



Universidade Federal do Amapá  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós Graduação  
Programa de Pós Graduação em Biodiversidade Tropical  
Mestrado e Doutorado  
UNIFAP / EMBRAPA-AP / IEPA / CI-Brasil



JOÃO NELSON NASCIMENTO SILVA JUNIOR

PADRÃO DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE  
OLEORRESINA POR *Copaifera reticulata* Ducke, EM ESTAÇÃO  
ECOLÓGICA NA AMAZÔNIA ORIENTAL

MACAPÁ, AP

2020

JOÃO NELSON NASCIMENTO SILVA JUNIOR

PADRÃO DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE OLEORRESINA POR  
*Copaifera reticulata* Ducke, EM ESTAÇÃO ECOLÓGICA NA AMAZÔNIA  
ORIENTAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Biodiversidade Tropical (PPGBIO) da Universidade Federal do Amapá, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biodiversidade Tropical.

Orientador: Dr. Marcelino C. Guedes

Co-Orientadora: Dra. Lina Bufalino

MACAPÁ, AP

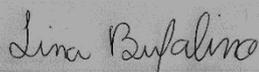
2020

JOÃO NELSON NASCIMENTO SILVA JUNIOR

PADRÃO DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE OLEORRESINA DE  
*Copaifera reticulata* Ducke, EM FLORESTA OMBRÓFILA DENSA NA  
AMAZÔNIA ORIENTAL



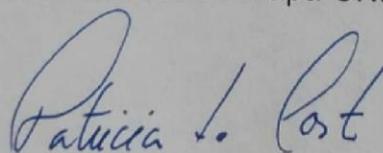
Orientador: Dr. Marcelino Carneiro Guedes  
Embrapa Amapá



Co-orientadora: Dra. Lina Bufalino  
Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA



Dr. José Júlio de Toledo  
Universidade Federal do Amapá-UNIFAP



Dra. Patrícia da Costa  
Embrapa Meio Ambiente

Aprovada em 03 de junho de 2020

Agradeço aos professores do Programa de Pós graduação em Biodiversidade Tropical da Universidade Federal do Amapá, por toda contribuição direta e indireta. Em especial ao professor Dr. Marcelino Carneiro Guedes, que foi meu orientador nesse trabalho, estendendo o agradecimento à co-orientadora, professora Dra. Lina Bufalino. Não posso deixar de agradecer também a pesquisadora Dra. Ana Cláudia Lira Guedes, que foi muito importante na minha formação desde a graduação. Essas três pessoas, seguiram colaborando para que a ciência em tempos obscuros não fosse negligenciada, prosseguindo por caminhos que muitos não querem percorrer. Meu muito obrigado!

À Rayane da Mota Rios, minha namorada, companheira e amiga, que sempre estava ao meu lado, me apoiando nos momentos mais difíceis dessa trajetória.

À minha família, principalmente minha mãe Filomena e minha filha Fernanda Christini, as que mais sentiram minha ausência em períodos entre sala de aula, trabalho, dias de campo e dias de laboratório. Pela compreensão e por estar sempre estarem me esperando com um abraço aconchegante.

Às pessoas que estiveram comigo em campo, Claudeci Fernandes, Manoel Jonas Viana, Adamor Pimenta, Rodelson Gomes, Carlos Alberto Moraes, Alcides Froes Dias Junior, colaboradores incansáveis, sob chuva ou sob sol, que não mediram esforços nas coletas de dados e amostras.

Ao Instituto Chico Mendes da Biodiversidade, sede de Monte Dourado e ESEC Jari.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (Projeto Kamukaia III – 12.13.07.007.00.02), pela estrutura dos Laboratórios, pela logística de campo e pelo apoio na pesquisa.

## RESUMO

Silva-Junior, João Nelson Nascimento da. Padrão de crescimento e produção de oleorresina por *Copaifera reticulata* Ducke, em estação ecológica na Amazônia oriental. Macapá, 2020. Dissertação (Mestre em Biodiversidade Tropical) – Programa de Pós graduação em Biodiversidade Tropical – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós Graduação - Universidade Federal do Amapá.

