região amazônica, enquanto anos de *La Niña* trazem mais chuvas (Souto et al., 2019).

Um estudo de Li et al. (2011) relatou que os fenômenos *El Niño* produzem anomalias que aumentam as temperaturas e diminuem a precipitação na Amazônia, embora os dados fenológicos a longo prazo para espécies arbóreas tropicais raramente estejam disponíveis (Davis et al., 2022). O monitoramento por satélite na Amazônia tem demonstrado que a frequência e a intensidade da estação seca promovem a perda de resiliência da floresta (Ciemer et al., 2020). Na Amazônia, o *El Niño* de 2015 provocou alterações na produção de frutos de castanheira (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), uma árvore emergente na floresta (Pastana et al., 2021).

Séries temporais registradas de eventos fenológicos de plantas têm demonstrado mudanças no ciclo fenológico ou alterações no tempo dos eventos do ciclo de vida, ressaltando a importância de considerar as alterações climáticas (Chen et al., 2022; Faria et al., 2016; Torres et al., 2013), que, de acordo com o IPCC (2021), devem continuar aquecendo o planeta nas próximas décadas. Estudos dessas séries temporais de eventos fenológicos podem auxiliar na compreensão de como as plantas respondem às mudanças climáticas (Cano-Barbacil; Cano Sánchez, 2020).

Os benefícios e impactos dessa pesquisa incluem a geração de dados valiosos que podem subsidiar políticas públicas para a conservação da espécie, além de contribuir para o entendimento dos mecanismos fisiológicos e endógenos que regulam seus ciclos reprodutivos. Isso pode resultar em estratégias de manejo mais eficazes e adaptadas às condições climáticas. O estudo sobre a fenologia reprodutiva de *D. caryophyllaceum* utilizou uma série temporal contínua de oito anos, a fim de responder às seguintes perguntas: (i) quais são os padrões de floração e frutificação desta espécie em seu centro de origem, considerando as frequências, durações e sazonalidade dessas fenofases? (ii) como a disponibilidade de água e luz afetam a fenologia reprodutiva da espécie? (iii) há variações interanuais na floração e frutificação associadas aos fenômenos climáticos *El Niño* e *La Niña*?

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 Área de estudo

Este estudo foi desenvolvido em fragmento de floresta ombrófila densa na Amazônia, localizado no município de Vitória do Xingu, no estado do Pará, na margem direita do Rio Xingu, na Área Diretamente Afetada pela UHE Belo Monte (-51.8828° W x -3.5175° S) (Figura 1A). A fitofisionomia do fragmento florestal estudado é composta por floresta tropical de terra firme, com dossel de aproximadamente 20 m, e algumas árvores emergentes de 40 m (Figura 1B). *Dicypellium caryophyllaceum* é uma árvore de sub-bosque e na área de estudo atinge aproximadamente 8 m de altura (Salomão, 2012) (Figura 1C). A paisagem local é ligeiramente ondulada, de textura média/argilosa, classificada como um típico argissolo amarelo avermelhado rico em alumínio conforme está descrito no ANEXO A (Mapa de solos da área de Influência Indireta Belo Monte). O clima regional é tropical, com chuvas de monção de novembro a maio e estação seca entre junho e outubro (Alvares et al., 2013a). A precipitação média mensal das últimas cinco décadas e sua distribuição no período de estudo são apresentadas na Figura 2.

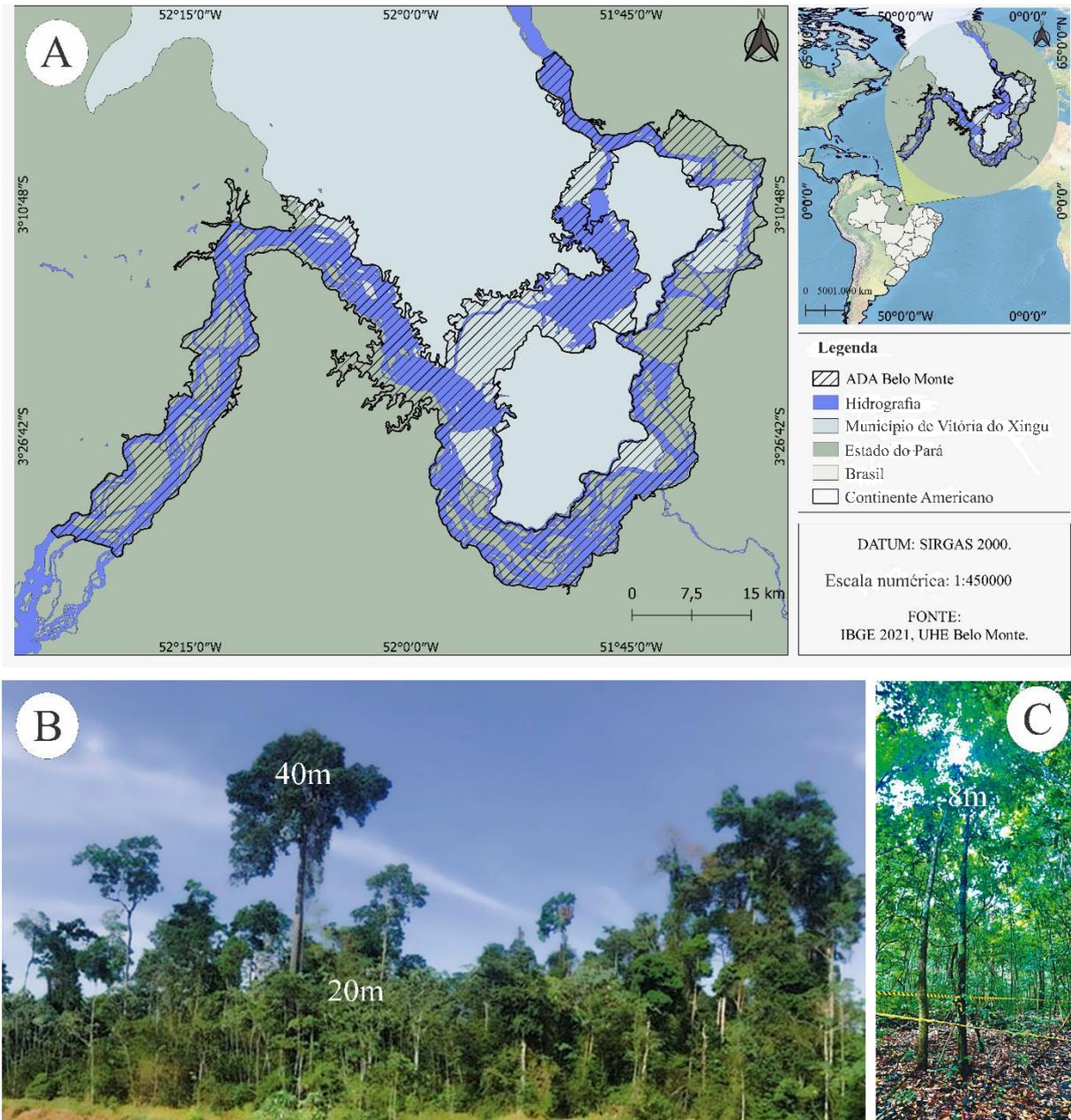


Figura 1. Espécie e local de estudo na ADA Belo Monte, no município de Vitória do Xingu, no Estado do Pará, Brasil. **A.** Mapa de Localização das matrizes. **B.** Vista panorâmica do habitat; **C.** Habitat de *Dicypellium caryophyllaceum*(Mart.) Nees

2.2 Fenologia

Em função de sua raridade, todos os espécimes maduros de *Dicypellium caryophyllaceum* identificados até 2015 no fragmento foram incorporados ao estudo, totalizando 30 indivíduos. O critério de inclusão foi a presença da fenofase reprodutiva, caracterizando indivíduos adultos. As observações fenológicas mensais dos indivíduos marcados foram realizadas entre 07/2015 e 12/2018 pela Empresa Norte Energia como

contribuição ao Projeto Básico Ambiental da usina hidroelétrica Belo Monte; após essa data, os autores continuaram essas observações, sem interrupção até 04/2023. As fenofases avaliadas qualitativamente foram: botão floral, flor aberta, fruto imaturo, fruto maduro, dispersão de sementes. Os padrões de floração e frutificação foram classificados de acordo com (Newstrom; Frankie; Baker, 1994), considerando a frequência de floração ou frutificação como o número de ciclos por unidade de tempo, e a duração como o tempo que uma unidade permanece em um determinado ciclo. O material botânico foi depositado no Herbário Padre José Maria de Albuquerque (HATM), da Universidade Federal do Pará, Campus de Altamira (voucher SHT37), a pesquisa foi cadastrada no SISGEN com o número A739659.

2.3 Dados ambientais

A América do Sul experimentou duas vezes os efeitos do fenômeno *El Niño* e três vezes do fenômeno *La Niña*, durante o período de estudo. O Índice Niño Oceânico (ONI) foi calculado com base nas médias contínuas de 3 meses de anomalias, tendo como base em um período de 30 anos, conforme obtido na *National Oceanic and Atmospheric Administration* (Climate Prediction Center Internet Team, 2023). Os dados climáticos regionais utilizados foram obtidos da estação meteorológica mais próxima da área de estudo, em Altamira, no estado do Pará (Instituto Nacional De Meteorologia, 2023). O fotoperíodo mensal médio (Figura 2C) foi obtido utilizando o pacote “daylength” (geosfera), versão 1.5-14, para latitude -3°, utilizando o software R (R Core Team, 2023), conforme proposto por Hijmans et al (2022), baseado em oito anos de observação.

Historicamente, os índices pluviométricos (Figura 2B) na área de estudo são elevados de dezembro a maio do ano seguinte, acompanhados de maior umidade (média mensal máxima de 90,7%). O fotoperíodo apresenta pouca variação ao longo do ano, com mínimo de 11,95 (hh:mm) e máximo de 12,29 (hh:mm) (Figura 2D). A temperatura média mensal mínima foi de 25,5 °C e máxima de 29,6 °C, indicando condições isotérmicas. A média mensal de insolação mínima foi de 74,1 horas/mês durante a estação chuvosa, com máxima de 284,1 horas/mês durante a estação seca (Figura 2C).

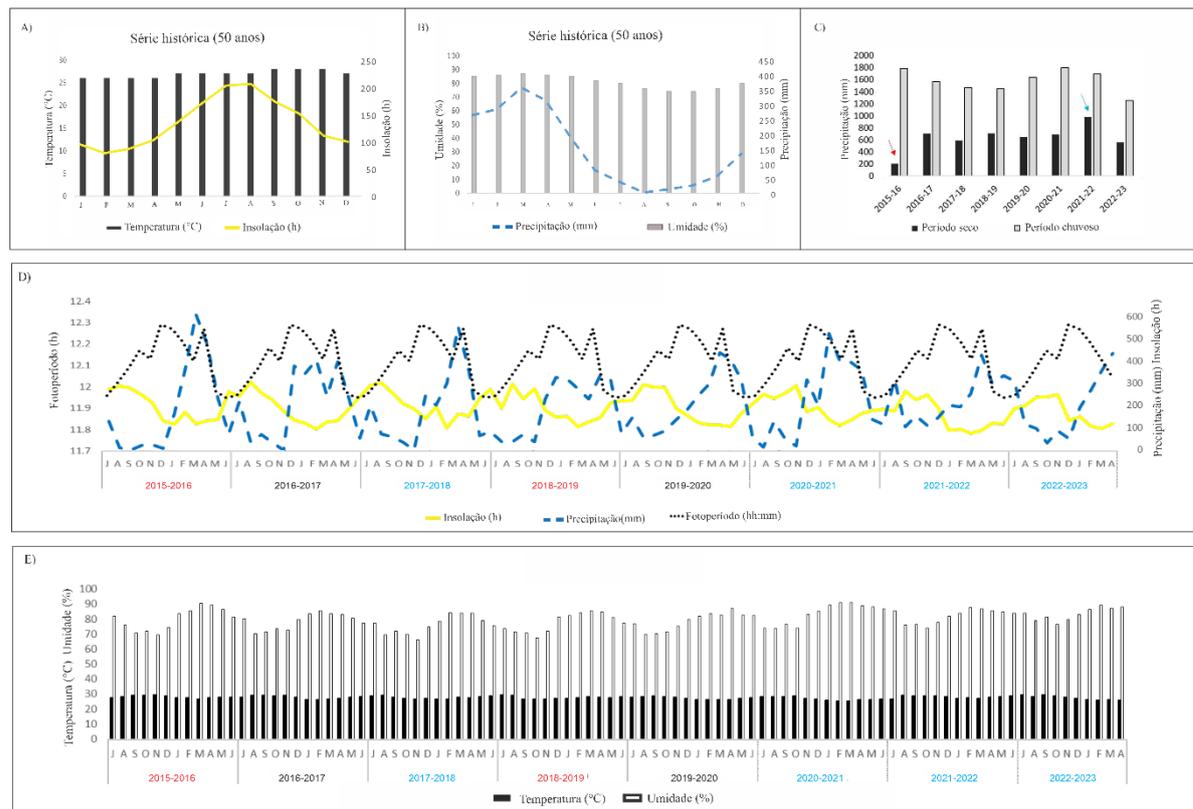


Figura 2. Dados ambientais da região de estudona ADA Belo Monte, Vitória do Xingu, Pará, Brasil. **A.** Temperatura e insolação entre 1972 e 2022; **B.** Precipitação e umidade entre 1972 e 2022; **C.** Precipitação total sazonal para os períodos secos e chuvosos entre julho de 2015 até abril de 2023, setas indicam anos com atraso e antecipação na fenofase reprodutiva; **D.** Médias mensais de fotoperíodo, insolação, precipitação para o período entre julho de 2015 até abril de 2023; **E.** Médias mensais de temperatura e umidade para o período entre julho de 2015 até abril de 2023. (Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia – INMET estação localizada em Altamira, no Estado do Pará / Instituto Nacional de Meteorologia e Departamento de Aplicações Astronômicas do Observatório Naval dos EUA).

2.4 Análise de dados

A sazonalidade e a sincronia dos eventos fenológicos foram analisadas por meio de estatística circular (DAVIS *et al.*, 2022; E. PABON-MORENO *et al.*, 2020). As análises foram baseadas em dados de oito ciclos biológicos da espécie entre 2015 e 2023. Na análise circular, os meses do ano são convertidos em ângulos com intervalos de 30°. Para cada fenofase, é calculado o ângulo mediano, que indica a época do ano (mês) em que a espécie evidenciou uma determinada fenofase, indicando picos (ou vales) da atividade fenológica. O comportamento do vetor r reflete a dispersão ou concentração das fenofases, com valores altos de r ($> 0,5$) indicando agregação de dados e, portanto, sincronia e sazonalidade. O Rayleigh (z) foi realizado

para verificar se os dados demonstram uma distribuição uniforme ao longo do ano (ZAR, 2010). A duração do período entre o início e o fim de uma determinada fenofase foi descrita pelo cálculo da média e desvio padrão dos números de meses por ano em que uma determinada fenofase foi observada.

A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para avaliar a coerência dos eventos fenológicos reprodutivos de *D. caryophylaceum* e as variáveis ambientais (precipitação mensal total e as médias mensais de temperatura, umidade relativa, insolação e fotoperíodo) entre os diferentes meses durante oito ciclos reprodutivos consecutivos. O pacote “FactoMineR” (LÊ; JOSSE; HUSSON, 2008) foi utilizado para obter os componentes principais (CP) por meio da diagonalização da matriz de correlação e da extração dos autovetores e autovalores associados. O Modelo Linear Generalizado (GLM), baseado em distribuições binomiais e utilizando o pacote “car”, foi utilizado para indicar a variável ambiental que demonstrou maior correlação com cada fenofase reprodutiva. Todas as análises acima foram realizadas usando o software R gratuito, versão 4.3.0 para Windows (R Core Team, 2023).

3. RESULTADOS

3.1. Padrões fenológicos reprodutivos

A espécie apresentou ciclo reprodutivo anual tipo unimodal (Figura 3). O comprimento médio do vetor r nas análises circulares indicou sazonalidade e sincronia na emissão de botões florais, flores abertas, frutos imaturos, frutos maduros e dispersão das sementes (Tabela 1). A duração média de todas as fenofases foi de dois meses, com exceção dos frutos imaturos, que duraram aproximadamente três meses. O ciclo reprodutivo completo teve duração de aproximadamente seis meses. As datas médias das fenofases foram: botões florais de 12 de outubro a 13 de fevereiro; floração de 8 de novembro a 17 de março; frutos imaturos de 8 de janeiro a 11 de abril; frutos maduros de 20 de fevereiro a 18 de maio; dispersão de sementes entre 6 março e 22 de maio (Tabela 1). Houve sobreposição entre as fenofases, sendo encontrado em campo na mesma planta botões florais com flores (antese) e frutos imaturos. Também foi observado sobreposição de frutos imaturos com frutos maduros e desses com dispersão de sementes.

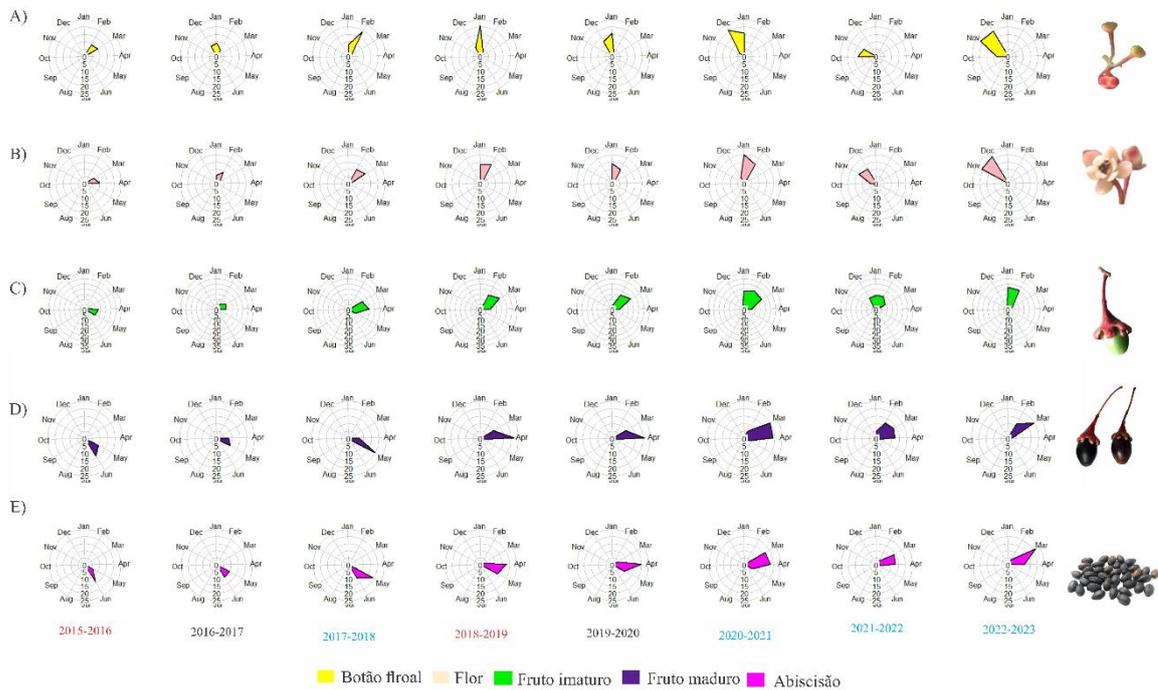


Figura 3. Histogramas circulares das frequências das fenofases reprodutivas de *Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees. No município de Vitória do Xingu, Estado do Pará, Brasil: **A.** Botões florais; **B.** Flor; **C.** Frutos imaturos; **D.** Fruto maduro. **E.** Dispersão de sementes. Os anos correspondentes às anomalias climáticas estão indicados em vermelho para *El Niño*, em azul para *La Niña*. Fotografias das fenofases são fornecidas ao lado dos respectivos histogramas.

Tabela 1. Resultados das análises estatísticas circulares da floração e frutificação sazonais de *Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees no município de Vitória do Xingu, no Estado do Pará, Brasil. Observações de eventos fenológicos (N) em um período de oito anos, indicando a presença de anomalias climáticas (CA): botão floral (BF), flor (FL), fruto imaturo (IF), fruto maduro (MF) e dispersão de sementes (SD). (continua)

Ano - CA	Paramenteis	BF	FL	IM	MF	SD
	Observações (N)	14	14	14	14	14
Ano 1	Vetor médio (μ)	43.65°	75.23°	100.50°	137.55°	141.11°
(Jun-2015 / Jul-2016)	Data média	13-Feb	17-Mar	11-Apr	18-May	22-May
	Comprimento médio do vetor (r)	0.95*	0.95*	0.95*	0.97*	0.97*
<i>El Niño</i>	Desvio padrão angular	17.73°	18.05°	18.55°	14.86°	13.78°
	Observações (N)	10	10	10	10	10
Ano 2	Vetor médio (μ)	355.76°	22.84°	61.54°	108.87°	135°
(Jun-2016 / Jul-2017)	Data média	25-Dec	23-Jan	02-Mar	19-Apr	16-May
	Comprimento médio do vetor (r)	0.92*	0.94*	0.90*	0.95*	0.97*

	Desvio padrão angular	22.88°	19.39°	25.76°	17.48°	15.08°
	Observações (N)	19	19	19	19	19
Ano 3	Vetor médio (μ)	23.80°	47.93°	83.99°	113.40°	130.91°
(Jun-2017 / Jul-2018)	Data média	24-Jan	17-Feb	25-Mar	24-Apr	11-May
	Comprimento médio do vetor (r)	0.96*	0.96*	0.93*	0.97*	0.97*
<i>La Niña</i>	Desvio padrão angular	16.49°	17.02°	21.30°	14.90°	14.52°
	Observações (N)	21	21	21	21	21
Ano 4	Vetor médio (μ)	356.14°	17.52°	55.30°	81.61°	100.06°
(Jun-2018 / Jul-2019)	Data média	26-Dec	18-Jan	25-Feb	23-Mar	11-Apr
	Comprimento médio do vetor (r)	0.96*	0.96*	0.93*	0.96*	0.95*
<i>El Niño</i>	Desvio padrão angular	16.58°	16.79°	21.77°	15.45°	17.62°
	Observações (N)	20	20	20	20	20
Ano 5	Vetor médio (μ)	348.41°	13.26°	48.35°	81.37°	94.57°
(Jun-2019 / Jul-2020)	Data média	18-Dec	14-Jan	18-Feb	23-Mar	5-Apr
	Comprimento médio do vetor (r)	0.94*	0.95*	0.91*	0.96*	0.95*
	Desvio padrão angular	19.70°	18.87°	24.70°	15.63°	18.30°
	Observações (N)	20	20	20	20	20
Ano 6	Vetor médio (μ)	338.89°	7.63°	32.24°	69.47°	80.82°
(Jun-2020 / Jul-2021)	Data média	8-Dec	08-Jan	02-Feb	10-Mar	22-Mar
	Comprimento médio do vetor (r)	0.95*	0.94*	0.85*	0.90*	0.93*
<i>La Niña</i>	Desvio padrão angular	19.08°	19.92°	32.42°	26.95°	22.05°
	Observações (N)	14	14	14	14	14
Ano 7	Vetor médio (μ)	282.99°	308.17°	7.48°	54.62°	71.68°
(Jun-2021 / Jul-2022)	Data média	12-Oct	08-Nov	08-Jan	24-Feb	12-Mar
	Comprimento médio do vetor (r)	0.97*	0.94*	0.83*	0.86*	0.93*
<i>La Niña</i>	Desvio padrão angular	14.95°	20.48°	35.47°	31.56°	21.15°
Ano 8	Observações (N)	22	22	22	22	22

(Jun-2022 / Apr-2023)	Vetor médio (μ)	307.39°	315.356°	15.55°	50.40°	65.71°
	Data média	7-Nov	15-Nov	16-Jan	20-Feb	6-Mar
<i>La Niña</i>	Comprimento médio do vetor (r)	0.93*	0.97*	0.93*	0.95*	0.95*
	Desvio padrão angular	21.38°	15.08°	21.87°	18.85°	18.27°

* Teste de Rayleigh ($p < 0.01$)

Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

3.2. Efeitos ambientais na fenologia de *Dicypellium caryophyllaceum*

O período de estudo incluiu dois ciclos de anomalias climáticas *El Niño* e quatro *La Niña*, com variação na distribuição das chuvas (Figura 4). Durante os anos de *La Niña*, detectou-se uma antecipação das fenofases reprodutivas nos meses de maior precipitação, com início da floração em outubro; nos anos sem anomalias climáticas, as fenofases reprodutivas tiveram início em dezembro, com data média de 25 de dezembro (Tabela 1; Figura 4).

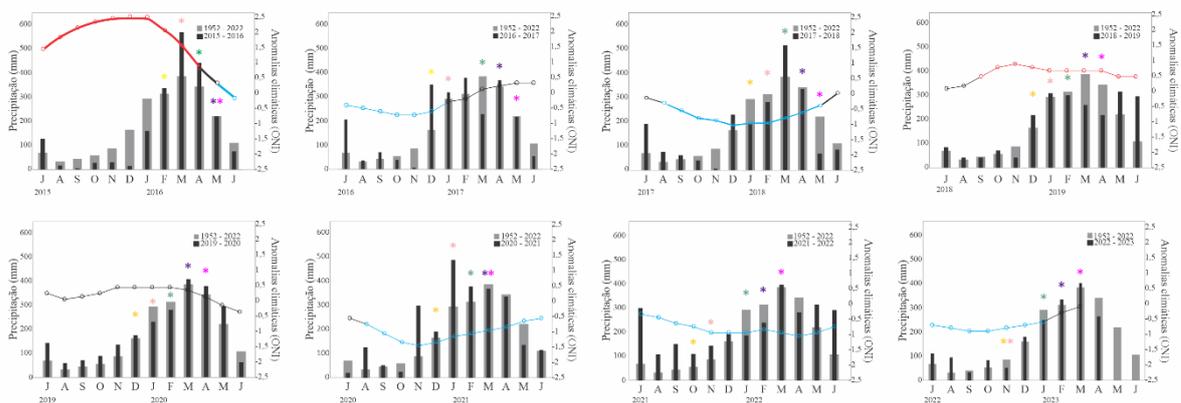


Figura 4. Variação interanual da precipitação no município de Vitória do Xingu, Estado do Pará, Brasil. Precipitação média mensal para o período entre 1952 e 2022 (barras cinza), precipitação mensal para o período entre 2015 e 2023 (barra preta), valores ONI indicam a intensidade mensal das anomalias climáticas associadas ao *El Niño* (linha vermelha) e *La Niña* (linha azul). O asterisco indica o mês correspondente à data média das fenofases reprodutiva (*): botão floral; (*) flor aberta; (*) fruto imaturo; (*) fruto maduro; (*) dispersão de sementes. Letras indicam os meses do ciclo reprodutivo no ano, iniciando em julho e finalizando em junho do ano subsequente. ONI: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

A análise de componentes principais (PCA) agrupou o período de estudo em termos de meses, e relacionou os eventos fenológicos com as variáveis ambientais (Figura 5A), explicando 66,6 % da variação total das fenofases reprodutivas. O eixo 1 (PC1) explicou 43,5%, da variação dos eventos fenológicos e contemplou 80% das variáveis ambientais (precipitação, umidade, insolação, temperatura), demonstrando que os padrões temporais das fenofases

reprodutivas (8 anos) estavam relacionados com os meses da estação chuvosa; O eixo 2 (PC2) contemplou as fenofases da planta e contribui com 23,1% da variação total das fenofases reprodutivas. As fenofases de botões florais e flores apresentaram relação positiva com fotoperíodo. A temperatura e a insolação foram inversamente relacionadas com as fenofases reprodutivas. Foram observadas correlações positivas elevadas entre a pluviosidade e a umidade em termos de frutos imaturos, frutos maduros e dispersão de sementes. As variáveis precipitação, umidade e fotoperíodo foram relacionadas com os meses do ciclo reprodutivo, e com precipitação e umidade, e tiveram uma relação maior com os meses de junho, julho, agosto e setembro. Correlações positivas elevadas ocorreram entre precipitação, umidade e frutos imaturos. Fruto maduro e dispersão de sementes apresentam uma relação positiva com precipitação e umidade. As variáveis climáticas precipitação, umidade e fotoperíodo se relacionaram com os meses de novembro, dezembro, janeiro, fevereiro, março, abril e maio, meses que a espécie contemplou o ciclo reprodutivo de *D. caryophyllaceum*. O GLM indicou que a produção de botões florais foi relacionada ao fotoperíodo (mais de 12,1 h de luz solar); a diminuição da insolação (257 horas/mês) foi associada a abertura das flores. As fenofases de frutos imaturos, frutos maduros e dispersão de sementes foram relacionados à umidade (aproximadamente 85%) (Figura 5B)

4. DISCUSSÃO

Os padrões de floração e frutificação de *Dicypellium caryophyllaceum* revelaram um ciclo reprodutivo anual do tipo unimodal (Figura 3). A análise das fenofases demonstrou que a espécie apresenta sazonalidade e sincronia na emissão de botões florais, flores abertas, frutos imaturos, frutos maduros e dispersão das sementes, conforme indicado pelo cumprimento médio do vetor r nas análises circulares (Tabela 1). A duração média de todas as fenofases foi de dois meses, exceto para os frutos imaturos, que duraram aproximadamente três meses, resultando em um ciclo reprodutivo completo de aproximadamente seis meses.

Ao comparar nossos resultados com estudos anteriores, como os de Magalhães e Alencar (1979) e Newstrom (2012), encontramos tanto concordâncias quanto discordâncias significativas. Magalhães e Alencar (1979) observaram um ciclo reprodutivo similar em espécies da família Lauraceae, indicando uma tendência de sazonalidade na floração e frutificação, o que corrobora nossas descobertas de sincronia fenológica em *Dicypellium caryophyllaceum*. Newstrom (2012), ao estudar fenologias de árvores tropicais, também destacou a importância da sazonalidade climática na determinação dos ciclos reprodutivos, consistente com a influência da precipitação que observamos na floração e frutificação de nossa espécie foco. Contudo, algumas discordâncias emergem ao considerar a duração das fenofases. Enquanto Newstrom (2012) relatou períodos de fenofases mais curtos para algumas espécies tropicais, nossos dados indicam durações ligeiramente mais prolongadas para *Dicypellium caryophyllaceum*, especialmente no caso dos frutos imaturos, que duraram cerca de três meses. Essa diferença pode ser atribuída a variações locais nas condições ambientais ou a adaptações específicas da espécie para maximizar o sucesso reprodutivo em seu habitat.

A sincronização dos períodos de floração observada em *D. caryophyllaceum* pode otimizar a atratividade e diminuir a concorrência por polinizadores, resultando em um aumento no sucesso reprodutivo (Deprá e Gaglianone, 2018). Além disso, a sincronização da floração pode reduzir o impacto da predação ao concentrar a atenção dos predadores em um período específico, permitindo que uma maior proporção de flores e sementes escapem à predação (Barros, Webber e Machado, 2013). A sincronia, duração e as sobreposições fenológicas observadas sugerem uma estratégia adaptativa que pode aumentar a eficiência reprodutiva, ao permitir que diferentes estágios de desenvolvimento ocorram simultaneamente, potencializando a polinização cruzada e a dispersão das sementes.

A análise de componentes principais (PCA) (Figura 4) explica 66,6% da variação total nas fenofases reprodutivas, identificando as variáveis ambientais mais preponderantes e suas relações com cada fenofase. Foi evidenciada uma forte correlação com o fotoperíodo (Figura 4B) no início do ciclo reprodutivo (botão floral), ocorrendo com duração do dia superior a 12 horas. A análise da disponibilidade de luz, especialmente o fotoperíodo, mostrou-se importante para a compreensão das fenofases reprodutivas de *D. caryophyllaceum*. Utilizando a PCA, identificou-se que o fotoperíodo e a precipitação são as variáveis ambientais mais influentes na fenologia da espécie, corroborando os estudos de Calle et al. (2010) e Santos et al. (2018). Esta análise revelou uma forte correlação entre a duração do dia e o início da floração, confirmando os achados de Rivera et al. (2002) e Wright et al. (2019), que observaram que o aumento da duração do dia induz o fluxo de floração em árvores tropicais.

Conforme observado em pesquisas na Costa Rica, a elevação na duração do dia está associada ao aumento do fluxo de floração em árvores tropicais (Borchert, Rivera e Hagnauer, 2002; Calle et al., 2010). Newstrom (2012) também indicou que condições de luz mais intensas podem promover maior frequência de floração, devido à ativação do fitocromo nas folhas, que estimula mecanismos hormonais e sua translocação para os botões florais. Em nosso estudo, verificamos que *D. caryophyllaceum* apresenta uma correlação moderada com o fotoperíodo, possivelmente devido à sua distribuição próxima à linha do equador, onde o fotoperíodo é quase constante ao longo do ano (aproximadamente 12h/12h).

Essas descobertas estão alinhadas com os resultados de Djerrab (2021), que observou que o fotoperíodo pode provocar alterações morfológicas e metabólicas significativas em plantas de sub-bosque, como *Coffea arabica* L. Günter (2008) também explicou a fenologia das árvores no Equador através da correlação entre precipitação, radiação e controle fotoperiódico. Em nosso estudo, a abertura das flores de *D. caryophyllaceum* ocorreu em condições de insolação aproximada de 100 a 150 horas por mês, o que está de acordo com os achados de Lobato et al. (2018), que identificaram que baixa insolação e alta precipitação favorecem o crescimento e incremento de biomassa em espécies amazônicas como *Carapa guianensis* Aubl.

Além disso, a temperatura é outro fator ambiental que favorece as alterações fenológicas, sendo que a nossa pesquisa demonstrou uma relação inversa entre temperatura e as fenofases reprodutivas de *D. caryophyllaceum* (Figura 4A). Este achado corrobora estudos de Fontes et al. (2018) e Carmo et al. (2022), que indicam que há necessidade de uma determinada quantidade de energia térmica para que as plantas completem suas fases

fenológicas. Em áreas com temperatura média anual de 27,5°C e variação inferior a 5°C, como a nossa área de estudo, essas condições são classificadas como isotérmicas e são ideais para o desenvolvimento fenológico de espécies tropicais (De Castro e Farias, 2005).

A disponibilidade de água desempenha um papel crucial na fenologia reprodutiva de *D. caryophyllaceum*, influenciando diretamente as fenofases de floração e frutificação. Nossos dados indicam que a pressão de turgor, resultante da disponibilidade hídrica no início da estação chuvosa, é fundamental para a expansão celular e crescimento dos botões florais, otimizada pela fotossíntese facilitada pelo fotoperíodo elevado nos meses anteriores ao período chuvoso. Estudos anteriores apoiam nossas descobertas, destacando a importância da precipitação na ativação das fenofases reprodutivas. Magalhães e Alencar (1979) observaram que a floração em espécies amazônicas, como *Aniba duckei* e *Goupia glabra*, ocorre durante períodos de alta disponibilidade hídrica, semelhante ao que foi observado em *Dicypellium caryophyllaceum*. Morellato, Camargo e Gressler (2013) explicam que o aumento da precipitação alivia o estresse hídrico das plantas, funcionando como um gatilho para iniciar a floração e frutificação. Esse fenômeno foi evidenciado também por Felseburgh, Peleja e Carmo (2016), que observaram padrões similares em outras espécies tropicais.

Nossos achados também ampliam o entendimento sobre a relação entre precipitação e fenologia reprodutiva. Observamos que o aumento da precipitação durante o ano de 2022 e início de 2023 promoveu o maior índice de frutificação observado em oito anos de estudo, com 73,33% das matrizes frutificando. Isso está alinhado com os resultados de Mendoza, Peres e Morellato (2017), que destacam a precipitação como um fator chave na frutificação de árvores tropicais. Em consonância com Borges et al. (2010), nossos dados sugerem que, embora a radiação solar seja um fator importante, ela não é o único determinante das fenofases. A elevada incidência de nuvens na Amazônia durante a estação chuvosa, que pode chegar a 80% de cobertura (INPE, 2022), também exerce uma influência significativa. Esse fenômeno foi observado na correlação negativa entre a antese e a presença de frutos imaturos com os níveis de insolação e temperatura, conforme demonstrado pela análise de Modelo Linear Generalizado (GLM). Além disso, concordamos com Wright et al. (1999) e Davis et al. (2022) sobre a influência das estações chuvosas e secas na intensidade dos índices de cobertura vegetal, observando pulsos de crescimento semelhantes em nossa área de estudo.

As variações interanuais nas fenofases reprodutivas de *D. caryophyllaceum* durante os eventos climáticos *El Niño* e *La Niña* foram avaliadas com base na média mensal da distribuição

pluviométrica dos últimos 50 anos e dos oito anos desta pesquisa (Figura 5). Os resultados revelaram que durante os anos de *El Niño* houve um atraso na floração, enquanto nos anos de *La Niña*, ocorreu uma antecipação. Um fenômeno semelhante foi observado na emissão dos botões florais de *D. caryophyllaceum*, onde a data média de floração foi deslocada para fevereiro no ano de 2015, durante um forte *El Niño*, e antecipada para outubro no ano de 2022, com o fenômeno *La Niña*. Estes resultados sugerem que a progressão sazonal da precipitação durante diferentes eventos ENSO (*El Niño* Southern Oscillation) promove a antecipação ou atraso da fenologia reprodutiva desta espécie.

Esses achados estão em harmonia com estudos anteriores, como os de Menezes et al. (2017) e Sakai; Kitajima (2019), que discutem como os fenômenos *El Niño* e *La Niña* afetam a floração e frutificação. Menezes et al. (2017) demonstraram alterações no período de floração de *Escheweilera tetrapetala* Mori (Lecythidaceae), em um ano de *El Niño* em uma floresta tropical úmida, enquanto Sakai e Kitajima (2019) observaram respostas fenológicas similares em outras espécies tropicais durante eventos climáticos extremos. Pau et al. (2013) também destacaram a sensibilidade das espécies tropicais às mudanças climáticas, indicando que essas espécies possuem uma estreita tolerância térmica, o que as torna altamente suscetíveis às variações climáticas.

A análise das variações fenológicas em áreas tropicais, como a Amazônia, mostra que os fenômenos *El Niño* produzem anomalias que aumentam a temperatura e diminuem a precipitação (Li et al., 2011). Essas alterações afetam diretamente a dinâmica do carbono (Asner et al., 2000) e a largura dos anéis das árvores (Carmo et al., 2022), além de impactarem a fenologia do dossel superior após períodos de seca prolongada, como observado durante o *El Niño* de 2015 e 2016 (Gonçalves et al., 2020). Essas pesquisas permitem inferir que mudanças climáticas que promovem altas temperaturas e/ou secas danificam fisiologicamente os órgãos vegetativos que convertem energia química em matéria orgânica (folhas) (Fonte et al., 2018; Santos et al., 2018).

A concordância entre nossos achados e estudos prévios fortalece a ideia de que as espécies tropicais são altamente sensíveis às variações climáticas e respondem às altas temperaturas durante os anos de *El Niño*, alterando seus ritmos fenológicos (Camargo et al., 2023; Fonte et al., 2018; Li et al., 2011; Menezes et al., 2017; Sakai e Kitajima, 2019). Por outro lado, o fenômeno *La Niña*, caracterizado por temperaturas mais baixas e maior precipitação, promovem a antecipação das fenofases reprodutivas no pau-cravo.

5. CONCLUSÃO

Investigamos a fenologia reprodutiva de *Dicypellium caryophyllaceum* e nossos resultados revelaram um padrão sazonal e síncrono de floração e frutificação durante a estação chuvosa, com base em uma série temporal de oito anos de observações. A análise dos dados indicou que a sincronia observada na emissão de botões florais, flores abertas, frutos imaturos e frutos maduros está relacionada com variáveis exógenas, como o fotoperíodo elevado e a insolação reduzida, sugerindo que a disponibilidade de água durante a estação chuvosa favorece o ciclo completo de desenvolvimento dos frutos.

Embora a pesquisa apresente limitações, como a concentração dos dados em apenas uma população e a possibilidade de não capturar a variabilidade total da espécie, acreditamos que nossos achados fornecem uma base sólida para futuras investigações. Sugere-se que pesquisas futuras explorem a influência de outras variáveis ambientais, como a umidade do solo e o déficit de pressão de vapor (DPV) bem como a interação entre *Dicypellium caryophyllaceum* e seus polinizadores e dispersores de sementes, para aprofundar a compreensão sobre os mecanismos fenológicos desta espécie.

Em suma, este estudo contribui para o campo de pesquisa da fenologia reprodutiva ao demonstrar que a sincronia dos períodos de floração é uma estratégia eficaz para aumentar a polinização cruzada e minimizar a predação de flores e sementes, resultando em um maior sucesso reprodutivo das plantas. Esperamos que nossos resultados influenciem práticas de manejo e conservação, promovendo avanços significativos na preservação e recuperação de populações de *D. caryophyllaceum* na Amazônia.

Além disso, a espécie parece ser sensível à mudança climática global, especificamente à Oscilação Sul do *El Niño*, que detectamos como uma antecipação de seu ciclo reprodutivo durante os anos de *La Niña*. Em conclusão, nossas descobertas sobre os padrões de floração e frutificação de *D. caryophyllaceum* proporcionam uma base sólida para futuras pesquisas, ao mesmo tempo em que desafiam algumas concepções estabelecidas, destacando a complexidade e a plasticidade fenológica desta espécie amazônica.

O monitoramento fenológico contínuo é crucial para o manejo adaptativo dos ecossistemas florestais. Coletar dados regulares permite detectar mudanças nos padrões de floração e frutificação, facilitando respostas rápidas a variações ambientais. A integração de dados fenológicos com informações climáticas oferece previsões precisas, permitindo a

implementação de medidas preventivas e corretivas. Tecnologias de sensoriamento remoto e modelagem climática aprimoram este monitoramento, identificando áreas críticas e desenvolvendo estratégias baseadas em dados robustos.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), a empresa Norte Energia/SA pela disponibilidade dos dados e liberação de acesso a área de estudo, a Universidade Estadual de Feira de Santana, campus Feira de Santana, aos laboratórios de Biotecnologia (BIOTEC) e (LEDETAN) da Universidade Federal do Pará campus de Altamira, pelo apoio durante a execução deste projeto científico.

Financiamento: PROCAD-Amazônia-Edital 21/2018.

7. REFERÊNCIAS

AERTS, R.; HONNAY, O. Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. **BMC Ecology**, v. 11, n. 1, p. 29, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1472-6785-11-29>

ALBERT, J. S. *et al.* Human impacts outpace natural processes in the Amazon. **Science**, v. 379, n. 6630, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.abo5003>

ALENCAR, R. DE; LIMA, R. A. DE; CORRÊA, R. G. C.; GOTTLIEB, O. R.; MARX, M. C.; SILVA, M. L. DA; MAIA, J. G. S.; MAGALHÃES, M. T.; ASSUMPCÃO, R. M. V. Óleos essenciais de plantas brasileiras. **Acta Amazonica**, v. 1, n. 3, p. 41–43, 1971. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-43921971013041>

ALEXANDRE, F. da S.; CANDEIAS, A. L. B.; GOMES, D. D. M. Revista Brasileira de Geografia Física. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 02, p. 758–769, 2021.

ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 6, p. 1223–1232, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>

ALMEIDA, A. F. de. A viagem de José Gonçalves da Fonseca e a cartografia do rio Madeira (1749-1752). **Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material**, v. 17, n. 2, p. 215–235, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-47142009000200011>

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>

ALVES, A. de O.; AZEVEDO, T. C. GOVERNANÇA AMBIENTAL E DESAFIOS SOCIOAMBIENTAIS CONTEMPORÂNEOS: UMA ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA. **RDE – Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 2, n. Dossiê Especial, p. 51–78, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.36810/rde.v2isaru20.8774>

ALVES, F. M.; LOVO, J.; LAGE VIANA, P.; ZAPPI, D. C. Spicy genus: *Dicypellium anisum* (Lauraceae), a newly discovered third species of the aromatic genus *Dicypellium*.

Phytotaxa, v. 635, n. 2, p. 165–172, 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.11646/phytotaxa.635.2.6>

ARMITAGE, D. R. *et al.* Adaptive co-management for social–ecological complexity.

Frontiers in Ecology and the Environment, v. 7, n. 2, p. 95–102, 2009. Disponível em:

<https://doi.org/10.1890/070089>

ASNER, G. P.; TOWNSEND, A. R.; BRASWELL, B. H. Satellite observation of El Niño effects on Amazon forest phenology and productivity. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 7, p. 981–984, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/1999GL011113>

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. DETER-ing Deforestation in the Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement. **American Economic Journal: Applied Economics**, v. 15, n. 2, p. 125–156, 2023. Disponível em:

<https://doi.org/10.1257/app.20200196>

BABWETEERA, F.; PLUMPTRE, A. J.; ADAMESCU, G. S.; SHOO, L. P.; BEALE, C. M.; REYNOLDS, V.; NYEKO, P.; MUHANGUZI, G. The ecology of tree reproduction in an African medium altitude rain forest. **Biotropica**, v. 50, n. 3, p. 405–417, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/btp.12563>

BACHMAN, S. P.; NIC LUGHADHA, E. M.; RIVERS, M. C. Quantifying progress toward a conservation assessment for all plants. **Conservation Biology**, v. 32, n. 3, p. 516–524, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/cobi.13071>

BANDEIRA CASTELO, T.; ADAMI, M.; NASCIMENTO DOS SANTOS, R. B. Fronteira Agrícola e a política de priorização dos municípios no combate ao desmatamento no estado do Pará, Amazônia. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 28, n. 2, p. 434–457, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36920/esa-v28n2-8>

BARROS, E. C. de O.; WEBBER, A. C.; MACHADO, I. C. Limitação de polinizadores e mecanismo de autoincompatibilidade de ação tardia como causas da baixa formação de frutos em duas espécies simpátricas de *Inga* (Fabaceae - Mimosoideae) na Amazônia Central. **Rodriguésia**, v. 64, n. 1, p. 37–47, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2175-78602013000100005>

BOGDZIEWICZ, M.; JOURNÉ, V.; HACKET-PAIN, A.; SZYMKOWIAK, J. Mechanisms driving interspecific variation in regional synchrony of trees reproduction. **Ecology Letters**, v. 26, n. 5, p. 754–764, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ele.14187>

BORCHERT, R.; RIVERA, G.; HAGNAUER, W. Modification of Vegetative Phenology in a Tropical Semi-deciduous Forest by Abnormal Drought and Rain1. **Biotropica**, v. 34, n. 1, p. 27–39, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2002.tb00239.x>

BORIONI, R.; SÁNCHEZ, L. E. Reforming environmental licensing in Brazil: Discourses analysis in the National Environment Council. **Ambiente & Sociedade**, v. 26, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0077r4vu202313oa>

BRASIL. Lei n. 9.605, 12 de fevereiro de 1998 . Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **DOU de 13.2.1998 e retificado em 17.2.1998**, Brasília, DF: [s. n.], 1998.

BRASIL. **Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. [S. l.: s. n.] Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 10 jul. 2023.

BRASIL. **LEI n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, Seção 1, p. 16, 2012. Disponível em: Diário Oficial da União, Seção 1, p. 16

BRASIL. **Portaria MMA Nº 148, de 7 de junho de 2022**. Altera os Anexos da Portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014, da Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014, e da Portaria nº 445, de 17 de dezembro de 2014, referentes à atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção. Brasília, DF: Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção, 2022. Disponível em: Diário Oficial da União, Seção 1, p. 74

BROWN, J. L.; BENNETT, J. R.; FRENCH, C. M. SDMtoolbox 2.0: the next generation Python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. **PeerJ**, v. 5, p. e4095, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.7717/peerj.4095>

BUECHLING, A.; TOBALSKE, C. Predictive Habitat Modeling of Rare Plant Species in Pacific Northwest Forests. **Western Journal of Applied Forestry**, v. 26, n. 2, p. 71–81, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/wjaf/26.2.71>

BUSTAMANTE, M. M. C. *et al.* Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. **Global Change Biology**, v. 22, n. 1, p. 92–109, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.13087>

CALLE, Z.; SCHLUMPBERGER, B. O.; PIEDRAHITA, L.; LEFTIN, A.; HAMMER, S. A.; TYE, A.; BORCHERT, R. Seasonal variation in daily insolation induces synchronous bud break and flowering in the tropics. **Trees**, v. 24, n. 5, p. 865–877, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0456-3>

CAMARGO, M. G. G.; ARISTA, M.; LUNAU, K.; ORTIZ, P. L.; STRADIC, S. Le; ROCHA, N. M. W. B.; MORELLATO, L. P. C. Flowering phenology of species with similar flower colours in species-rich communities. **Flora**, v. 304, p. 152312, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2023.152312>

CANO-BARBACIL, C.; CANO SÁNCHEZ, J. **EL IMPORTANTE PAPEL DE LAS SERIES LARGAS EN FENOLOGÍA**. [s. n.].

CARVALHO, R. L. *et al.* Pervasive gaps in Amazonian ecological research. **Current Biology**, v. 33, n. 16, p. 3495- 3504.e4, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.06.077>

CARVALHO RIBEIRO, S.; SOARES FILHO, B.; CESALPINO, T.; ARAÚJO, A.; TEIXEIRA, M.; CARDOSO, J.; FIGUEIRAS, D.; NUNES, F.; RAJÃO, R. Bioeconomic

markets based on the use of native species (NS) in Brazil. **Ecological Economics**, v. 218, p. 108124, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108124>

CATENACCI, F. S.; SIMON, M. F. A checklist of Lecythidaceae in the upper Madeira River, Rondônia, Brazil with comments on diversity and conservation. **Brittonia**, v. 69, n. 4, p. 447–456, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12228-017-9482-4>

CHAMBOULEYRON, R. Oportunidade e miséria na Amazônia seiscentista. **Raízes da Amazônia**, v. 1, n. 1, p. 105–124, 2005.

CHAMBOULEYRON, R. O «cravo do Maranhão» e a Amazônia global (séculos XVII–XVIII). **Revista de Indias**, v. 82, n. 285, p. 329–361, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3989/revindias.2022.010>

CHOI, Y. *et al.* Can a national afforestation plan achieve simultaneous goals of biodiversity and carbon enhancement? Exploring optimal decision making using multi-spatial modeling. **Biological Conservation**, v. 267, p. 109474, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109474>

CLIMATE PREDICTION CENTER INTERNET TEAM. **El Niño / Southern Oscillation (ENSO)** . , 2023. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 5 jul. 2023.

DA COSTA, A. C. G.; VASCONCELOS, L. V.; DE LIMA, C. T.; CALDEIRA, C. F.; ZAPPI, D. C.; GIULIETTI, A. M.; WATANABE, M. T. C. Reproductive phenology of critical native plant species for mineland restoration in the eastern Amazon. **Plant Species Biology**, v. 38, n. 3, p. 131–143, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12406>

DANIEL, J. **O Tesouro Descoberto no Máximo Rio Amazonas (1741-1757) de João Daniel e a História da Alimentação**. 1. ed. [S. l.: s. n.]. v. 1.

DAVIS, C. C.; LYRA, G. M.; PARK, D. S.; ASPRINO, R.; MARUYAMA, R.; TORQUATO, D.; COOK, B. I.; ELLISON, A. M. New directions in tropical phenology. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 37, n. 8, p. 683–693, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.05.001>

DEARMOND, D.; EMMERT, F.; PINTO, A. C. M.; LIMA, A. J. N.; HIGUCHI, N. A Systematic Review of Logging Impacts in the Amazon Biome. **Forests**, v. 14, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f14010081>

DEPRÁ, M. S.; GAGLIANONE, M. C. INTERAÇÕES ENTRE PLANTAS E POLINIZADORES SOB UMA PERSPECTIVA TEMPORAL. **Oecologia Australis**, v. 22, n. 01, p. 01–16, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4257/oeco.2018.2201.01>

DONINI, C. V. Z. de S.; SANTOS, C. F. M. dos; FIORI, M. M. A colonização portuguesa e a exploração de pau-cravo na Amazônia. **VII Congresso Internacional de História**, p. 3385–3392, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/7cih.pphuem.1409>

- DUNHAM, A. E.; RAZAFINDRATSIMA, O. H.; RAKOTONIRINA, P.; WRIGHT, P. C. Fruiting phenology is linked to rainfall variability in a tropical rain forest. **Biotropica**, v. 50, n. 3, p. 396–404, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/btp.12564>
- E. PABON-MORENO, D.; MUSAVI, T.; MIGLIAVACCA, M.; REICHSTEIN, M.; RÖMERMANN, C.; D. MAHECHA, M. Ecosystem physio-phenology revealed using circular statistics. **Biogeosciences**, v. 17, n. 15, p. 3991–4006, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/bg-17-3991-2020>
- EDWARDS, D. P.; TOBIAS, J. A.; SHEIL, D.; MEIJAARD, E.; LAURANCE, W. F. Maintaining ecosystem function and services in logged tropical forests. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 29, n. 9, p. 511–520, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.07.003>
- ELITH, J.; PHILLIPS, S. J.; HASTIE, T.; DUDÍK, M.; CHEE, Y. E.; YATES, C. J. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and Distributions**, v. 17, n. 1, p. 43–57, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- ESRI. **ArcGIS Desktop**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2016.
- FARIAS, R. S.; PEREIRA SILVA, M. P.; MACIEL-SILVA, A. S.; PÔRTO, K. C. Influence of environmental factors on the distribution of Calymperes and Syrrhopodon (Calymperaceae, Bryophyta) in the Atlantic Forest of Northeastern Brazil. **Flora**, v. 234, p. 158–164, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.07.011>
- FELSEMBURGH, C. A.; PELEJA, V. L.; CARMO, J. B. Fenologia de Aniba parviflora (Meins.) Mez. em Uma Região do Estado do Pará, Brasil. **Biota Amazônia**, v. 6, n. 3, p. 31–39, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n3p31-39>
- FERNANDEZ, E.; MARTINELLI, G.; QUINET, A. *Dicypellium caryophyllaceum*. **The IUCN Red List of Threatened Species 2023:e.T36187A176128859**, v. 8235, 2023. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T36187A176128859.pt>. Acesso. Acesso em: 13 jul. 2023.
- FERREIRA, A. R. Diário da viagem filosófica pela capitania de São José do Rio Negro. **Revista do Instituto Histórico Geográfico Brasileiro**, v. 70, p. 718, 1885.
- FIGUEIREDO, S. M. de M.; FIGUEIREDO, E. O. Modelagem de distribuição de espécies arbóreas por classe diamétrica no sudoeste da Amazônia. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 124, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v47n124.06>
- FONTES, C. G.; DAWSON, T. E.; JARDINE, K.; MCDOWELL, N.; GIMENEZ, B. O.; ANDEREGG, L.; NEGRÓN-JUÁREZ, R.; HIGUCHI, N.; FINE, P. V. A.; ARAÚJO, A. C.; CHAMBERS, J. Q. Dry and hot: the hydraulic consequences of a climate change–type drought for Amazonian trees. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, p. 20180209, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0209>
- GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; CHAZDON, R.; EWERS, R. M.; HARVEY, C. A.; PERES, C. A.; SODHI, N. S. Prospects for tropical forest biodiversity in a human-modified world. **Ecology Letters**, v. 12, n. 6, p. 561–582, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01294.x>

GIBSON, L.; LEE, T. M.; KOH, L. P.; BROOK, B. W.; GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; PERES, C. A.; BRADSHAW, C. J. A.; LAURANCE, W. F.; LOVEJOY, T. E.; SODHI, N. S. Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 378–381, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature10425>

GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M.; QUEIROZ, L. P.; WANDELERY, M. G.; BERG, C. V. D. Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil. **Mega diversidade**, v. 1, p. 52–61, 2005.

GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY - GBIF. **GBIF.org**. , 2023. Disponível em: <https://www.gbif.org/species/5792801/metrics>. Acesso em: 9 ago. 2023.

GODOI, E. L.; MENDES, T. A.; BATALHÃO, A. C. S. Implementation of Good Practices in Environmental Licensing Processes. **Laws**, v. 11, n. 5, p. 77, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/laws11050077>

GONÇALVES, N. B.; LOPES, A. P.; DALAGNOL, R.; WU, J.; PINHO, D. M.; NELSON, B. W. Both near-surface and satellite remote sensing confirm drought legacy effect on tropical forest leaf phenology after 2015/2016 ENSO drought. **Remote Sensing of Environment**, v. 237, p. 111489, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111489>

GUISAN, A.; BROENNIMANN, O.; ENGLER, R.; VUST, M.; YOCCOZ, N. G.; LEHMANN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Using Niche-Based Models to Improve the Sampling of Rare Species. **Conservation Biology**, v. 20, n. 2, p. 501–511, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00354.x>

HIJMANS, R. J.; CAMERON, S. E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G.; JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 1965–1978, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.1276>

HIJMANS, R. J.; KARNEY, C.; GEOGRAPHICLIB,] (; WILLIAMS, E.; VENNES, C.; MAINTAINER, J. Package “geosphere”. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00190012>

HOFFMANN, S. Challenges and opportunities of area-based conservation in reaching biodiversity and sustainability goals. **Biodiversity and Conservation**, v. 31, n. 2, p. 325–352, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02340-2>

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Análise do Tempo e do Clima**. , 2023. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 5 jul. 2023.

IUCN. Scope(s): Global Language: Portuguese *Dicypellium caryophyllaceum*, Cravo-de-Maranhão THE IUCN RED LIST OF THREATENED SPECIES™. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T36187A176128859.pt>

FLORA E FUNGA DO BRASIL. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**., 2024. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 9 jul. 2024.

JOLY, C. A.; HADDAD, C. F. B.; VERDADE, L. M.; OLIVEIRA, M. C. de; BOLZANI, V. da S.; BERLINCK, R. G. S. Diagnóstico da pesquisa em biodiversidade no Brasil. **Revista**

- USP, n. 89, p. 114–133, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i89p114-133>
- LAURANCE, W. F. *et al.* Averting biodiversity collapse in tropical forest protected areas. **Nature**, v. 489, n. 7415, p. 290–294, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature11318>
- LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. **FactoMineR** : An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, n. 1, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>
- LEWIS, S. L.; EDWARDS, D. P.; GALBRAITH, D. Increasing human dominance of tropical forests. **Science**, v. 349, n. 6250, p. 827–832, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aaa9932>
- LI, W.; ZHANG, P.; YE, J.; LI, L.; BAKER, P. A. Impact of two different types of El Niño events on the Amazon climate and ecosystem productivity. **Journal of Plant Ecology**, v. 4, n. 1–2, p. 91–99, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jpe/rtq039>
- LOCKS, C. J.; MATRICARDI, E. A. T. Estimativa de impactos da extração seletiva de madeiras na Amazônia utilizando dados LIDAR. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 481–495, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509826007>
- LOPES, A. *et al.* Predicting the potential distribution of aquatic herbaceous plants in oligotrophic Central Amazonian wetland ecosystems. **Acta Botanica Brasilica**, v. 35, n. 1, p. 22–36, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-33062020abb0188>
- MAGALHÃES, L. M. S.; ALENCAR, J. da C. Fenologia do pau-rosa (*Aniba duckei* Kostermans), Lauraceae, em floresta primária na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 9, n. 2, p. 227–232, 1979. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-43921979092227>
- MAPBIOMAS, P. Coleção 3 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. **Available in: <https://mapbiomas.org/>. Access Apr**, v. 22, 2021. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.58053/MapBiomias/VJIJCL>
- MBEREGO, S. Temporal patterns of precipitation and vegetation variability over Botswana during extreme dry and wet rainfall seasons. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 6, p. 2947–2960, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.4891>
- MENDOZA, I.; PERES, C. A.; MORELLATO, L. P. C. Continental-scale patterns and climatic drivers of fruiting phenology: A quantitative Neotropical review. **Global and Planetary Change**, v. 148, p. 227–241, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.12.001>
- MENEZES, I. S.; DO COUTO-SANTOS, A. P. L.; FUNCH, L. S. The influence of El Niño and edge effects on the reproductive phenology and floral visitors of *Eschweilera tetrapetala* Mori (Lecythidaceae), an endemic species of the Atlantic forest of northeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 32, n. 1, p. 1–11, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-33062017abb0083>
- MOKANY, K.; WESTCOTT, D. A.; PRASAD, S.; FORD, A. J.; METCALFE, D. J. Identifying Priority Areas for Conservation and Management in Diverse Tropical Forests.

PLoS ONE, v. 9, n. 2, p. e89084, 2014. Disponível em:
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089084>

MORAES, J. **Historia da companhia de Jesus na extinta provincia do Maranhão e Pará:** Typ. do Commercio, de Brito & Braga, 1860.

MORELLATO, L. P. C.; CAMARGO, M. G. G.; GRESSLER, E. A Review of Plant Phenology in South and Central America. *In: Phenology: An Integrative Environmental Science*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. p. 91–113. Disponível em:
https://doi.org/10.1007/978-94-007-6925-0_6

NEWSTROM, L. E.; FRANKIE, G. W.; BAKER, H. G. A New Classification for Plant Phenology Based on Flowering Patterns in Lowland Tropical Rain Forest Trees at La Selva, Costa Rica. **Biotropica**, v. 26, n. 2, p. 141, 1994. Disponível em:
<https://doi.org/10.2307/2388804>

NORONHA, J. M. **Roteiro da viagem da cidade do Pará até as últimas colônias do sertão da província (1768)**. : EdUSP, 2006. v. 1.

NORTE ENERGIA. **Mapa de solos da área de influência indireta**. Vitoria do Xingu: [s. n.], 2008.

OKSANEN, J. *Vegan: an introduction to ordination*. 2015.

PERAZZONI, F.; BACELAR-NICOLAU, P.; PAINHO, M. Geointelligence against Illegal Deforestation and Timber Laundering in the Brazilian Amazon. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 6, p. 398, 2020. Disponível em:
<https://doi.org/10.3390/ijgi9060398>

PETERSON, A. T. Ecological niche conservatism: a time-structured review of evidence. **Journal of Biogeography**, v. 38, n. 5, p. 817–827, 2011. Disponível em:
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02456.x>

PHILLIPS, S.; DUDÍK, M.; ROBERT E. SCHAPIRE. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *In: R. GREINER; D. SCHUURMANS (org.). Proceedings, Twenty-First International Conference on Machine Learning, ICML 2004* . Banff, Alta: [s. n.], 2006. p. 655–662.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, n. 3–4, p. 231–259, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

PILLAY, R.; VENTER, M.; ARAGON-OSEJO, J.; GONZÁLEZ-DEL-PLIEGO, P.; HANSEN, A. J.; WATSON, J. E.; VENTER, O. Tropical forests are home to over half of the world's vertebrate species. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 20, n. 1, p. 10–15, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/fee.2420>

POORTER, L. *et al.* Diversity enhances carbon storage in tropical forests. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 11, p. 1314–1328, 2015. Disponível em:
<https://doi.org/10.1111/geb.12364>

QIN, Y. *et al.* Improved estimates of forest cover and loss in the Brazilian Amazon in 2000–2017. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 8, p. 764–772, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0336-9>

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Viena, Austria: [s. n.], 2023. *E-book*. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 9 ago. 2023.

SAKAI, S.; KITAJIMA, K. Tropical phenology: Recent advances and perspectives. **Ecological Research**, v. 34, n. 1, p. 50–54, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1440-1703.1131>

SALOMÃO, R. de P.; NA, R. Pau-cravo “roga do sertão” em risco de extinção. **Ciência Hoje**, v. 49, n. 289, p. 46–50, 2012. Disponível em: https://cienciahoje.periodicos.capes.gov.br/storage/acervo/ch/ch_289.pdf. Acesso em: 1 set. 2023.

SALOMÃO, R. de P.; ROSA, N. de A. Pau-cravo “Droga do sertão” em risco de extinção. **Ciência Hoje**, v. 49 (289), p. 45–50, 2012. Disponível em: https://cienciahoje.periodicos.capes.gov.br/storage/acervo/ch/ch_289.pdf. Acesso em: 1 set. 2023.

SALOMÃO, R. P.; ROSA, N. A.; MORAIS, K. A. C.; GOMES, V. H. F. Pau-cravo (*Dicypellium caryophyllatum* (Mart.) Ness – Lauraceae) uma espécie arbórea comercial ameaçada na Amazônia. *In*: 2010, Manaus. **Congresso Nacional de Botânica**. Manaus: [s. n.], 2010. p. 1–2.

SANCHEZ, A. C.; OSBORNE, P. E.; HAQ, N. Identifying the global potential for baobab tree cultivation using ecological niche modelling. **Agroforestry Systems**, v. 80, n. 2, p. 191–201, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9282-2>

SÁNCHEZ-TAPIA, A.; MORTARA, S. R.; BEZERRA ROCHA, D. S.; MENDES BARROS, F. S.; GALL, G.; DE SIQUEIRA, M. F. modleR: a modular workflow to perform ecological niche modeling in R. **BioRxiv**, p. 2020–2024, 2020.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. Tito.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBREERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. Ferreira. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018 a.

SANTOS, V. A. H. F. dos; FERREIRA, M. J.; RODRIGUES, J. V. F. C.; GARCIA, M. N.; CERON, J. V. B.; NELSON, B. W.; SALESKA, S. R. Causes of reduced leaf-level photosynthesis during strong El Niño drought in a Central Amazon forest. **Global Change Biology**, v. 24, n. 9, p. 4266–4279, 2018 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14293>

SANTOS, P. M.; LORETO, M. das D. S. de; OLIVEIRA, M. L. R. de. O licenciamento ambiental na legislação brasileira: uma análise a partir da visão crítica da justiça ambiental. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, v. 13, n. 2, p. 329–364, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.7213/revdireconsoc.v13i2.28805>

SECRETARIA EXECUTIVA DA INICIATIVA AMAZÔNIA+10. **CHAMADA DE PROPOSTAS EXPEDIÇÕES CIENTÍFICAS – INICIATIVA AMAZÔNIA+10 (2023)**. ,

2023. Disponível em: https://2674d7a2-d750-449d-8d95-d5e5e21b80bb.usrfiles.com/ugd/2674d7_1bd0b59b5fe944718d3360758eb70947.pdf. Acesso em: 30 jun. 2024.

SILVA, P. O. Da; ALMEIDA, S. E. S.; OLIVEIRA, T. C. D. S.; MENINO, G. C. D. O.; ALVES, R. D. F. B. Reproductive and vegetative phenology of *Qualea multiflora* mart. In cerrado. **Oecologia Australis**, v. 24, n. 1, p. 127–140, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2401.10>

SPANNER, G. C.; HERRERA, R. C.; ALVAREZ, W. de P.; LIMA, L. de O.; LIMA, A. J. N. Distribuição potencial de *Vouacapoua americana* Aubl. na Amazônia brasileira e o impacto da mudança no uso do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 1094–1115, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p1094-1115>

THOMAS, E.; JALONEN, R.; LOO, J.; BOSCHER, D.; GALLO, L.; CAVERS, S.; BORDÁCS, S.; SMITH, P.; BOZZANO, M. Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 333, p. 66–75, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015>

TOMAZ, J. S.; BEZERRA, C. de S.; AGUIAR, A. V. de; WREGGE, M. S.; LOPES, M. T. G. Prediction of the natural distribution, habitat and conservation of *Stryphnodendron pulcherrimum* (Willd.) Hochr. in response to global climate change. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632022v5272422>

ULANOWSKA, M.; OLAS, B. Biological properties and prospects for the application of eugenol—a review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 7, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms22073671>

VAN ZUIJLEN, K.; BISANG, I.; NOBIS, M. P.; BERGAMINI, A. Extinction risk of European bryophytes predicted by bioclimate and traits. **Biological Conservation**, v. 293, p. 110584, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110584>

VELASTEGUI-MONTOYA, A.; MONTALVÁN-BURBANO, N.; PEÑA-VILLACRESES, G.; DE LIMA, A.; HERRERA-FRANCO, G. Land Use and Land Cover in Tropical Forest: Global Research. **Forests**, v. 13, n. 10, p. 1709, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f13101709>

WRIGHT, S. J.; CALDERÓN, O.; MULLER-LANDAU, H. C. A phenology model for tropical species that flower multiple times each year. **Ecological Research**, v. 34, n. 1, p. 20–29, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1440-1703.1017>

WRIGHT, S. J.; CARRASCO, C.; CALDERON, O.; PATON, S. The El Niño Southern Oscillation, Variable Fruit Production, and Famine in a Tropical Forest. **Ecology**, v. 80, n. 5, p. 1632, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/176552>

YANG, G.; LI, X.; YU, T.; WU, S.; LIU, Y. A New Model of Environmental-Economic Coordination Prediction Using Credible Neural Network Integration and Big Data Analysis. **Security and Communication Networks**, v. 2022, p. 1–9, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/3454821>

YIN, L.; FU, R.; SHEVLIAKOVA, E.; DICKINSON, R. E. How well can CMIP5 simulate precipitation and its controlling processes over tropical South America? **Climate Dynamics**,

v. 41, n. 11–12, p. 3127–3143, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1582-y>

ZAR, J. H. Biostatistical Analysis. *In*: Prentice Hall, 2010. p. 490–517. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119995784.refs>

ZOGHBI, M.; SALOMÃO, R. P.; GUILHON, G. Leaf essential oils of *Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees (Lauraceae): an almost extinct species in the Amazon. **American Journal of Essential Oils and Natural Products**, v. 1, n. 2, p. 19–21, 2013.

CAPÍTULO 2: NOVOS REGISTROS DE *DICYPELLIUM CARYOPHYLLACEUM* (MART.) NEES, LAURACEAE, EM TERRITÓRIOS DA AMAZÔNIA: OPORTUNIDADES E DESAFIOS PARA A CONSERVAÇÃO

RESUMO

A exploração histórica de *Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees (pau-cravo) devido às suas propriedades aromáticas e medicinais resultou em sua rara ocorrência na Amazônia. Com apenas 249 plantas adultas registradas no Estado do Pará, a espécie encontra-se listada como ameaçada pela IUCN e na Portaria nº 148/2022 do Brasil. Historicamente abundante, a drástica redução de suas populações decorreu da intensa exploração para extração de sua casca no período colonial. Este estudo objetivou integrar novos registros de campo, que incluem descobertas em municípios onde a espécie não havia sido previamente documentada, e aplicar modelagem de distribuição potencial. Os registros de ocorrência foram obtidos de herbários e bases de dados como GBIF, JABOT e Species Link. Expedições em propriedades particulares aumentaram a qualidade preditiva do modelo, com material botânico coletado em campo incorporado ao Herbário Padre José Maria Albuquerque (HATM). Utilizando o algoritmo Maxent, os dados abióticos incluíram 19 variáveis bioclimáticas do WorldClim e dados edáficos do SoilGrids. A análise de correlação foi aplicada para minimizar a multicolinearidade. A projeção do modelo indicou que 36% das áreas de adequabilidade estão em áreas protegidas, enquanto 64% estão em terras particulares ou públicas não destinadas. Desse modo, foram identificados 74 novos espécimes, tanto juvenis quanto adultos, que incluíram registros inéditos nos municípios de Brasil Novo, Medicilândia e Pacajá. Esses resultados reforçam a necessidade de políticas públicas para intensificar a busca por novos registros de ocorrência e promover a conservação da espécie na Amazônia.

DESTAQUES:

Descoberta de 74 novos espécimes de *Dicypellium caryophyllaceum*, incluindo registros inéditos em municípios como Brasil Novo, Medicilândia e Pacajá.

Unidades de Conservação cobrem 36% das áreas adequadas para pau-cravo, reforçando a necessidade de pesquisa e conservação contínua na Amazônia.

Foram observadas áreas de adequabilidade ambiental para *Dicypellium caryophyllaceum* em terras particulares na Amazônia.

Este estudo gera subsídios para revisão de estratégias de conservação para o *Dicypellium caryophyllaceum*, espécie historicamente valorizada por suas propriedades aromáticas e medicinais.

Palavras-chave: Modelagem preditiva; Maxent; Unidades de Conservação; Terras Indígenas; Pau-cravo

1. INTRODUÇÃO

As florestas tropicais desempenham um papel crucial nos esforços globais de conservação da biodiversidade e sustentabilidade ambiental (Gibson et al., 2011; Lewis; Edwards; Galbraith, 2015; Poorter et al., 2015; Velastegui-Montoya et al., 2022). A Amazônia, em particular, é um dos domínios fitogeográficos mais ricos em biodiversidade do planeta, abrigando uma vasta gama de espécies vegetais e animais (Gardner et al., 2009; Laurance et al., 2012; Pillay et al., 2022). A conservação do Domínio Fitogeográfico da Amazônia é essencial para a manutenção da diversidade biológica e deve promover o desenvolvimento econômico sustentável das populações locais que dependem diretamente de seus recursos naturais (Edwards et al., 2014; Laurance et al., 2012).

Nesse contexto, a preservação de espécies nativas, como o *Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees (pau-cravo), torna-se fundamental (Bustamante et al., 2016; Mokany et al., 2014). O pau-cravo é uma espécie da família Lauraceae, endêmica da Amazônia e impulsionou a colonização dessa região no século XVII, através da coleta das chamadas Drogas do Sertão, que competiam com as especiarias provenientes da Índia, e eram vistas como uma oportunidade de enriquecimento para os portugueses (Chambouleyron, 2005, 2022). Conhecida por suas propriedades aromáticas e medicinais, com registros da década de 1770, era vendida como especiaria e usada como moeda de troca no Brasil (Alexandre; Candeias; Gomes, 2021; Daniel, 1975) competindo diretamente com a canela (*Cinnamomum verum* J. Presl) e o cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum* L. Merr.) por possuir sabores e aroma de ambos. Os óleos essenciais extraídos do caule, das folhas e ramos do pau-cravo apresentam um alto conteúdo de eugenol, além de outros compostos significativos, evidenciando seu potencial para diversas aplicações industriais e terapêuticas (Alencar et al., 1971; Zoghbi; Salomão; Guilhon, 2013).

Registros históricos indicam que a espécie era relativamente abundante, ocupando grande parte da Amazônia Legal, com populações distribuídas ao longo dos rios Amazonas, Xingu, Tapajós, Tocantins, Trombetas, Negro e afluentes (Ferreira, 1885; Noronha, 2006). Contudo, a perda de habitat tem sido um fator crítico para o declínio da espécie, em virtude de altas taxas de desmatamento, o que agravou a situação das espécies vulneráveis (Albert et al., 2023). A redução das populações de *D. caryophyllaceum* foi tão severa que a espécie agora é considerada criticamente ameaçada de extinção (Fernandez; Martinelli; Quinet, 2023).

Para reverter essa situação, torna-se essencial implementar estratégias de conservação que incluam a proteção dos habitats remanescentes e programas de reflorestamento com a espécie. A exploração sustentável do pau-cravo pode oferecer grandes benefícios econômicos, especialmente para as indústrias farmacêutica e alimentícia (Zoghbi, Salomão e Guilhon, 2013). No entanto, a exploração ao longo dos séculos tornou a espécie rara na Amazônia, com registros científicos atuais de apenas 249 indivíduos adultos, distribuídos em duas populações no Estado do Pará, Brasil (Fernandez; Martinelli; Quinet, 2023; IUCN, 2023). Historicamente, a espécie era abundante, ocupando grandes áreas da Amazônia Legal, mas a exploração intensa para extração de sua casca levou a uma drástica redução de suas populações no passado (Chambouleyron, 2022; Noronha, 2006; Ferreira, 1885).

A conservação das espécies nativas é fundamental para a restauração ecológica e a preservação da biodiversidade, sendo algo amplamente reconhecida (Thomas et al., 2014). Pesquisas anteriores têm demonstrado o papel crucial das florestas tropicais na manutenção da biodiversidade global (Aerts; Honnay, 2011), sendo a fragmentação e a degradação do habitat as principais ameaças à biodiversidade na Amazônia (Catenacci; Simon, 2017). Estudos demonstram que a utilização de plantas nativas em programas de reflorestamento pode aumentar a resiliência dos ecossistemas e melhorar a qualidade do solo (Silva et al., 2020). No caso de *D. caryophyllaceum*, diversos trabalhos exploram suas propriedades aromáticas e medicinais, evidenciando seu potencial para a indústria farmacêutica (Zoghbi; Salomão; Guilhon, 2013). No entanto, a maioria das pesquisas tem se concentrado em aspectos químicos (Zoghbi, Salomão e Guilhon, 2013) e usos tradicionais da planta (Chambouleyron, 2022), deixando lacunas significativas no conhecimento sobre sua ecologia e conservação. Nesse contexto, a modelagem da distribuição potencial de espécies vegetais nativas e ameaçadas de extinção é uma ferramenta valiosa para identificar áreas prioritárias para conservação e restauração florestal (Sánchez-Tapia et al., 2020).

Apesar da relevância histórica de *D. caryophyllaceum*, existe uma lacuna acerca de sua distribuição. Para suprir essa deficiência na literatura científica, este estudo buscou integrar novos registros de campo, que incluem descobertas em municípios onde a espécie não havia sido previamente documentada, e aplicar modelagem de distribuição potencial. Essas ações visam aumentar o conhecimento científico sobre a localização e a presença da espécie na região amazônica. Além disso, os esforços de conservação aplicados ao *D. caryophyllaceum* na Amazônia Legal podem fornecer um *framework* valioso que pode ser adaptado para a proteção

de espécies em outros ecossistemas de florestas tropicais. Para Choi et al. (2022), não existe uma solução universal para a conservação das florestas e da biodiversidade, existem estratégias bem-sucedidas que podem ser adaptadas para conservação em regiões com desafios ecológicos e econômicos semelhantes.

Assim, objetivando entender como a espécie está atualmente distribuída na Amazônia, este trabalho buscou delinear áreas de alta adequabilidade ambiental para *D. caryophylaceum* dentro de Unidades de Conservação, Terras Indígenas e Áreas Particulares constantes no Cadastro Ambiental Rural (CAR) e identificar áreas prioritárias para o manejo e/ou reflorestamento de *D. caryophylaceum*, destacando zonas de alta adequabilidade ambiental e viabilidade socioeconômica, contribuindo, dessa forma, com políticas públicas com foco na conservação de espécies ameaçadas.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1 Área de estudo, base de dados utilizada e critérios de seleção de amostras

A área de estudo foi a Amazônia Legal, com uma zona de influência de 100 km, o que cobre aproximadamente 6 milhões de quilômetros quadrados (Figura 1). A área apresenta clima regional e tropical (Af, As, Aw), abrange planícies e pequenas porções de relevo, o clima é quente e úmido com precipitação anual acima de 2.500 mm e as temperaturas anuais de 27,6°C, variando sazonalmente entre 25,8 e 29°C (Alvares et al., 2013; IBGE, 2021). A fitofisionomia é composta por Formação Florestal, Formação Savânica, Mangue, Florestas Alagável, Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Apicum, Afloramento Rochoso, Praia, Duna e Areal (MAPBIOMAS, 2021).

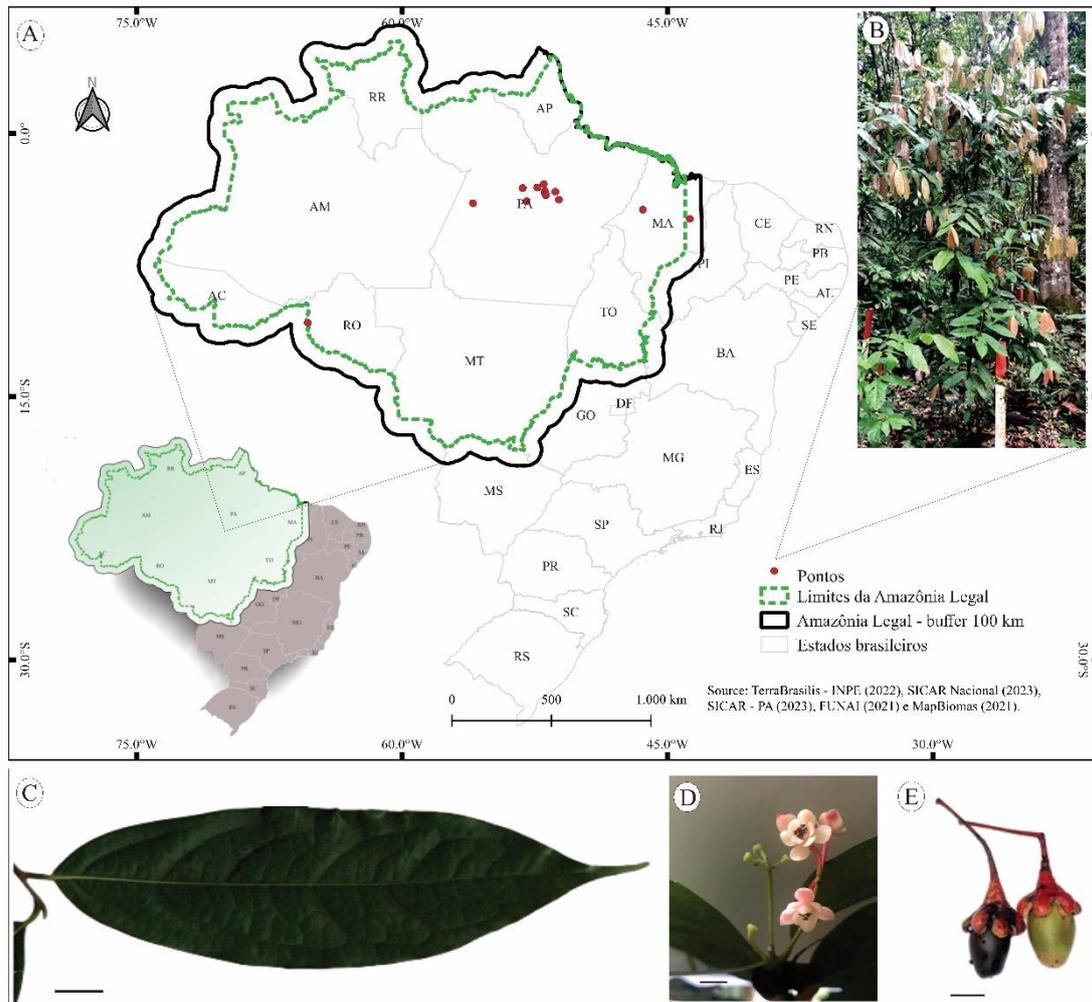


Figura 01 – Identificação da área de estudo, pontos utilizados na modelagem e apresentação da espécie. **A.** Os pontos vermelhos indicam a localização dos 22 pontos de ocorrência selecionados para a elaboração do modelo de distribuição potencial de *Dicypelliumcaryophylaceum* (Mart.) Nees. **B.** Exemplar juvenil da espécie. **C.** Folha. **D.** Flor. **E.** Frutos. A escala nas imagens C, D e E correspondem a 1 centímetro.

Os registros de ocorrência de *D. caryophylaceum* foram obtidos mediante consulta às exsicatas depositadas em herbários e disponíveis nas bases de dados Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2023; <http://data.gbif.org/>), Instituto de Pesquisa Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JABOT, <http://jabot.jbrj.gov.br>) e em coleções científicas indexadas na rede de Sistema de Informação Distribuído para Coleções Biológicas (Species Link, <http://splink.cria.org.br/>).

A partir das bases de dados consultadas, foram inicialmente obtidos 56 registros para a espécie. Desses, foram selecionados apenas 13 registros, adotando-se como critério a confirmação da identidade taxonômica das amostras, quando cada exsicata foi cuidadosamente visualizada para assegurar que o material botânico correspondesse à espécie. Além disso, foram

desconsideradas as amostras que não contemplavam referência geográfica do local de coleta. Também foram excluídos os pontos duplicados e/ou aqueles com a mesma localização geográfica (Lopes et al., 2021).

Adicionalmente, foram realizadas expedições para registros *in loco* de novos pontos de ocorrência, durante as quais foram identificados indivíduos juvenis e adultos. O material botânico coletado foi incorporado ao Herbário Padre José Maria Albuquerque (HATM) ampliando a coleções de registros da espécie no SpeciesLink. A espécie apresenta uma distribuição gregária (Salomão et al., 2010) e, para reduzir o viés amostral (Brown; Bennett; French, 2017), foi utilizado apenas um ponto de ocorrência por pixel ($\approx 1\text{km}^2$). Os registros foram rarefeitos utilizando a ferramenta *Spatially Rarefy Occurrence Data – SDMtoolbox*, no programa ArcGIS 10.3 (ESRI, 2016) totalizando 22 registros a serem utilizados na projeção do modelo de distribuição potencial de *D. caryophyllaceum*.

Os dados abióticos utilizados na construção do modelo incluíram informações climáticas, topográficas e edáficas (Franco-Estrada et al., 2022). As variáveis bioclimáticas e de altitude foram obtidas do conjunto de dados WorldClim, versão 2.1 (Hijmans et al., 2022), com resolução espacial de 30 arco-segundos (aproximadamente 1 km²). A inclinação foi derivada da altitude. Os dados edáficos, características físicas e químicas do solo foram obtidos do SoilGrids na profundidade de 1 a 2 m (Elith et al., 2011; Farias et al., 2017; Phillips; Anderson; Schapire, 2006).

Foram utilizadas dezenove (19) variáveis bioclimáticas, duas (2) topográficas e seis (6) edáficas (Tabela 1). Para minimizar os efeitos da multicolinearidade (Peterson, 2011), as 27 variáveis foram submetidas a análise de correlação (coeficiente de Spearman), eliminando camadas que produziram valores altamente correlacionados ($\rho < 0,70$) selecionando nove variáveis para serem utilizadas. Para descrever os fatores ambientais que influenciaram a ocorrência de *D. caryophyllaceum*, foram extraídos os valores dos registros de ocorrência utilizando o ArcGIS v.10 (ESRI). As análises foram realizadas no ambiente R, versão 4.2 (R Development Core Team, 2023) usando os pacotes raster (Hijmans et al., 2005), vegan (Oksanen, 2015) e modleR (Sánchez-Tapia et al., 2020).

Tabela 1: Variáveis Abióticas Utilizadas na Modelagem de Adequabilidade Ambiental de *Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees, Lauraceae.

Tipo de Variável	Descrição da Variável	Fonte
Bioclimáticas	BIO1 = Temperatura média anual	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO2 = Amplitude media diária	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO3 = Isotermalidade	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO4 = Sazonalidade da temperatura	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO5 = Temperatura Máxima do Mês mais quente*	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO6 = Temperatura Mínima do Mês mais frio	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO7 = Faixa Anual de Temperatura	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO8 = Temperatura Média do Trimestre mais úmido*	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO9 = Temperatura Média do Trimestre mais seco	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO10 = Temperatura Média do Trimestre mais quente	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO11 = Temperatura Média do Trimestre mais frio	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO12 = Precipitação Anual	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO13 = Precipitação do Mês mais úmido*	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO14 = Precipitação do Mês mais seco*	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO15 = Sazonalidade de Precipitação (Coeficiente de Variação)	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO16 = Precipitação do Trimestre mais úmido	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO17 = Precipitação do Trimestre mais seco	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO18 = Precipitação do Trimestre mais quente	WorldClim 2.1
Bioclimáticas	BIO19 = Precipitação do Trimestre mais frio	WorldClim 2.1
Topográficas	Altitude	WorldClim 2.1
Topográficas	Inclinação (Calculado)*	WorldClim 2.1
Edáficas	Argila (0-2 micrômetros) *	SoilGrids
Edáficas	Silt (2-50 micrômetros) *	SoilGrids
Edáficas	Areia (50-2000 micrômetros)	SoilGrids
Edáficas	Fragmentos grosseiros volumétricos (>2000 micrômetros) *	SoilGrids
Edáficas	pH em H ₂ O*	SoilGrids
Edáficas	pH em KCl	SoilGrids
Resolução Espacial	30 arco-segundos (aproximadamente 1 km ²)	WorldClim, SoilGrids

* variáveis utilizadas na projeção do modelo de distribuição potencial da espécie com correlação menor que 0,7.

2.2 Modelagem de Distribuição Potencial

Os modelos de distribuição potencial foram gerados utilizando o algoritmo Maxent (Phillips; Anderson; Schapire, 2006). Para partição e validação dos dados foi utilizado o *bootstrap*, no qual 70% dos registros de ocorrência foram utilizados para calibração e 30% para validação (Spanner et al., 2021). Esse procedimento foi repetido 10 vezes. A estatística de desempenho para avaliar os modelos foi a *True Skill Statistic* (TSS) (Allouche; Tsoar; Kadmon,

2006; Phillips; Dudík; Robert E. Schapire, 2006), e em seguida foi gerado um modelo consenso para *D. caryophyllaceum*.

2.3 Análise Espacial da Distribuição Potencial e Identificação de Áreas Prioritárias para Conservação

Os modelos contínuos de distribuição potencial de *D. caryophyllaceum* foram transformados em binários utilizando o *threshold* que maximiza o TSS. Utilizando ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), o mapa binário foi transformado em *shapefile* para facilitar as análises subsequentes (Qin et al., 2019). Este *shapefile* foi sobreposto a camadas vetoriais contendo informações sobre Unidades de Conservação (UC) e Terras Indígenas (TI) (MMA, 2021), bem como classes de uso e cobertura do solo (Mapbiomas, 2021).

Foi calculada a área de distribuição potencial de *D. caryophyllaceum* dentro da rede de áreas protegidas (UC e TI), subtraindo-se as áreas antropizadas. Neste estudo, consideraram-se como áreas prioritárias para a conservação aquelas que apresentaram alta adequabilidade para a espécie, com cobertura vegetal nativa e legalmente protegidas por restrições de uso do solo (Brasil, 2000). As demais áreas com maior potencial para suportar a espécie, que incluem propriedades particulares e terras públicas mais sensíveis ao impacto humano, foram recomendadas para receber estratégias de manejo, enriquecimento e reflorestamento.

O *shapefile* gerado foi sobreposto a camadas vetoriais contendo informações sobre Unidades de Conservação (UC) e Terras Indígenas (TI) (MMA, 2021), bem como classes de uso e cobertura do solo (MapBiomas, 2021). Esta sobreposição permitiu calcular a área de distribuição potencial de *D. caryophyllaceum* dentro da rede de áreas protegidas. A partir dessa sobreposição foram subtraídas as áreas antropizadas das áreas protegidas, permitindo a identificação de regiões com alta adequabilidade para a espécie. As áreas naturais dentro das áreas protegidas foram indicadas como o percentual de área com adequabilidade ambiental conservada. Estas áreas, legalmente instituídas com restrições de uso do solo, foram aceitas como indicativas de áreas conservadas (Brasil, 2000). As demais áreas com potencial para suportar a espécie, correspondentes a áreas particulares e Terras Públicas que apresentam maior sensibilidade ao impacto antrópico, foram identificadas para direcionar as estratégias de manejo e conservação. Estas áreas foram priorizadas devido à sua importância para a preservação de *D. caryophyllaceum* e sua vulnerabilidade a usos antropogênicos.

2.4 Estratégias de Manejo e Reflorestamento para *D. caryophyllaceum* com base no Cadastro Ambiental Rural

O modelo de distribuição potencial da espécie *D. caryophyllaceum* foi desenvolvido e projetado nas propriedades rurais da Amazônia Legal, aproveitando as informações disponíveis no Cadastro Ambiental Rural (CAR), acessadas através do SICAR (2023). Adotou-se a indicação de Gusso et al. (2020), que sugere que áreas particulares que mantiveram a cobertura vegetal podem ser enriquecidas com espécies nativa. Adicionalmente, a análise de dados georreferenciados facilitou a identificação de regiões que foram convertidas para agricultura, pecuária e silvicultura, conforme indicado pelo MapBiomas (2021). Utilizando ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), foram criados mapas temáticos que destacam as áreas prioritárias para manejo e reflorestamento, fornecendo um recurso visual essencial para orientar decisões nesses processos.

2.5 Desenvolvimento de Recomendações para Gestores de Conservação e Formuladores de Políticas Públicas

A elaboração das recomendações de conservação e manejo utilizou dados socioeconômicos, como uso da terra e atividades econômicas, para avaliar a viabilidade prática de conservação nas áreas identificadas como de alta adequabilidade ambiental para *D. caryophyllaceum*. Esse enfoque proporciona um guia baseado em evidências para gestores de conservação e formuladores de políticas públicas, amparado em uma proposta que combinou coleta e análise de dados ambientais e climáticos, modelagem de distribuição potencial e integração de variáveis socioeconômicas (Yang et al., 2022), para gerar recomendações a serem encaminhadas aos órgãos ambientais competentes no Brasil.

3. RESULTADOS

3.1. Modelagem de distribuição potencial de *Dicypellium caryophyllaceum*

A área de adequabilidade ambiental predita foi de 93.296,4 km², e abrange os Estados do Pará, Maranhão, Roraima, Amazonas, Rondônia, Amapá, Mato Grosso e divisa entre Mato Grosso do Sul e Goiás (Figura 2). O desempenho estatístico dos modelos de *Dicypellium caryophyllaceum* apresentou alta sensibilidade e baixo erro de omissão, indicando um bom desempenho estatístico, com TSS de 0,73 e desvio padrão de 0,17.

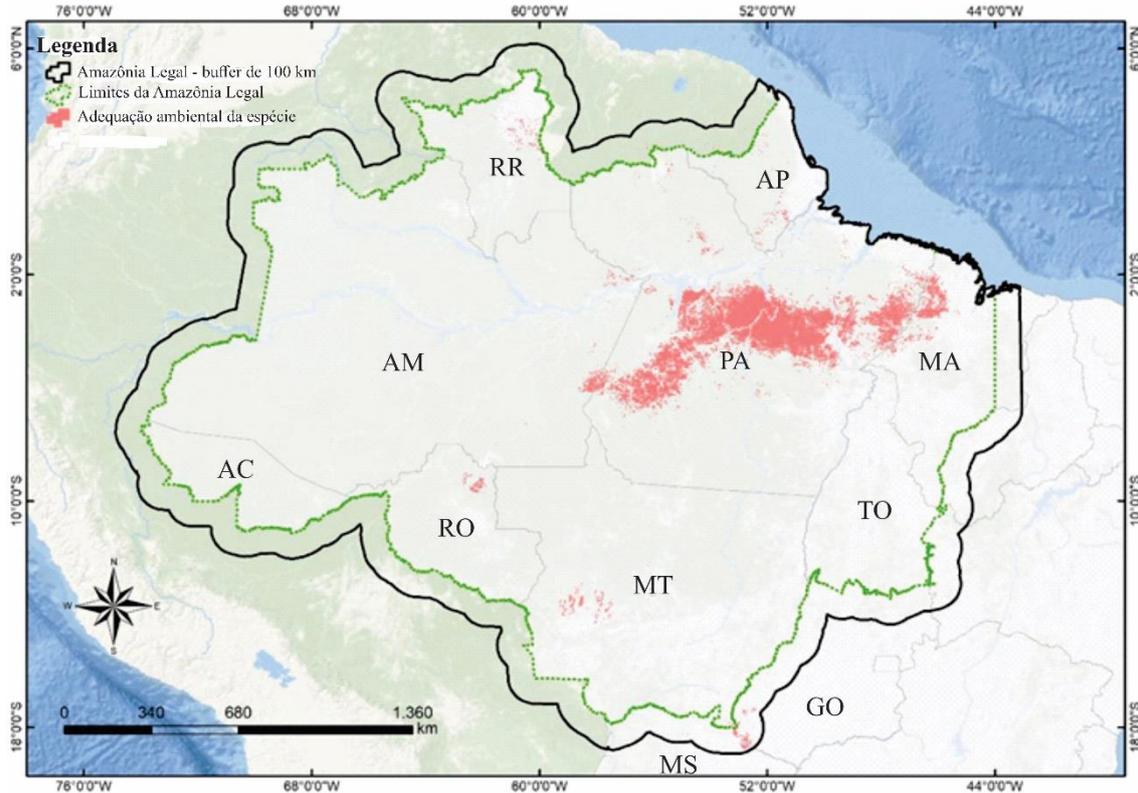


Figura 2: Mapa binário de distribuição potencial de *Dicypellium caryophylaceum* (Mart.) Nees, Lauraceae na Amazônia Legal com *buffer* de 100Km.

As variáveis preditoras, selecionadas a partir dos pontos utilizados na modelagem, conforme apresentado na figura 1, foram projetadas na Amazônia Legal com *buffer* de 100 km. A análise evidenciou que a espécie em estudo demonstra uma pré-disposição para ocorrer em solos com granulometria intermediária, situados entre a areia e a argila, caracteristicamente siltosos (A) com alta concentração de argila (B) e baixa quantidade de fragmentos grosseiros (C); em terrenos com pouca declividade (D) com grau de inclinação inferior a 5, com água no solo e apresentando pH ácido (E); em áreas com sazonalidade na precipitação, alternando a precipitação do mês mais seco (F) e mais úmido (G) entre 30 e 400 mm, com temperatura elevada o ano inteiro, com média do trimestre mais úmido de 25°C (H) e a máxima do mês mais quente de 32°C (I) (Figura 3).

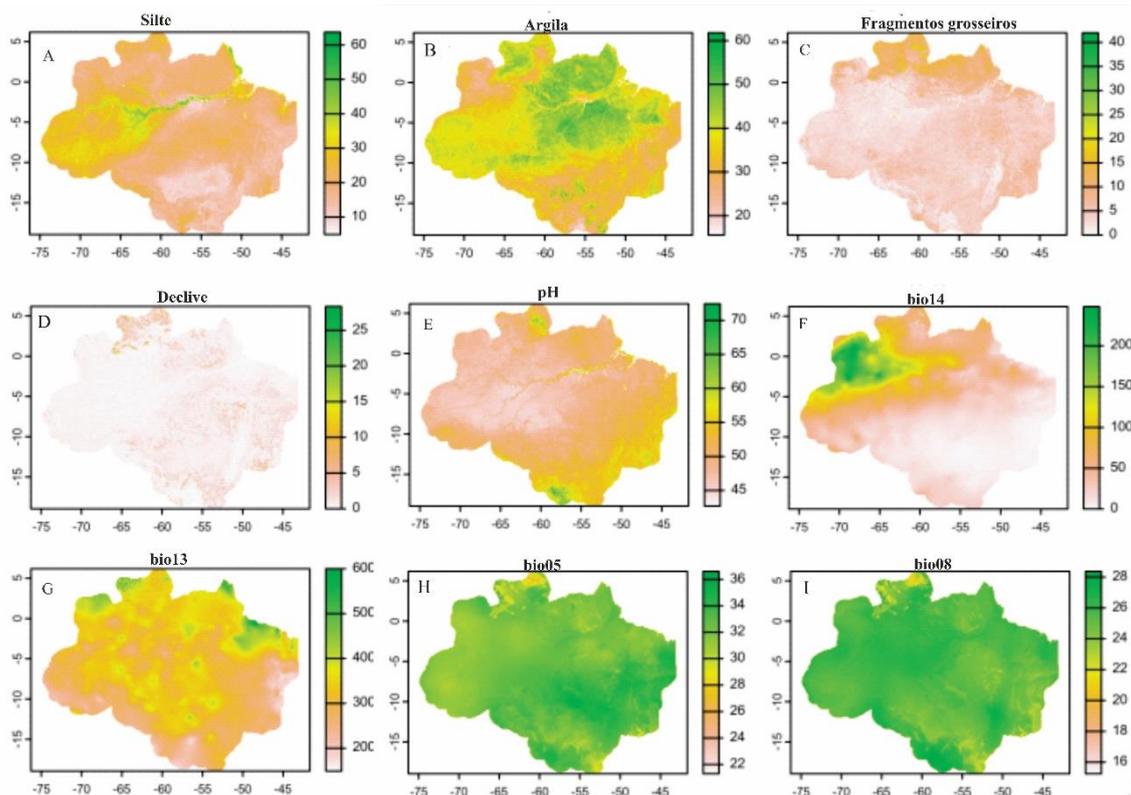


Figura 3: Projeção das variáveis ambientais para os pontos de ocorrência da espécie na Amazônia Legal com buffer de 100 km. **A.** Silte (2-50 micrômetros); **B.** Argila; **C.** Fragmentos grosseiros volumétricos (>2000 micrômetros); **D.** Declive; **E.** pH água; **F.** BIO14 = Precipitação do Mês mais Seco; **G.** BIO13 = Precipitação do Mês mais Úmido; **H.** BIO5 = Temperatura Máxima do Mês mais Quente; **I.** BIO8 = Temperatura Média do Trimestre mais Úmido.

3.2. Estado de conservação das áreas de adequabilidade ambiental

Os dados obtidos foram sobrepostos, na Amazônia Legal, tanto à rede de área protegidas quanto à Rede Cadastral de Propriedades Rurais no CAR. A sobreposição com a rede de áreas protegidas resultou em uma área total de 34.583 km², o que representa aproximadamente 37% do total (Figura 4). A análise indicou que 4.177 km² (cerca de 4,5%) estão situados dentro de Unidades de Conservação (UCs) de Proteção Integral (PI), e 12.769 km² (aproximadamente 13,7%) estão em UCs de uso sustentável (US). Adicionalmente, 17.636,7 km² (cerca de 18,9%) encontram-se em Terras Indígenas (TI). Após a subtração das áreas antropizadas, tanto em TI (616,4 km²) quanto em UC (644,5 km²), conclui-se que 33.322 km² permanecem conservados, representando 35,7% da área de adequabilidade ambiental de *D. caryophylaceum*. Os detalhes das áreas protegidas que apresentam adequabilidade ambiental, conforme indicado pelo modelo, podem ser consultados na Tabela 2.

O modelo de distribuição potencial indicou que 59.974 km², correspondentes a

aproximadamente 64% da área em análise, são configurados como áreas naturais. Ademais, a Rede Cadastral de Propriedades Rurais no CAR abrange 29.035 km², o que equivale a aproximadamente 31,1% do total estudado. Adicionalmente, 3.554,8 km², cerca de 3,8% das áreas, são constituídos por regiões cuja titularidade não está claramente definida, podendo incluir tanto terras públicas quanto terras privadas não registradas no Cadastro Ambiental Rural (CAR). Conforme a projeção realizada pelo MapBiomias dentro do contexto deste modelo preditivo, foram detectadas áreas antropizadas dentro de regiões protegidas, somando 1.260,9 km² (aproximadamente 1,4%), e em propriedades rurais inscritas no CAR, totalizando 26.123,5 km², o que representa cerca de 28%. Nessas áreas, constatou-se que a conversão da paisagem natural ocorreu principalmente para uso agrícola.

Tabela 2: Indicação das áreas de distribuição potencial de *Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees, inseridas em áreas protegidas. Abreviatura da categoria: **PN** – Parque Nacional; **FN** – Floresta Nacional; **RESEX** – Reserva Extrativista; **EE** – Estação Ecológica; **FE** – Floresta Estadual; **APA**: Área de Proteção Ambiental; **RB** – Reserva Biológica; **RDS** – Reserva de Desenvolvimento sustentável. Abreviatura do grupo: **PI**- Proteção Integral; **US** – Uso sustentável; **TI**– Terra Indígena; **RI** – Reserva Indígena; **TD** – Terra Dominial.

Nome abreviado	Grupo	Esfera	Estado	Órgão Responsável	Superfície (hectare)	Área de Adequabilidade (km ²)
PN Montanhas do Tumucumaque	PI	Federal	AM	ICMBio	3865150,5	43,6
FN de Itaituba I	US	Federal	PA	ICMBio	213080,3	416,1
FN de Pau-Rosa	US	Federal	AM	ICMBio	984578,2	11,1
RESEXucupira	US	Estadual	RO	SEDAM	3057,9	0,8
EE Do Grão Pará	PI	Estadual	PA	IDEFLORBio	4203694,6	14,5
PN Dos Campos Ferruginosos	PI	Federal	PA	ICMBio	79085,0	0,8
FE Do Paru	US	Estadual	PA	IDEFLORBio	3610033,7	147,0
APA Do Lago De Tucuruí	US	Estadual	PA	IDEFLORBio	568224,8	182,5
FN De Tapajós	US	Federal	PA	ICMBio	530622,0	594,8
FN Do Crepori	US	Federal	PA	ICMBio	740396,2	504,8
RESEX Arióca Pruanã	US	Federal	PA	ICMBio	83817,4	3,4
RESEX Rio Iriri	US	Federal	PA	ICMBio	398981,3	265,8
EE Alto Maués	PI	Federal	AM	ICMBio	666788,2	390,4
RESEX Riozinho Do Anfrísio	US	Federal	PA	ICMBio	737022,1	1866,0
FE De Rendimento Sustentado Cedro	US	Estadual	RO	SEDAM	2568,1	0,8
APA Da Baixada	US	Estadual	MA	SEMA	1728276,9	2,6

Maranhense						
RESEX Ipaú-Anilzinho	US	Federal	PA	ICMBio	55834,2	23,0
RB De Maicuru	PI	Estadual	PA	IDEFLORBio	1173150,2	3,4
RESEX Rio Xingu	US	Federal	PA	ICMBio	303002,4	5,1
FN Altamira	US	Federal	PA	ICMBio	725544,5	1549,0
FN Do Amaná	US	Federal	PA	ICMBio	682669,9	289,2
FE De Faro	US	Estadual	PA	IDEFLORBio	614008,1	0,9
FN Do Aripuanã	US	Federal	AM	ICMBio	751293,8	8,5
FN De Urupadi	US	Federal	AM	ICMBio	537976,4	440,5
RB Do Gurupi	PI	Federal	MA	ICMBio	271180,9	133,1
FE Do Amapá	US	Estadual	AP	SEMA	2370319,6	12,0
FN De Saracá-Taquera	US	Federal	PA	ICMBio	441283,9	5,1
PN Da Serra Do Pardo	PI	Federal	PA	ICMBio	445395,3	9,4
RDS Alcobaça	US	Estadual	PA	IDEFLORBio	22461,4	1,7
FN De Itaituba Ii	US	Federal	PA	ICMBio	397750,9	136,2
APA Triunfo Do Xingu	US	Estadual	PA	IDEFLORBio	1679635,7	17,0
EE Da Terra Do Meio	PI	Federal	PA	ICMBio	3373136,3	547,0
APA Do Arquipélago Do Marajó	US	Estadual	PA	IDEFLORBio	4524778,8	48,7
RESEX Tapajós Arapiuns	US	Federal	PA	ICMBio	674204,6	104,1
PN Do Rio Novo	PI	Federal	PA	ICMBio	538089,0	1,7
RESEX Rio Cajari	US	Federal	AP	ICMBio	532397,2	35,0
APA Do Tapajós	US	Federal	PA	ICMBio	2040334,9	3342,6
FN Do Jamaxim	US	Federal	PA	ICMBio	1301497,9	153,7
RESEX Verde Para Sempre	US	Federal	PA	ICMBio	1289293,8	1196,4
FN De Carajás	US	Federal	PA	ICMBio	391256,9	0,8
FN Do Trairão	US	Federal	PA	ICMBio	257529,5	1398,6
PN Do Jamaxim	PI	Federal	PA	ICMBio	862887,0	3031,5
RESEX Renascer	US	Federal	PA	ICMBio	209656,8	3,4
PN De Pacaás Novos	PI	Federal	RO	ICMBio	708680,3	0,8
FN De Mulata	US	Federal	PA	ICMBio	216335,1	44,4
Alto Rio Guamá	TI	Federal	PA	FUNAI	279897,7	90,5
Alto Turiaçu	TI	Federal	MA	FUNAI	530524,7	561,8
Amanayé	RI	Federal	PA	FUNAI	162856,8	16,2

Anambé	TI	Federal	PA	FUNAI	7882,8	6,0
Apyterewa	TI	Federal	PA	FUNAI	773470,0	11,1
Araçá	TI	Federal	RR	FUNAI	50018,3	0,9
Arara	TI	Federal	PA	FUNAI	274010,0	2056,7
Arara da Volta Grande do Xingu	TI	Federal	PA	FUNAI	25524,6	206,5
Araweté Igarapé Ipixuna	TI	Federal	PA	FUNAI	940900,8	578,7
Awa	TI	Federal	MA	FUNAI	116582,9	394,3
Barreirinha	TI	Federal	PA	FUNAI	2373,8	0,9
Baú	TI	Federal	PA	FUNAI	1540930,2	1,7
Cachoeira Seca	TI	Federal	PA	FUNAI	733688,3	2282,9
Cajueiro	TI	Federal	RR	FUNAI	4303,8	0,9
Jabuti	TI	Federal	RR	FUNAI	14210,7	0,9
Juruna do Km 17	RI	Federal	PA	FUNAI	2292,0	2,6
Kararaô	TI	Federal	PA	FUNAI	330837,5	1579,2
Koatinemo	TI	Federal	PA	FUNAI	387834,3	2149,4
Kuruáya	TI	Federal	PA	FUNAI	166784,2	6,0
Manoa/Pium	TI	Federal	RR	FUNAI	43336,7	20,5
Munduruku	TI	Federal	PA	FUNAI	2381795,8	4,2
Muriru	TI	Federal	RR	FUNAI	5555,9	3,4
Ouro	TI	Federal	RR	FUNAI	13573,0	7,7
Paquiçamba	TI	Federal	PA	FUNAI	4384,3	37,5
Parakanã	TI	Federal	PA	FUNAI	351697,4	826,4
Parque do Tumucumaque	TI	Federal	AP, PA	FUNAI	3071067,9	52,1
Raposa Serra do Sol	TI	Federal	RR	FUNAI	1747464,8	0,9
Rio Paru DEste	TI	Federal	PA	FUNAI	1195785,8	0,9
Sai-Cinza	TI	Federal	PA	FUNAI	125552,1	4,2
São Marcos - RR	TI	Federal	RR	FUNAI	654110,1	25,6
Serra da Moça	TI	Federal	RR	FUNAI	11626,8	0,9
Trincheira Bacaja	TI	Federal	PA	FUNAI	1650939,3	6580,0
Trocará	TI	Federal	PA	FUNAI	21722,5	66,5
Trocará - Doação	TD	Federal	PA	FUNAI	14,0	1,7
Truaru	TI	Federal	RR	FUNAI	5652,8	0,9
Uru-Eu-Wau-Wau	TI	Federal	RO	FUNAI	1867117,8	0,8
Utiariti	TI	Federal	MT	FUNAI	412304,2	4,2
Xipaya	TI	Federal	PA	FUNAI	178723,0	44,3

3.3. Áreas prioritárias para manejo e/ou reflorestamento

As áreas registradas no Cadastro Ambiental Rural (CAR) como proprietários privados, aptas para o manejo de *D. caryophylaceum*, totalizam 55.158,6 km², representando aproximadamente 59,1% do total mapeado (Figura 4). Dentre estas, 29.035 km² (31,1%) mantêm a cobertura vegetal original, situadas principalmente em áreas de reserva legal com alta adequabilidade ecológica para o manejo da espécie, e são ideais para projetos de enriquecimento florestal.

Foram também mapeadas 26.123 km² de áreas antropizadas e que apresentam características ambientais adequadas para o cultivo de *D. caryophylaceum*. Dessas áreas antropizadas, 23.208 km² são pastagens e o restante, áreas de cultivo de soja.

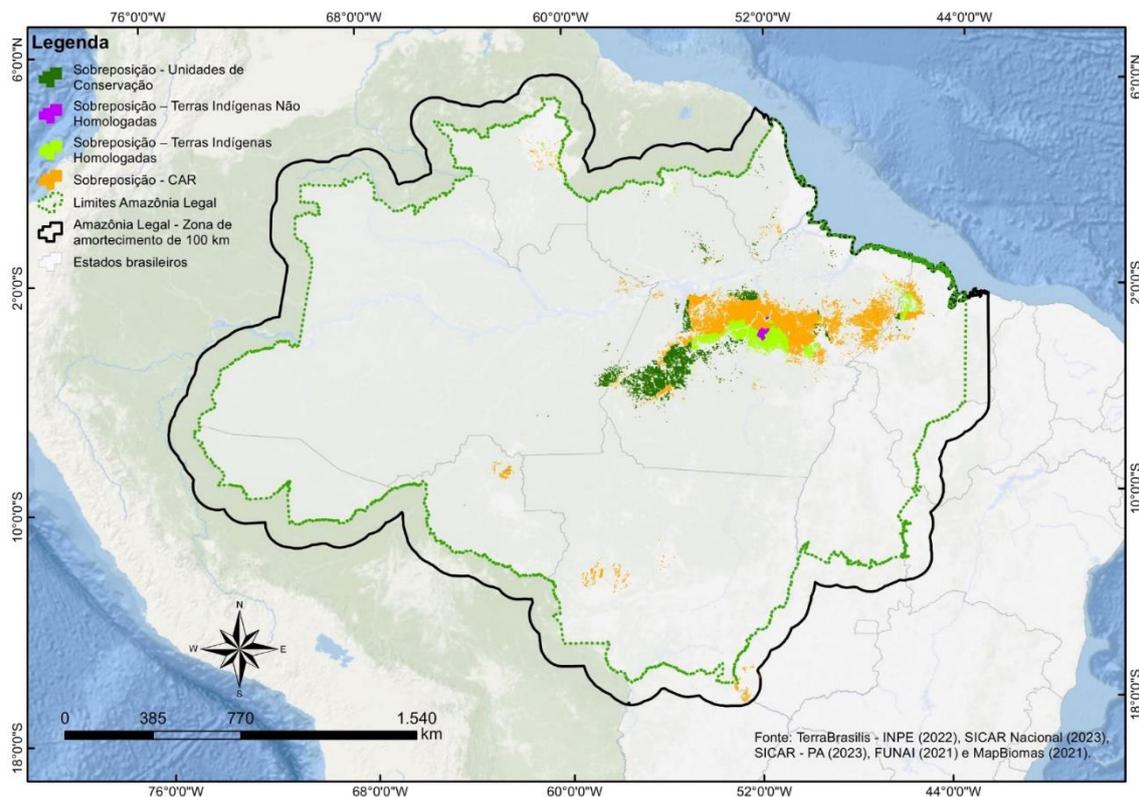


Figura 04: Rede de áreas protegidas (Terras Indígenas, Unidades de Conservação) e propriedades rurais particulares declaradas no SICAR Nacional (Sistema Nacional de Cadastro Ambiental) na área projetada pelo algoritmo Maxent para a construção do modelo de distribuição potencial de *Dicypellium caryophylaceum* (Mart.) Nees, Lauraceae.

3.4 Transformando o Mapa de Distribuição de *Dicypellium caryophylaceum* com Novos Registros em Áreas Desconhecidas

Como resultado das observações empíricas, verificou-se uma ampliação considerável dos registros empregados na elaboração do modelo de distribuição potencial de *D. caryophylaceum*, passando de 13 registros iniciais provenientes de exsicata para 22 registro, com a adição de 9 registros oriundos das observações empíricas. Este processo culminou na descoberta de 74 novos espécimes juvenis e adultos, que foram posteriormente adicionados ao acervo do Herbário Padre José Maria Albuquerque (HATM). Adicionalmente, a pesquisa possibilitou a detecção de registros inéditos de *D. caryophylaceum* nos municípios de Brasil Novo, Medicilândia e Pacajá (Figura 5).

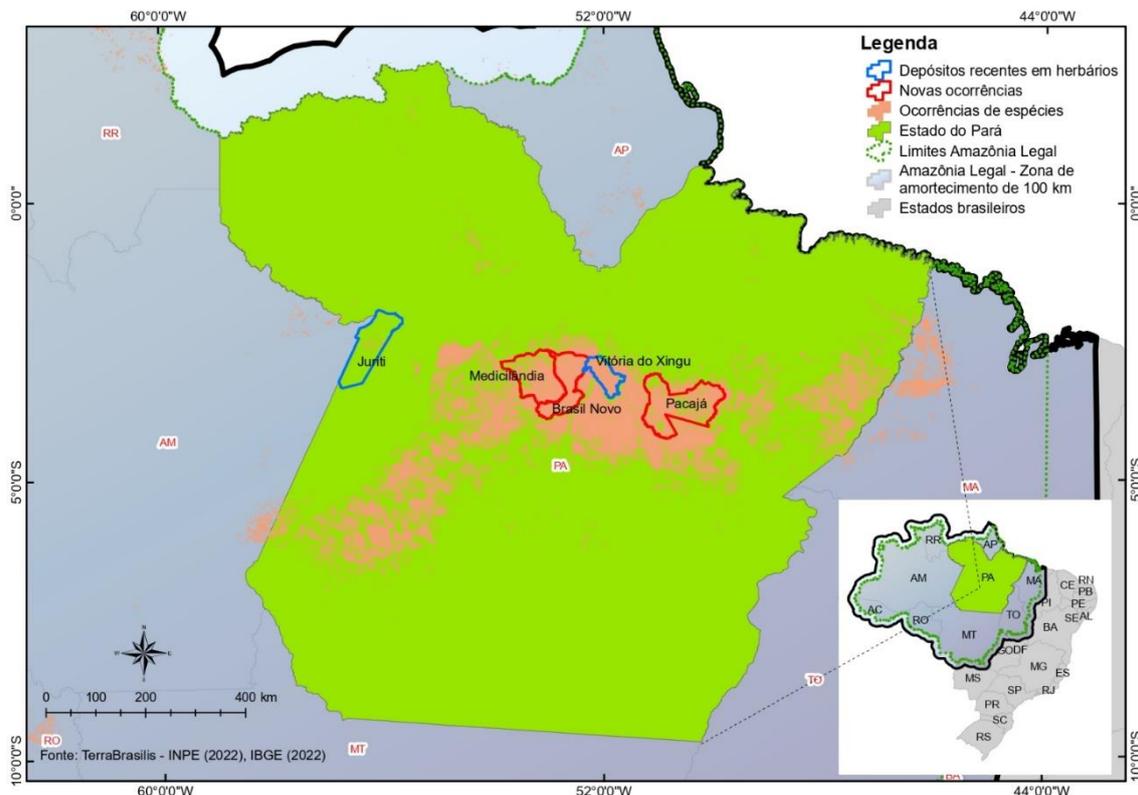


Figura 05: Municípios da Amazônia Legal com registros recentes de ocorrência de *Dicypellium caryophylaceum* (Mart.) Nees, Lauraceae. Em azul: depósitos recentes de exsicatas em herbários; Em vermelho: novas ocorrências em municípios onde a espécie não havia sido previamente documentada.

4. DISCUSSÃO

4.1 Importância ecológica, econômica e conservação do pau-cravo na Amazônia

A modelagem preditiva tem se destacado como uma ferramenta essencial na conservação ambiental, permitindo a identificação de áreas potenciais de distribuição de espécies ameaçadas, como demonstrado em diversos estudos (Guisan et al., 2006; Bachman,

Nic Lughadha, Rivers, 2018; Van Zuijlen et al., 2024). Essas pesquisas ressaltam a capacidade desses modelos em prever a ocorrência de espécies raras e melhorar as práticas de gestão ambiental. De forma similar, Buechling e Tobalske (2011) utilizaram modelagem para identificar populações desconhecidas de plantas raras, sublinhando a utilidade dos modelos de habitat como medidas prescritivas eficazes.

Neste contexto, as descobertas relacionadas ao *D. caryophyllaceum*, que indicaram uma área de alta adequabilidade ambiental correspondente a 93.296,4 km² distribuída na Amazônia Legal, estão em consonância com a literatura existente, demonstrando a eficácia dos modelos preditivos. O modelo utilizado mostrou alta sensibilidade e um baixo erro de omissão (*True Skill Statistic* - TSS) de 0,73 e um desvio padrão de 0,17, o que indica um desempenho estatístico robusto e confiável.

Estudos como o de Tomaz et al., (2022), que avaliaram as mudanças na distribuição do *Stryphnodendron pulcherrimum* (Willd.) Hochr sob cenários de mudança climática futuras, e observou que os modelos preditivos podem prever reduções nas áreas de adequabilidade da espécie devido a alterações climáticas. Entretanto, ressalta-se que este estudo utilizou metodologia distinta em relação ao realizado para *D. caryophyllaceum*. Enquanto Tomaz et al. (2022) antecipam um cenário de extinção em algumas regiões, a modelagem de *D. caryophyllaceum* sugerem uma ampliação da área ocupada pela espécie em cenário atual. Essas descobertas ampliam o entendimento ao demonstrar que a modelagem preditiva não apenas identifica áreas de ocorrência atual, mas também pode revelar a resiliência potencial de espécies frente a cenários de mudanças ambientais futuras.

Os dados obtidos demonstram que a maior área de distribuição potencial da espécie concentra-se no estado do Pará, com 86.972,03 hectares ($\approx 93\%$), representando cerca de 93% da área modelada. Esses resultados estão em consonância com registros históricos que indicam uma abundância da espécie ao longo dos Rios Pacajá, Curuá, próximo ao município de Monte Alegre, Trombetas, Akiki, Maue, na região do baixo Amazonas e afluentes, como rio Tocantins, Tapajós e, principalmente, do Rio Xingu, como evidenciado nos trabalhos de Chambouleyron, (2022a), Almeida (2009), Noronha (2006a) e Moraes (1860). A identificação da espécie nessas áreas contribuiu para impulsionar a colonização na região Amazônica durante o século XVII (Daniel, 1975).

Contrariando as percepções históricas de abundância da espécie, nossos estudos revelaram que, atualmente, a espécie apresenta um padrão de distribuição gregário, com uma

densidade média de 18,9 indivíduos por hectare (100m²), como relatado por Salomão e Rosa (2012) e corroborado por nossas investigações de campo.

A descoberta de novos espécimes em campo desafia a noção de que a espécie estava extinta ou em desuso, uma ideia que persistiu por anos (Chamboleyron, 2022; Donini; Santos; Fiori, 2015) devido à falta de registros atualizados. Esses achados reforçam a importância de visitar áreas previamente estudadas e atualizar constantemente os dados de biodiversidade. Além disso, eles ilustram a resiliência de *D. caryophyllaceum* e a necessidade de incorporar práticas de manejo que considerem suas características biológicas específicas e a história de uso e exploração.

Entretanto, a exploração intensiva ao longo dos séculos (Chamboleyron, 2022) levou à classificação de *D. caryophyllaceum* como espécie criticamente ameaçada, com populações remanescentes significativamente reduzidas, localizadas principalmente no estado do Pará (IUCN, 2023; Salomão e Rosa, 2012). A diminuição da espécie destacou a urgência de implementar estratégias eficazes de conservação que integrem tanto a preservação ecológica quanto o potencial de utilização sustentável.

As descobertas recentes da nossa pesquisa, que mapeou a distribuição potencial da espécie, abrangendo uma área de 93.296,4 km² nos estados da Amazônia Legal, desafiam as concepções prévias sobre a extensão da distribuição de *D. caryophyllaceum*. A identificação de novos espécimes, tanto juvenis quanto adultos, nos municípios de Brasil Novo, Medicilândia e Pacajá, amplia significativamente o entendimento sobre a resiliência e a distribuição geográfica da espécie.

Essas descobertas têm implicações diretas para as estratégias de conservação e para o desenvolvimento econômico regional. Primeiramente, a expansão conhecida do alcance geográfico da espécie sugere que as medidas de conservação podem ser otimizadas para proteger não apenas as áreas já conhecidas, mas também as recém-identificadas, que podem servir como novos focos para a conservação *ex situ* e *in situ*, podendo servir de estímulo para políticas de desenvolvimento sustentável que integrem a conservação da biodiversidade com o aproveitamento econômico dos recursos naturais, especialmente considerando o potencial farmacêutico e aromático do eugenol, e de monoterpenos como limoneno e silvestreno e outros 36 componentes identificados na espécie por Zoghbi, Salomão e Guilhon (2013).

Por tanto, a exploração sustentável do pau-cravo, com práticas de manejo que

garantam a regeneração e a sustentabilidade em longo prazo, pode revitalizar indústrias locais, como a de perfumaria e farmacêutica, proporcionando uma fonte de renda alternativa e sustentável para as comunidades locais. Isso reforça a necessidade de políticas públicas que fomentem a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico focados na exploração sustentável de recursos biológicos como uma estratégia de conservação e uso sustentável, fundamentais para o equilíbrio entre conservação ambiental e desenvolvimento econômico.

Entender a ecologia e a conservação de *D. caryophyllaceum* perpassa pelo entendimento de alguns aspectos da família Lauraceae, uma vez que identificar as espécies dentro deste agrupamento é complexo devido à sua ampla diversidade e relações filogenéticas intrincadas, um fator agravado pela distribuição geográfica extensiva da família, que abrange diversos ambientes tropicais e subtropicais (Quinet et al., 2015; Souza e Lorenzi, 2012).

Concordante com os registros históricos e estudos contemporâneos, as descobertas recentes ressaltam a distribuição do pau-cravo em áreas de terra firme, correlacionando-se com os tipos de solo específicos, como latossolos e argissolos, que são moderadamente ricos em argila e bem drenados (Norte Energia, 2008; Santos et al., 2018). Essas características estão em linha com as preferências de habitat descritas na literatura, confirmando a adaptação da espécie a solos de granulometria intermediária e condições específicas de acidez e drenagem.

A incorporação das variáveis climáticas, como a sazonalidade da precipitação e a faixa de temperatura, também amplia o entendimento do nicho ecológico da espécie, apoiando as previsões de distribuição potencial baseadas no clima (Alvares et al., 2013). Esses fatores, combinados com a distribuição geográfica ampla que inclui várias regiões com clima tropical segundo Köppen-Geiger, sublinham a resiliência da espécie e sua capacidade de adaptação a um espectro variado de condições ambientais.

Nossas descobertas reiteram o conhecimento existente sobre as preferências ecológicas de *D. caryophyllaceum* (Chambouleyron, 2022; (ALMEIDA, 2009; NORONHA, 2006 e Moraes, 1860) e destacam áreas críticas para investigação futura. Embora as descobertas corroborem vários aspectos conhecidos da ecologia de *D. caryophyllaceum*, elas também revelam limitações significativas que podem direcionar pesquisas futuras. A dificuldade no reconhecimento da espécie em campo, especialmente devido à sua semelhança com outras espécies da família Lauraceae, sugere a necessidade de desenvolver métodos de identificação mais precisos. Isso poderia ser alcançado através da integração de técnicas que realizem uma

caracterização morfológica abrangente das diferentes fases de desenvolvimento, incluindo a análise de folhas, flores, frutos e casca, com a documentação de variações intraespecíficas.

Outra abordagem seria desenvolver uma chave dicotômica detalhada que incorpore características morfológicas únicas para distinguir *D. caryophyllaceum* de outras espécies comuns da Lauraceae presentes na mesma região. Essa abordagem se torna ainda mais relevante após a recente identificação de uma nova espécie dentro do mesmo gênero, o *Dicypellium anisum* F.M.Alves & Zappi, conforme descrito por Alves et al. (2024). Além disso, a criação de um banco de dados para *D. caryophyllaceum* e outras Lauraceae presentes na região facilitaria comparações e identificações rápidas em campo, acompanhada de treinamento especializado para pesquisadores e técnicos sobre as características distintivas da espécie.

Ressalta-se aqui a importância das áreas protegidas estabelecidas para a conservação do *D. caryophyllaceum* na Amazônia Legal. O complexo de áreas protegidas é importante para a preservação de *D. caryophyllaceum* e a distribuição dessas áreas, que incluem Terras Indígenas, Unidades de Conservação de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável, é fundamental para manter os habitats naturais e facilitar a conectividade ecológica, conforme estabelecido pela legislação brasileira (Brasil, 2000).

Nesse contexto, as descobertas recentes de que 64% da área total mapeada são áreas naturais, com 37% situados em áreas protegidas, reforçam a importância dessas regiões para a conservação. A subdivisão dessas áreas protegidas, compreendendo 4.177 km² em Unidades de Conservação de Proteção Integral, 12.769 km² em Unidades de Uso Sustentável e 17.636,7 km² em Terras Indígenas, demonstra uma estrutura robusta e diversificada para a proteção da biodiversidade. Além disso, a existência de 33.322 km² de áreas conservadas, após a exclusão de zonas antropizadas, destaca o sucesso das políticas de conservação atuais na manutenção de ambientes essenciais para a diversidade genética de espécies nativas.

Nossas descobertas estão em concordância com estudos anteriores que ressaltam a eficácia das áreas protegidas na preservação de espécies e habitats (Giulietti et al., 2005; Joly et al., 2011), mas também desafiam concepções previamente estabelecidas sobre a suficiência da cobertura atual das áreas protegidas. Apesar das áreas protegidas cobrirem uma parcela significativa do habitat potencial de *D. caryophyllaceum*, as pressões de desenvolvimento e a expansão da ocupação humana continuam a ameaçar estas regiões, como apontado por Spanner et al. (2021).

Portanto, as descobertas demandam um reforço nas estratégias de manejo, incorporando monitoramento constante e controle efetivo de atividades ilegais (Assunção; Gandour; Rocha, 2023). A necessidade de políticas públicas focadas no fortalecimento da governança ambiental nas áreas protegidas é evidente, além disso, estas descobertas devem fomentar um diálogo produtivo contínuo entre cientistas e formuladores de políticas (Armitage et al., 2009), visando a criação de legislações adaptativas que possam responder rapidamente às mudanças ambientais e aos novos desafios que surgem, garantindo que as políticas públicas sejam adaptadas às realidades regionais, contemplando a colaboração entre diversos atores (Alves; Azevedo, 2023). Ao garantir que as áreas protegidas cumpram seu papel ecológico, social e econômico, avançaremos significativamente na proteção do patrimônio natural da Amazônia para as futuras gerações.

4.2 Adequabilidade ambiental dos imóveis rurais

A análise da adequabilidade ambiental em imóveis rurais (SICAR, 2023) para a conservação de *D. caryophyllaceum* revela um panorama complexo, onde convergem questões de conservação ambiental, uso da terra e legislação fundiária. No Brasil, o Cadastro Ambiental Rural (CAR), instituído pelo novo Código Florestal de 2012, é uma ferramenta essencial para a gestão ambiental de propriedades rurais, consolidando informações sobre áreas de conservação e vegetação nativa através do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR). Os imóveis rurais, registrados no Cadastro Ambiental Rural (CAR), constituem aproximadamente 59,1% da área com potencial de adequabilidade para a espécie, reforçando achados anteriores como o de Metzger et al. (2019) que apontam que no Brasil, grande parte da vegetação natural é encontrada em terras privadas, representando quase um terço da quantidade total de vegetação nativa do país. Na Amazônia Legal, especificamente, a legislação exige que a reserva legal (RL) em propriedades rurais corresponda a 80% do imóvel, podendo ser reduzida para 50% em áreas com uso do solo consolidado até 22 de julho de 2008 (Brasil, 2012a). Esta disposição tem como objetivo mitigar a pressão sobre a exploração madeireira, frequentemente conduzida de maneira ilegal (Perazzoni; Bacelar-Nicolau; Painho, 2020) e que resulta em significativa perturbação ambiental (Dearmond et al., 2023).

Nas áreas registradas no CAR, que totalizam 55.158,6 km², verifica-se uma grande oportunidade para o plantio e exploração sustentável de *Dicypellium caryophyllaceum*, tanto para proprietários rurais quanto para empresas atuantes na Amazônia. A análise baseada na sobreposição com dados do MapBiomas identificou que 26.123 km² dessas áreas,

aproximadamente 28% do total mapeado, são terras antropizadas adequadas para o cultivo da espécie. Observa-se que a maior parte dessas terras é ocupada por pastagens e a expansão da soja é notável, junto com outros usos agrícolas menores, como lavouras temporárias e cana-de-açúcar.

É fundamental destacar que das áreas registradas no Cadastro Ambiental Rural (CAR), 29.035 km², correspondendo a aproximadamente 31,1% do total, ainda mantêm sua cobertura vegetal original. Localizadas principalmente em zonas de reserva legal e de preservação permanente, essas áreas são cruciais para a conservação da diversidade genética de *D. caryophyllaceum*. Além de sua relevância ecológica, o potencial de conservação dessas regiões as qualifica como locais ideais para projetos de enriquecimento florestal com essa espécie. Conforme o estudo de Carvalho Ribeiro et al. (2024), mesmo que a presença de espécies nativas não esteja confirmada em algumas dessas áreas florestais, elas apresentam potencial para reintrodução de espécies.

No entanto, a conversão de 28% das áreas mapeadas para uso agrícola evidencia uma pressão constante sobre os habitats naturais e expõe uma discrepância significativa entre a regulamentação estabelecida (Brasil, 2012) e sua aplicação efetiva, ameaçando a conservação de *D. caryophyllaceum* e de outras espécies dependentes desses ambientes. Adicionalmente, os 3.554,8 km² de terras com titularidade indefinida que também foram convertidas para uso agrícola destacam o aumento de práticas ilegais de uso do solo, tais como a exploração madeireira e a expansão agrícola insustentável, que resultam em desmatamento. Esse fenômeno foi anteriormente documentado por Bandeira Castelo et al. (2020) que relacionaram o avanço dessas práticas ilegais ao desflorestamento de áreas naturais. Além disso, as áreas desflorestadas que agora apresentam passivo ambiental, conforme a lei (Brasil, 2012), são propícias para ações de reflorestamento como forma de mitigação.

Essa dualidade entre RL e a área de uso agrícola indica a necessidade de uma gestão ambiental mais eficaz que equilibre a conservação com o uso sustentável dos recursos em propriedades rurais, respeitando a função social dessas áreas, conforme previsto na constituição federal (BRASIL, 1988, art. 186º). É importante destacar que a manutenção da RL é uma obrigação do proprietário do imóvel. O descumprimento das normas estabelecidas para a reserva legal acarreta penalidades, incluindo multas e restrições no uso e exploração dessas áreas (BRASIL, 1998). Além disso, essas áreas podem ser geridas legalmente mediante a aprovação de planos de manejo que são submetidos à análise de órgãos ambientais competentes.

Quando esses planos atendem aos critérios legais e recebem aprovação, o impacto ambiental na floresta é minimizado (Locks; Matricardi, 2019).

O contexto socioeconômico e político em que essas áreas estão inseridas exercem uma influência direta na conservação de *D. caryophyllaceum*. As pressões para exploração madeireira e a expansão da fronteira agrícola representam riscos contínuos para a integridade desses habitats. Neste sentido, é fundamental que as discussões sobre conservação integrem estratégias de desenvolvimento econômico que considerem a sustentabilidade e o valor intrínseco da biodiversidade (Hoffmann, 2022). Por exemplo, a promoção de sistemas agroflorestais e o manejo de produtos florestais não madeireiros (PFNM) representam alternativas econômicas que podem reduzir as taxas de desmatamento, oferecendo uma solução de desenvolvimento sustentável que alinha conservação ambiental com viabilidade econômica.

Além disso, a educação ambiental deve ser vista como uma ferramenta estratégica na mudança de perspectiva sobre a utilização dos recursos naturais nessas áreas. Programas de conscientização que envolvam escolas, comunidades rurais e o público em geral podem aumentar o conhecimento sobre a importância de preservar *D. caryophyllaceum* e outras espécies nativas. Esses programas também podem incentivar práticas mais sustentáveis, como a agroecologia e o ecoturismo, que proporcionam benefícios econômicos sem comprometer a integridade ambiental.

Com base nos estudos sobre a distribuição potencial de *D. caryophyllaceum*, que incorporam variáveis socioeconômicas e de uso da terra (MapBiomas, 2021), recomenda-se que as políticas públicas reforcem os esforços nas unidades de conservação existentes, iniciando com inventários florísticos realizados por especialistas capacitados para identificar essa espécie em campo. Essa ação é estratégica para aumentar o conhecimento sobre a diversidade genética do pau-cravo, essencial para futuras intervenções como o uso de mudas para enriquecimento de reservas legais em propriedades privadas ou o reflorestamento em áreas de passivo ambiental. Para as propriedades privadas, sugere-se a implementação de linhas de crédito especiais que apoiem práticas de manejo sustentável e incentivem atividades econômicas compatíveis com os objetivos de conservação. Essas medidas devem ser acompanhadas de campanhas de educação ambiental e de iniciativas de envolvimento comunitário para assegurar o apoio local e a viabilidade a longo prazo das políticas adotadas.

5. CONCLUSÃO

A modelagem de distribuição potencial identificou áreas de alta adequabilidade ambiental que são importantes para a preservação da espécie. Através da modelagem preditiva foi evidenciada a relevância das áreas protegidas, que correspondem a 37%, das propriedades rurais cadastradas no CAR, representando 59,1%, e das áreas com titularidade não definida, que constituem 3,9%, para a conservação da espécie.

As análises indicaram que, apesar da pressão antrópica, existem vastas áreas que ainda mantêm condições adequadas para o desenvolvimento do pau-cravo. A integração de dados abióticos e socioeconômicos no modelo forneceu uma visão abrangente das necessidades de conservação, permitindo a formulação de estratégias mais eficazes. Além disso, a identificação de novas ocorrências em municípios previamente não documentados reforça a importância de expedições de campo contínuas para aumentar a robustez dos registros e o entendimento da distribuição geográfica da espécie.

As áreas protegidas, incluindo Unidades de Conservação e Terras Indígenas, desempenham um papel vital na conservação de *D. caryophyllaceum*. A sobreposição da modelagem com essas áreas destacou a eficácia das políticas de conservação atuais, mas também evidenciou a necessidade de reforçar o monitoramento e o controle de atividades ilegais que ameaçam esses habitats.

Para uma conservação eficaz, é imperativo que haja uma colaboração contínua entre os Órgãos Estaduais de Meio Ambiente, o setor privado e a sociedade civil. Além disso, a promoção de práticas de manejo sustentável e o desenvolvimento de políticas públicas adaptativas são essenciais para enfrentar as pressões ambientais contemporâneas e garantir a preservação da biodiversidade.

A conservação de *D. caryophyllaceum* não é apenas uma questão ecológica, mas também socioeconômica, dada a seu potencial de aplicação nas indústrias farmacêutica e alimentícia. O uso sustentável dos recursos naturais, aliado a práticas de manejo que respeitem a regeneração da espécie, pode oferecer alternativas econômicas viáveis para produtores rurais da Amazônia.

6. REFERÊNCIAS

- AERTS, R.; HONNAY, O. Forest restoration, biodiversity and ecosystem functioning. **BMC Ecology**, v. 11, n. 1, p. 29, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1472-6785-11-29>
- ALBERT, J. S. *et al.* Human impacts outpace natural processes in the Amazon. **Science**, v. 379, n. 6630, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.abo5003>
- ALENCAR, R. DE; LIMA, R. A. DE; CORRÊA, R. G. C.; GOTTLIEB, O. R.; MARX, M. C.; SILVA, M. L. DA; MAIA, J. G. S.; MAGALHÃES, M. T.; ASSUMPÇÃO, R. M. V. Óleos essenciais de plantas brasileiras. **Acta Amazonica**, v. 1, n. 3, p. 41–43, 1971. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-43921971013041>
- ALEXANDRE, F. da S.; CANDEIAS, A. L. B.; GOMES, D. D. M. Revista Brasileira de Geografia Física. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 02, p. 758–769, 2021.
- ALLOUCHE, O.; TSOAR, A.; KADMON, R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). **Journal of Applied Ecology**, v. 43, n. 6, p. 1223–1232, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>
- ALMEIDA, A. F. de. A viagem de José Gonçalves da Fonseca e a cartografia do rio Madeira (1749-1752). **Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material**, v. 17, n. 2, p. 215–235, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-47142009000200011>
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013 a. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- ALVES, A. de O.; AZEVEDO, T. C. GOVERNANÇA AMBIENTAL E DESAFIOS SOCIOAMBIENTAIS CONTEMPORÂNEOS: UMA ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA GESTÃO PÚBLICA. **RDE – Revista de Desenvolvimento Econômico**, v. 2, n. Dossiê Especial, p. 51–78, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.36810/rde.v2isar20.8774>
- ALVES, F. M.; LOVO, J.; LAGE VIANA, P.; ZAPPI, D. C. Spicy genus: *Dicypellium anisum* (Lauraceae), a newly discovered third species of the aromatic genus *Dicypellium*. **Phytotaxa**, v. 635, n. 2, p. 165–172, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.635.2.6>
- ARMITAGE, D. R. *et al.* Adaptive co-management for social–ecological complexity. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 7, n. 2, p. 95–102, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/070089>

- ASNER, G. P.; TOWNSEND, A. R.; BRASWELL, B. H. Satellite observation of El Niño effects on Amazon forest phenology and productivity. **Geophysical Research Letters**, v. 27, n. 7, p. 981–984, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/1999GL011113>
- ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. DETER-ing Deforestation in the Amazon: Environmental Monitoring and Law Enforcement. **American Economic Journal: Applied Economics**, v. 15, n. 2, p. 125–156, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1257/app.20200196>
- BABWETEERA, F.; PLUMPTRE, A. J.; ADAMESCU, G. S.; SHOO, L. P.; BEALE, C. M.; REYNOLDS, V.; NYEKO, P.; MUHANGUZI, G. The ecology of tree reproduction in an African medium altitude rain forest. **Biotropica**, v. 50, n. 3, p. 405–417, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/btp.12563>
- BACHMAN, S. P.; NIC LUGHADHA, E. M.; RIVERS, M. C. Quantifying progress toward a conservation assessment for all plants. **Conservation Biology**, v. 32, n. 3, p. 516–524, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/cobi.13071>
- BANDEIRA CASTELO, T.; ADAMI, M.; NASCIMENTO DOS SANTOS, R. B. Fronteira Agrícola e a política de priorização dos municípios no combate ao desmatamento no estado do Pará, Amazônia. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 28, n. 2, p. 434–457, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.36920/esa-v28n2-8>
- BARROS, E. C. de O.; WEBBER, A. C.; MACHADO, I. C. Limitação de polinizadores e mecanismo de autoincompatibilidade de ação tardia como causas da baixa formação de frutos em duas espécies simpátricas de *Inga* (Fabaceae - Mimosoideae) na Amazônia Central. **Rodriguésia**, v. 64, n. 1, p. 37–47, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2175-78602013000100005>
- BOGDZIEWICZ, M.; JOURNÉ, V.; HACKET-PAIN, A.; SZYMKOWIAK, J. Mechanisms driving interspecific variation in regional synchrony of trees reproduction. **Ecology Letters**, v. 26, n. 5, p. 754–764, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/ele.14187>
- BORCHERT, R.; RIVERA, G.; HAGNAUER, W. Modification of Vegetative Phenology in a Tropical Semi-deciduous Forest by Abnormal Drought and Rain. **Biotropica**, v. 34, n. 1, p. 27–39, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2002.tb00239.x>
- BORIONI, R.; SÁNCHEZ, L. E. Reforming environmental licensing in Brazil: Discourses analysis in the National Environment Council. **Ambiente & Sociedade**, v. 26, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0077r4vu2023i3oa>
- BRASIL. Lei n. 9.605, 12 de fevereiro de 1998 . Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. **DOU de 13.2.1998 e retificado em 17.2.1998**, Brasília, DF: [s. n.], 1998.
- BRASIL. **Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. [s. n.] Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 10 jul. 2023.
- BRASIL. **LEI n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e

dá outras providências. Brasília, DF: Diário Oficial da União, Seção 1, p. 16, 2012. Disponível em: Diário Oficial da União, Seção 1, p. 16

BRASIL. **Portaria MMA Nº 148, de 7 de junho de 2022**. Altera os Anexos da Portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014, da Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014, e da Portaria nº 445, de 17 de dezembro de 2014, referentes à atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção. Brasília, DF: Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção, 2022. Disponível em: Diário Oficial da União, Seção 1, p. 74

BROWN, J. L.; BENNETT, J. R.; FRENCH, C. M. SDMtoolbox 2.0: the next generation Python-based GIS toolkit for landscape genetic, biogeographic and species distribution model analyses. **PeerJ**, v. 5, p. e4095, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.7717/peerj.4095>

BUECHLING, A.; TOBALSKE, C. Predictive Habitat Modeling of Rare Plant Species in Pacific Northwest Forests. **Western Journal of Applied Forestry**, v. 26, n. 2, p. 71–81, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/wjaf/26.2.71>

BUSTAMANTE, M. M. C. *et al.* Toward an integrated monitoring framework to assess the effects of tropical forest degradation and recovery on carbon stocks and biodiversity. **Global Change Biology**, v. 22, n. 1, p. 92–109, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.13087>

CALLE, Z.; SCHLUMPBERGER, B. O.; PIEDRAHITA, L.; LEFTIN, A.; HAMMER, S. A.; TYE, A.; BORCHERT, R. Seasonal variation in daily insolation induces synchronous bud break and flowering in the tropics. **Trees**, v. 24, n. 5, p. 865–877, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0456-3>

CAMARGO, M. G. G.; ARISTA, M.; LUNAU, K.; ORTIZ, P. L.; STRADIC, S. Le; ROCHA, N. M. W. B.; MORELLATO, L. P. C. Flowering phenology of species with similar flower colours in species-rich communities. **Flora**, v. 304, p. 152312, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2023.152312>

CANO-BARBACIL, C.; CANO SÁNCHEZ, J. **EL IMPORTANTE PAPEL DE LAS SERIES LARGAS EN FENOLOGÍA**. [s. n.].

CARVALHO, R. L. *et al.* Pervasive gaps in Amazonian ecological research. **Current Biology**, v. 33, n. 16, p. 3495–3504.e4, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.06.077>

CARVALHO RIBEIRO, S.; SOARES FILHO, B.; CESALPINO, T.; ARAÚJO, A.; TEIXEIRA, M.; CARDOSO, J.; FIGUEIRAS, D.; NUNES, F.; RAJÃO, R. Bioeconomic markets based on the use of native species (NS) in Brazil. **Ecological Economics**, v. 218, p. 108124, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2024.108124>

CATENACCI, F. S.; SIMON, M. F. A checklist of Lecythidaceae in the upper Madeira River, Rondônia, Brazil with comments on diversity and conservation. **Brittonia**, v. 69, n. 4, p. 447–456, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12228-017-9482-4>

CHAMBOULEYRON, R. Opulência e miséria na Amazônia seiscentista. **Raízes da Amazônia**, v. 1, n. 1, p. 105–124, 2005.

CHAMBOULEYRON, R. O «cravo do Maranhão» e a Amazônia global (séculos XVII-XVIII). **Revista de Indias**, v. 82, n. 285, p. 329–361, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3989/revindias.2022.010>

CHOI, Y. *et al.* Can a national afforestation plan achieve simultaneous goals of biodiversity and carbon enhancement? Exploring optimal decision making using multi-spatial modeling. **Biological Conservation**, v. 267, p. 109474, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109474>

CLIMATE PREDICTION CENTER INTERNET TEAM. **El Niño / Southern Oscillation (ENSO)** . , 2023. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 5 jul. 2023.

DA COSTA, A. C. G.; VASCONCELOS, L. V.; DE LIMA, C. T.; CALDEIRA, C. F.; ZAPPI, D. C.; GIULIETTI, A. M.; WATANABE, M. T. C. Reproductive phenology of critical native plant species for mineland restoration in the eastern Amazon. **Plant Species Biology**, v. 38, n. 3, p. 131–143, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1442-1984.12406>

DANIEL, J. **O Tesouro Descoberto no Máximo Rio Amazonas (1741-1757) de João Daniel e a História da Alimentação**. 1. ed. [S. l.: s. n.]. v. 1.

DAVIS, C. C.; LYRA, G. M.; PARK, D. S.; ASPRINO, R.; MARUYAMA, R.; TORQUATO, D.; COOK, B. I.; ELLISON, A. M. New directions in tropical phenology. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 37, n. 8, p. 683–693, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.05.001>

DEARMOND, D.; EMMERT, F.; PINTO, A. C. M.; LIMA, A. J. N.; HIGUCHI, N. A Systematic Review of Logging Impacts in the Amazon Biome. **Forests**, v. 14, n. 1, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f14010081>

DEPRÁ, M. S.; GAGLIANONE, M. C. INTERAÇÕES ENTRE PLANTAS E POLINIZADORES SOB UMA PERSPECTIVA TEMPORAL. **Oecologia Australis**, v. 22, n. 01, p. 01–16, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.4257/oeco.2018.2201.01>

DONINI, C. V. Z. de S.; SANTOS, C. F. M. dos; FIORI, M. M. A colonização portuguesa e a exploração de pau-cravo na Amazônia. **VII Congresso Internacional de História**, p. 3385–3392, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.4025/7cih.pphuem.1409>

DUNHAM, A. E.; RAZAFINDRATSIMA, O. H.; RAKOTONIRINA, P.; WRIGHT, P. C. Fruiting phenology is linked to rainfall variability in a tropical rain forest. **Biotropica**, v. 50, n. 3, p. 396–404, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/btp.12564>

E. PABON-MORENO, D.; MUSAVI, T.; MIGLIAVACCA, M.; REICHSTEIN, M.; RÖRMERMANN, C.; D. MAHECHA, M. Ecosystem physio-phenology revealed using circular statistics. **Biogeosciences**, v. 17, n. 15, p. 3991–4006, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/bg-17-3991-2020>

EDWARDS, D. P.; TOBIAS, J. A.; SHEIL, D.; MEIJAARD, E.; LAURANCE, W. F. Maintaining ecosystem function and services in logged tropical forests. **Trends in Ecology &**

Evolution, v. 29, n. 9, p. 511–520, 2014. Disponível em:
<https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.07.003>

ELITH, J.; PHILLIPS, S. J.; HASTIE, T.; DUDÍK, M.; CHEE, Y. E.; YATES, C. J. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and Distributions**, v. 17, n. 1, p. 43–57, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>

ESRI. **ArcGIS Desktop**. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2016.

FARIAS, R. S.; PEREIRA SILVA, M. P.; MACIEL-SILVA, A. S.; PÔRTO, K. C. Influence of environmental factors on the distribution of Calymperes and Syrrhopodon (Calymperaceae, Bryophyta) in the Atlantic Forest of Northeastern Brazil. **Flora**, v. 234, p. 158–164, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.07.011>

FELSEMBURGH, C. A.; PELEJA, V. L.; CARMO, J. B. Fenologia de Aniba parviflora (Meins.) Mez. em Uma Região do Estado do Pará, Brasil. **Biota Amazônia**, v. 6, n. 3, p. 31–39, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.18561/2179-5746/biotaamazonia.v6n3p31-39>

FERNANDEZ, E.; MARTINELLI, G.; QUINET, A. Dicypellium caryophyllaceum. **The IUCN Red List of Threatened Species 2023:e.T36187A176128859**, v. 8235, 2023. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T36187A176128859.pt>. Acesso. Acesso em: 13 jul. 2023.

FERREIRA, A. R. Diário da viagem filosófica pela capitania de São José do Rio Negro. **Revista do Instituto Histórico Geográfico Brasileiro**, v. 70, p. 718, 1885.

FIGUEIREDO, S. M. de M.; FIGUEIREDO, E. O. Modelagem de distribuição de espécies arbóreas por classe diamétrica no sudoeste da Amazônia. **Scientia Forestalis**, v. 47, n. 124, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/scifor.v47n124.06>

FONTES, C. G.; DAWSON, T. E.; JARDINE, K.; MCDOWELL, N.; GIMENEZ, B. O.; ANDEREGG, L.; NEGRÓN-JUÁREZ, R.; HIGUCHI, N.; FINE, P. V. A.; ARAÚJO, A. C.; CHAMBERS, J. Q. Dry and hot: the hydraulic consequences of a climate change–type drought for Amazonian trees. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 373, n. 1760, p. 20180209, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0209>

GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; CHAZDON, R.; EWERS, R. M.; HARVEY, C. A.; PERES, C. A.; SODHI, N. S. Prospects for tropical forest biodiversity in a human-modified world. **Ecology Letters**, v. 12, n. 6, p. 561–582, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01294.x>

GIBSON, L.; LEE, T. M.; KOH, L. P.; BROOK, B. W.; GARDNER, T. A.; BARLOW, J.; PERES, C. A.; BRADSHAW, C. J. A.; LAURANCE, W. F.; LOVEJOY, T. E.; SODHI, N. S. Primary forests are irreplaceable for sustaining tropical biodiversity. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 378–381, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature10425>

GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M.; QUEIROZ, L. P.; WANDELERY, M. G.; BERG, C. V. D. Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil. **Mega diversidade**, v. 1, p. 52–61, 2005.

- GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY - GBIF. **GBIF.org**. , 2023. Disponível em: <https://www.gbif.org/species/5792801/metrics>. Acesso em: 9 ago. 2023.
- GODOI, E. L.; MENDES, T. A.; BATALHÃO, A. C. S. Implementation of Good Practices in Environmental Licensing Processes. **Laws**, v. 11, n. 5, p. 77, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/laws11050077>
- GONÇALVES, N. B.; LOPES, A. P.; DALAGNOL, R.; WU, J.; PINHO, D. M.; NELSON, B. W. Both near-surface and satellite remote sensing confirm drought legacy effect on tropical forest leaf phenology after 2015/2016 ENSO drought. **Remote Sensing of Environment**, v. 237, p. 111489, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111489>
- GUISAN, A.; BROENNIMANN, O.; ENGLER, R.; VUST, M.; YOCCOZ, N. G.; LEHMANN, A.; ZIMMERMANN, N. E. Using Niche-Based Models to Improve the Sampling of Rare Species. **Conservation Biology**, v. 20, n. 2, p. 501–511, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2006.00354.x>
- HIJMANS, R. J.; CAMERON, S. E.; PARRA, J. L.; JONES, P. G.; JARVIS, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 1965–1978, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
- HIJMANS, R. J.; KARNEY, C.; GEOGRAPHICLIB,] (; WILLIAMS, E.; VENNES, C.; MAINTAINER, J. Package “geosphere”. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00190012>
- HOFFMANN, S. Challenges and opportunities of area-based conservation in reaching biodiversity and sustainability goals. **Biodiversity and Conservation**, v. 31, n. 2, p. 325–352, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10531-021-02340-2>
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Análise do Tempo e do Clima**. , 2023. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 5 jul. 2023.
- IUCN. Scope(s): Global Language: Portuguese *Dicypellium caryophyllaceum*, Cravo-de-Maranhão THE IUCN RED LIST OF THREATENED SPECIES™. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.2020-3.RLTS.T36187A176128859.pt>
- FLORA E FUNGA DO BRASIL. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**., 2024. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 9 jul. 2024.
- JOLY, C. A.; HADDAD, C. F. B.; VERDADE, L. M.; OLIVEIRA, M. C. de; BOLZANI, V. da S.; BERLINCK, R. G. S. Diagnóstico da pesquisa em biodiversidade no Brasil. **Revista USP**, n. 89, p. 114–133, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i89p114-133>
- LAURANCE, W. F. *et al.* Averting biodiversity collapse in tropical forest protected areas. **Nature**, v. 489, n. 7415, p. 290–294, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature11318>
- LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. **FactoMineR** : An R Package for Multivariate Analysis. **Journal of Statistical Software**, v. 25, n. 1, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>

- LEWIS, S. L.; EDWARDS, D. P.; GALBRAITH, D. Increasing human dominance of tropical forests. **Science**, v. 349, n. 6250, p. 827–832, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aaa9932>
- LI, W.; ZHANG, P.; YE, J.; LI, L.; BAKER, P. A. Impact of two different types of El Niño events on the Amazon climate and ecosystem productivity. **Journal of Plant Ecology**, v. 4, n. 1–2, p. 91–99, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/jpe/rtq039>
- LOCKS, C. J.; MATRICARDI, E. A. T. Estimativa de impactos da extração seletiva de madeiras na Amazônia utilizando dados LIDAR. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 481–495, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509826007>
- LOPES, A. *et al.* Predicting the potential distribution of aquatic herbaceous plants in oligotrophic Central Amazonian wetland ecosystems. **Acta Botanica Brasilica**, v. 35, n. 1, p. 22–36, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-33062020abb0188>
- MAGALHÃES, L. M. S.; ALENCAR, J. da C. Fenologia do pau-rosa (*Aniba duckei* Kostermans), Lauraceae, em floresta primária na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 9, n. 2, p. 227–232, 1979. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-43921979092227>
- MAPBIOMAS, P. Coleção 3 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. Available in: <https://mapbiomas.org/>. Access Apr, v. 22, 2021. Disponível em: <https://doi.org/https://doi.org/10.58053/MapBiomias/VJIJCL>
- MBEREGO, S. Temporal patterns of precipitation and vegetation variability over Botswana during extreme dry and wet rainfall seasons. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 6, p. 2947–2960, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.4891>
- MENDOZA, I.; PERES, C. A.; MORELLATO, L. P. C. Continental-scale patterns and climatic drivers of fruiting phenology: A quantitative Neotropical review. **Global and Planetary Change**, v. 148, p. 227–241, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.12.001>
- MENEZES, I. S.; DO COUTO-SANTOS, A. P. L.; FUNCH, L. S. The influence of El Niño and edge effects on the reproductive phenology and floral visitors of *Eschweilera tetrapetala* Mori (Lecythidaceae), an endemic species of the Atlantic forest of northeastern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 32, n. 1, p. 1–11, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-33062017abb0083>
- MOKANY, K.; WESTCOTT, D. A.; PRASAD, S.; FORD, A. J.; METCALFE, D. J. Identifying Priority Areas for Conservation and Management in Diverse Tropical Forests. **PLoS ONE**, v. 9, n. 2, p. e89084, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089084>
- MORAES, J. **Historia da companhia de Jesus na extinta provincia do Maranhão e Pará**. : Typ. do Commercio, de Brito & Braga, 1860.
- MORELLATO, L. P. C.; CAMARGO, M. G. G.; GRESSLER, E. A Review of Plant Phenology in South and Central America. In: **Phenology: An Integrative Environmental Science**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2013. p. 91–113. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-94-007-6925-0_6

NEWSTROM, L. E.; FRANKIE, G. W.; BAKER, H. G. A New Classification for Plant Phenology Based on Flowering Patterns in Lowland Tropical Rain Forest Trees at La Selva, Costa Rica. **Biotropica**, v. 26, n. 2, p. 141, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2388804>

NORONHA, J. M. **Roteiro da viagem da cidade do Pará até as últimas colônias do sertão da província (1768)**. : EdUSP, 2006. v. 1.

NORTE ENERGIA. **Mapa de solos da área de influencia indireta**. Vitoria do Xingu: [s. n.], 2008.

OKSANEN, J. *Vegan: an introduction to ordination*. 2015.

PERAZZONI, F.; BACELAR-NICOLAU, P.; PAINHO, M. Geointelligence against Illegal Deforestation and Timber Laundering in the Brazilian Amazon. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 6, p. 398, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijgi9060398>

PETERSON, A. T. Ecological niche conservatism: a time-structured review of evidence. **Journal of Biogeography**, v. 38, n. 5, p. 817–827, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02456.x>

PHILLIPS, S.; DUDÍK, M.; ROBERT E. SCHAPIRE. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *In*: R. GREINER; D. SCHUURMANS (org.). **Proceedings, Twenty-First International Conference on Machine Learning, ICML 2004** . Banff, Alta: [s. n.], 2006. p. 655–662.

PHILLIPS, S. J.; ANDERSON, R. P.; SCHAPIRE, R. E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. **Ecological Modelling**, v. 190, n. 3–4, p. 231–259, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>

PILLAY, R.; VENTER, M.; ARAGON-OSEJO, J.; GONZÁLEZ-DEL-PLIEGO, P.; HANSEN, A. J.; WATSON, J. E.; VENTER, O. Tropical forests are home to over half of the world's vertebrate species. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 20, n. 1, p. 10–15, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/fee.2420>

POORTER, L. *et al.* Diversity enhances carbon storage in tropical forests. **Global Ecology and Biogeography**, v. 24, n. 11, p. 1314–1328, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/geb.12364>

QIN, Y. *et al.* Improved estimates of forest cover and loss in the Brazilian Amazon in 2000–2017. **Nature Sustainability**, v. 2, n. 8, p. 764–772, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0336-9>

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. Viena, Austria: [s. n.], 2023. *E-book*. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 9 ago. 2023.

SAKAI, S.; KITAJIMA, K. Tropical phenology: Recent advances and perspectives. **Ecological Research**, v. 34, n. 1, p. 50–54, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1440-1703.1131>

SALOMÃO, R. de P.; NA, R. Pau-cravo “roga do sertão” em risco de extinção. **Ciência Hoje**, v. 49, n. 289, p. 46–50, 2012. Disponível em: https://cienciahoje.periodicos.capes.gov.br/storage/acervo/ch/ch_289.pdf. Acesso em: 1 set. 2023.

SALOMÃO, R. de P.; ROSA, N. de A. Pau-cravo “Droga do sertão” em risco de extinção. **Ciência Hoje**, v. 49 (289), p. 45–50, 2012. Disponível em: https://cienciahoje.periodicos.capes.gov.br/storage/acervo/ch/ch_289.pdf. Acesso em: 1 set. 2023.

SALOMÃO, R. P.; ROSA, N. A.; MORAIS, K. A. C.; GOMES, V. H. F. Pau-cravo (*Dicypellium caryophyllatum* (Mart.) Ness – Lauraceae) uma espécie arbórea comercial ameaçada na Amazônia. *In*: 2010, Manaus. **Congresso Nacional de Botânica**. Manaus: [s. n.], 2010. p. 1–2.

SANCHEZ, A. C.; OSBORNE, P. E.; HAQ, N. Identifying the global potential for baobab tree cultivation using ecological niche modelling. **Agroforestry Systems**, v. 80, n. 2, p. 191–201, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9282-2>

SÁNCHEZ-TAPIA, A.; MORTARA, S. R.; BEZERRA ROCHA, D. S.; MENDES BARROS, F. S.; GALL, G.; DE SIQUEIRA, M. F. modleR: a modular workflow to perform ecological niche modeling in R. **BioRxiv**, p. 2020–2024, 2020.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. Tito.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. Á. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAÚJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. Ferreira. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018 a.

SANTOS, V. A. H. F. dos; FERREIRA, M. J.; RODRIGUES, J. V. F. C.; GARCIA, M. N.; CERON, J. V. B.; NELSON, B. W.; SALESKA, S. R. Causes of reduced leaf-level photosynthesis during strong El Niño drought in a Central Amazon forest. **Global Change Biology**, v. 24, n. 9, p. 4266–4279, 2018 b. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.14293>

SANTOS, P. M.; LORETO, M. das D. S. de; OLIVEIRA, M. L. R. de. O licenciamento ambiental na legislação brasileira: uma análise a partir da visão crítica da justiça ambiental. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, v. 13, n. 2, p. 329–364, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.7213/revdireconsoc.v13i2.28805>

SECRETARIA EXECUTIVA DA INICIATIVA AMAZÔNIA+10. **CHAMADA DE PROPOSTAS EXPEDIÇÕES CIENTÍFICAS – INICIATIVA AMAZÔNIA+10 (2023)**. , 2023. Disponível em: https://2674d7a2-d750-449d-8d95-d5e5e21b80bb.usrfiles.com/ugd/2674d7_1bd0b59b5fe944718d3360758eb70947.pdf. Acesso em: 30 jun. 2024.

SILVA, P. O. Da; ALMEIDA, S. E. S.; OLIVEIRA, T. C. D. S.; MENINO, G. C. D. O.; ALVES, R. D. F. B. Reproductive and vegetative phenology of *Qualea multiflora* mart. In cerrado. **Oecologia Australis**, v. 24, n. 1, p. 127–140, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2401.10>

SPANNER, G. C.; HERRERA, R. C.; ALVAREZ, W. de P.; LIMA, L. de O.; LIMA, A. J. N. Distribuição potencial de *Vouacapoua americana* Aubl. na Amazônia brasileira e o impacto da

mudança no uso do solo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 1094–1115, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p1094-1115>

THOMAS, E.; JALONEN, R.; LOO, J.; BOSHIER, D.; GALLO, L.; CAVERS, S.; BORDÁCS, S.; SMITH, P.; BOZZANO, M. Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 333, p. 66–75, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.07.015>

TOMAZ, J. S.; BEZERRA, C. de S.; AGUIAR, A. V. de; WREGE, M. S.; LOPES, M. T. G. Prediction of the natural distribution, habitat and conservation of *Stryphnodendron pulcherrimum* (Willd.) Hochr. in response to global climate change. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 52, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-40632022v5272422>

ULANOWSKA, M.; OLAS, B. Biological properties and prospects for the application of eugenol—a review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 22, n. 7, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms22073671>

VAN ZUIJLEN, K.; BISANG, I.; NOBIS, M. P.; BERGAMINI, A. Extinction risk of European bryophytes predicted by bioclimate and traits. **Biological Conservation**, v. 293, p. 110584, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2024.110584>

VELASTEGUI-MONTOYA, A.; MONTALVÁN-BURBANO, N.; PEÑA-VILLACRESES, G.; DE LIMA, A.; HERRERA-FRANCO, G. Land Use and Land Cover in Tropical Forest: Global Research. **Forests**, v. 13, n. 10, p. 1709, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f13101709>

WRIGHT, S. J.; CALDERÓN, O.; MULLER-LANDAU, H. C. A phenology model for tropical species that flower multiple times each year. **Ecological Research**, v. 34, n. 1, p. 20–29, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1440-1703.1017>

WRIGHT, S. J.; CARRASCO, C.; CALDERON, O.; PATON, S. The El Nino Southern Oscillation, Variable Fruit Production, and Famine in a Tropical Forest. **Ecology**, v. 80, n. 5, p. 1632, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/176552>

YANG, G.; LI, X.; YU, T.; WU, S.; LIU, Y. A New Model of Environmental-Economic Coordination Prediction Using Credible Neural Network Integration and Big Data Analysis. **Security and Communication Networks**, v. 2022, p. 1–9, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/3454821>

YIN, L.; FU, R.; SHEVLIKOVA, E.; DICKINSON, R. E. How well can CMIP5 simulate precipitation and its controlling processes over tropical South America? **Climate Dynamics**, v. 41, n. 11–12, p. 3127–3143, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1582-y>

ZAR, J. H. Biostatistical Analysis. *In*: Prentice Hall, 2010. p. 490–517. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781119995784.refs>

ZOGHBI, M.; SALOMÃO, R. P.; GUILHON, G. Leaf essential oils of *Dicypellium caryophyllaceum* (Mart.) Nees (Lauraceae): an almost extinct species in the Amazon. **American Journal of Essential Oils and Natural Products**, v. 1, n. 2, p. 19–21, 2013.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo, investigamos a caracterização fenológica e a modelagem preditiva de *Dicypellium caryophylaceum* (Mart.) Nees (Lauraceae) como ferramenta para a conservação. Nossos resultados revelaram que a fenologia reprodutiva da espécie apresenta um padrão sazonal e síncrono de floração e frutificação durante a estação chuvosa, com base em uma série temporal de oito anos de observações. A análise dos dados indicou que a sincronia observada na emissão de botões florais, flores abertas, frutos imaturos e frutos maduros está relacionada a variáveis exógenas, como o fotoperíodo elevado e a insolação reduzida, sugerindo que a disponibilidade de água durante a estação chuvosa favorece o ciclo completo de desenvolvimento dos frutos.

Embora a pesquisa tenha apresentado limitações, como a concentração dos dados fenológicos em apenas uma população e a possibilidade de não capturar a variabilidade total da espécie, acreditamos que nossos achados fornecem uma base sólida para futuras investigações. Sugere-se que pesquisas futuras explorem a influência de outras variáveis ambientais, como a umidade do solo e o déficit de pressão de vapor (DPV), bem como a interação entre *D. caryophyllaceum* e seus polinizadores e dispersores de sementes, para aprofundar a compreensão sobre a caracterização fenológica e a modelagem preditiva de *D. caryophyllaceum* como uma ferramenta para a conservação.

Inferimos que a sincronia dos períodos de floração possa ser uma estratégia para aumentar a polinização cruzada e minimizar a predação de flores e sementes, resultando em um maior sucesso reprodutivo da espécie. Esperamos que nossos resultados influenciem práticas de manejo e conservação, promovendo avanços significativos na preservação e recuperação de populações de *D. caryophyllaceum* na Amazônia.

Através da modelagem de distribuição potencial identificamos áreas de alta adequabilidade ambiental que são importantes para a preservação da espécie. As análises indicaram que, apesar da pressão antrópica, existem vastas áreas que ainda mantêm condições adequadas para o desenvolvimento do pau-cravo. A integração de dados abióticos e socioeconômicos no modelo forneceu uma visão abrangente das necessidades de conservação. Além disso, a identificação de novas ocorrências em municípios previamente não documentados reforça a importância de expedições de campo contínuas para aumentar a robustez dos registros e o entendimento da distribuição geográfica da espécie.

As áreas protegidas, incluindo Unidades de Conservação e Terras Indígenas, desempenham um papel vital na conservação de *D. caryophyllaceum*. A sobreposição da modelagem com essas áreas destacou a eficácia das políticas de conservação atuais, mas também evidenciou a necessidade de reforçar o monitoramento e o controle de atividades ilegais que ameaçam esses habitats. Para uma conservação eficaz, é importante que haja uma colaboração contínua entre os órgãos estatais de meio ambiente, o setor privado e a sociedade civil. Além disso, a promoção de práticas de manejo sustentável e o desenvolvimento de políticas públicas adaptativas são essenciais para enfrentar as pressões ambientais contemporâneas e garantir a preservação da biodiversidade.

A conservação de *D. caryophyllaceum* não é apenas uma questão ecológica, mas também socioeconômica, dada o seu potencial de aplicação nas indústrias farmacêutica e alimentícia. O uso sustentável dos recursos naturais, aliado a práticas de manejo que respeitem a regeneração da espécie, pode oferecer alternativas econômicas viáveis para produtores rurais da Amazônia. Portanto, essa abordagem não apenas enriquece a base científica sobre *D. caryophyllaceum*, mas também instrumentaliza os tomadores de decisão com informações estratégicas para implementar ações de conservação eficazes, apoiando a sustentabilidade e a biodiversidade na Amazônia Legal. Assim, contribui diretamente para a conservação desta espécie com importância histórica para o Brasil, assim como para a gestão responsável dos recursos naturais da região.

Este estudo também indicou que fenômenos climáticos globais, como a Oscilação Sul do *El Niño*, afetam a fenologia reprodutiva da espécie, que é típica do subosque da floresta amazônica. A continuidade do monitoramento fenológico é essencial para entender melhor essas influências e desenvolver estratégias adaptativas de manejo para a espécie.

Além disso, é relevante destacar que o cumprimento da legislação ambiental vigente no Brasil foi fundamental para o desenvolvimento desta tese. A população de *D. caryophyllaceum* utilizada para o monitoramento fenológico foi identificada por cientistas durante os estudos de viabilidade da Usina Hidrelétrica (UHE) Belo Monte na Região da Transamazônica e Xingu. O desmatamento decorrente da implantação de grandes projetos, como o da UHE Belo Monte, prevê planos de mitigação dos impactos ambientais, incluindo vários projetos de conservação.

Como parte dessas medidas mitigatórias foi adotado o transplante dos espécimes de pau-cravo localizadas no canal de derivação, bem como o acompanhamento fenológico da espécie e de várias outras do ecossistema afetado. Parte importante desses dados foi incorporado às nossas observações e são parte integrante dos achados desta tese.

A continuidade do estudo foi planejada e estruturada em uma proposta de tese pós-doutoral, envolvendo diversos atores locais (indígenas e comunidades tradicionais ribeirinhas) e cientistas pesquisadores (iniciação científica, mestrado e pós-doutorado). Esta pesquisa será desenvolvida ao longo de três anos consecutivos (outubro 2024 a outubro de 2027) e apresentada ao CNPq/CONFAP na chamada pública nº 34/2023: Expedições Científicas – Iniciativa Amazônia+10, recebendo número de protocolo 3656310742329845.

Esta proposta busca unir esforços de conservação *in situ* e *ex situ* para proteger e revitalizar as populações remanescentes de *D. caryophyllaceum*, explorando suas propriedades medicinais e aromáticas para promover a bioeconomia local. A proposta foi gestada em cinco objetivos principais: 1) Identificar e caracterizar as áreas remanescentes onde a espécie ainda existe, usando modelagem de distribuição potencial sob cenários climáticos atuais e futuros; 2) Estudar as interações entre fenômenos climáticos globais, como *El Niño* e *La Niña*, e os ciclos fenológicos da espécie, para entender como as mudanças climáticas podem afetar sua sobrevivência; 3) Explorar o uso do pau-cravo como Planta Alimentícia Não Convencional (PANC), integrando o conhecimento tradicional e científico para fomentar inovações em produtos alimentares e medicinais; 4) Desenvolver técnicas de conservação *ex situ* para a preservação do germoplasma; 5) Investigar os aspectos discursivos das Histórias Orais dos povos originários e comunidades tradicionais, focando nos usos de recursos madeireiros e não-madeireiros, entre eles o pau-cravo, nas Terras Indígenas Paquiçamba e Xipaya, trabalhando diretamente com três povos originais (Arara, Jurunas e Xipaia) e Comunidades Ribeirinhas de três RESEX (Xingu, Iriri e Riozinho do Anfrísio), contemplando diversas comunidades.

Essas abordagens futuras abordam uma lacuna fundamental na literatura científica ao documentar e preservar o conhecimento sobre o pau-cravo, uma espécie que foi considerada extinta, mas que recentemente foi redescoberta por pesquisadores. A proposta apresentada ao CNPq/CONFAP busca implementar estratégias integradas para a conservação e o uso sustentável desta espécie, proporcionando benefícios tanto para o meio ambiente quanto para as comunidades locais. Interligando os dados científicos detalhados nesta tese com os objetivos da proposta, reforçamos o valor inestimável do pau-cravo para a Amazônia. Sua conservação e

uso sustentável podem trazer benefícios significativos não apenas para as comunidades locais, mas também para os mercados farmacêuticos e alimentar, contribuindo assim para as metas globais de conservação da biodiversidade e desenvolvimento sustentável.