Conhecidas como copaibeiras, todas as espécies pertencentes ao gênero *Copaifera* produzem oleorresina. Um metabólito secundário com propriedades medicinais. Houve avanços significativos nas pesquisas farmacológicas, porém o mesmo não ocorreu com as bases para o manejo, que ainda apresentam algumas lacunas. Os objetivos desse trabalho foram avaliar a produção de oleorresina correlacionada aos atributos dendrométricos e anatômicos do lenho de *Copaifera reticulata* e analisar os padrões de crescimento diamétrico relacionados às variáveis meteorológicas em uma população de copaibeiras. O estudo ocorreu na Estação Ecológica do Jari, Almeirim – PA onde foi realizado inventário das copaibeiras em 2017 (n=16) e 2018 (n=12). O critério de inserção foi o DAP  $\geq 30$  cm e inexistência de perfuração anterior. Foram coletados dados dendrométricos de DAP, altura comercial e área da copa. Todas as copaibeiras foram perfuradas para coletar oleorresina e retirada de duas amostra do lenho. As amostras de madeira foram secas e coladas em suporte de madeira e polidas até que os anéis de crescimento estivessem visíveis. A idade das copaibeiras foram estimadas analisando-se os anéis. A porcentagem da relação cerne/alburno foi medida nas amostras do lenho. As correlações e análises estatísticas e os gráficos dos atributos das árvores foram realizadas no Rstudio e Excel. Os dados meteorológicos foram obtidos do site da NASA e estações meteorológicas de Macapá e da Jari Celulose S.A. Foram encontradas 28 copaibeiras, destas apenas 26 foram perfuradas. A distribuição diamétrica apresenta frequência maior nas classes intermediárias. Em 2017 das 15 copaibeiras perfuradas, apenas 7 foram produtivas. Quando as mesmas árvores foram visitadas em 2018 o número das que produziram passou para 12. Em 2018 outras 10 copaibeiras foram perfuradas, destas apenas 5 foram produtivas. O volume médio na primeira extração foi de  $603 \pm 208,88$  mL. Árvores com os diâmetros entre 50 cm e 80 cm apresentaram produção de oleorresina. Todas as copaibeiras proutivas liberaram oleorresina após a perfuração de 2/3 do raio até à medula. A área da copa e a altura comercial apresentaram correlação fraca, mas positiva com o volume produzido. O incremento diamétrico foi distinto entre as copaibeiras em função do ambiente, apresentando médias de  $0,45$  cm ano<sup>-1</sup> próximo às estradas e  $0,49$  cm ano<sup>-1</sup> em floresta densa. O incremento médio anual é influenciado pela precipitação e pouco influenciado pela temperatura. A produção, em volume, de oleorresina em *C. reticulata* é muito variada. No geral árvores com diâmetros intermediários são as que produzem oleorresina. Árvores com maior área de copa apresentam maiores diâmetros e porcentagem de cerne/alburno. O diâmetro mínimo que viabiliza a extração para *C. reticulata* é de 50 cm. O armazenamento do oleorresina só ocorre no cerne, por isso o furo

para a extração do óleo deve ser maior que  $\frac{1}{3}$  do raio. As copaibeiras apresentam padrão de crescimento distinto em função do ambiente onde estão estabelecidas. Nos anos com precipitação acima da média a largura dos anéis tende a aumentar. Nos anos com ocorrência de El Niño as precipitações diminuem e como efeito o incremento diamétrico diminui até nos dois anos seguintes.

**Palavras-chave:** copaíba; produto florestal não madeireiro; ESEC Jari; dendrocronologia; incremento diamétrico; precipitação; modelagem.

## ABSTRACT

Silva-Junior, João Nelson Nascimento da. Growth pattern and oleoresin production by *Copaifera reticulata* Ducke, in an ecological station in the eastern Amazon. Macapá, 2020. Dissertação (Mestre em Biodiversidade Tropical) – Programa de Pós-graduação em Biodiversidade Tropical – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós Graduação - Universidade Federal do Amapá.

Known as copaibeiras, all species belonging to the *Copaifera* genus produce oleoresin. A secondary metabolite with medicinal properties. There have been significant advances in pharmacological research, but the same has not happened with the bases for management, which still have some gaps. The objectives of this work were to evaluate the production of oleoresin correlated to the dendrometric and anatomical wood attributes of *Copaifera reticulata* and to analyze the diametric growth patterns related to meteorological variables in a population of copaibeiras. The study was conducted at Estação Ecológica do Jari, Almeirim - PA, where an inventory of copaibeiras was carried out in 2017 (n = 16) and 2018 (n = 12). The insertion criterion was DBH  $\geq$  30 cm and no previous drilling. Dendrometric data of DBH, commercial height and canopy area were collected. All copaibeiras were drilled to collect oleoresin and two wood samples were taken. The wood samples were dried and glued on a wooden support and polished until the growth rings were visible. The age of the copaibeiras were estimated by analyzing the rings. The percentage of heartwood / sapwood ratio was measured in the wood samples. Correlations and statistical analyzes and graphs of tree attributes were performed in Rstudio and Excel. The meteorological data were obtained from the NASA website and meteorological stations of Macapá and Jari Celulose A.S. 28 copaibeiras were found, of these only 26 were drilled. The diametric distribution is more frequent in the intermediate classes. In 2017 of the 15 perforated copaibeiras, only 7 were productive. When the same trees were visited in 2018, the number of trees produced increased to 12. In 2018, another 10 copaibeiras were drilled, of which only 5 were productive. The average volume in the first extraction was  $603 \pm 208.88$  mL. Trees with diameters between 50 cm and 80 cm showed oleoresin

production. All prospective copaibeiras released oleoresin after drilling  $\frac{2}{3}$  of the radius to the marrow. The canopy area and the commercial height showed a weak but positive correlation with the volume produced. The diametric increase was distinct between the copaibeiras as a function of the environment, presenting averages of 0.45 cm year<sup>-1</sup> close to the roads and 0.49 cm year<sup>-1</sup> in dense forest. The average annual increase is influenced by precipitation and little influenced by temperature. The volume production of oleoresin in *C. reticulata* is very varied. In general, trees with intermediate diameters are those that produce oleoresin. Trees with a larger canopy area present larger diameters and percentage of heartwood / sapwood. The minimum diameter that makes extraction for *C. reticulata* feasible is 50 cm. The storage of oleoresin only occurs at the heart, so the hole for oil extraction must be greater than  $\frac{1}{3}$  of the radius. Copaibeiras have a different growth pattern depending on the environment where they are established. In years with above average rainfall, the width of the rings tends to increase. In the years with the occurrence of El Niño, the precipitation decreases and, as an effect, the diametric increase decreases even in the following two years.

**Key-words:** copaíba; Non Timber Forest Product; ESEC Jari; dendrochronology; diametric incremente; rainfall; modelling

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1 CARATERIZAÇÃO DO GÊNERO <i>Copaifera</i> L. ....	4
2.2 OCORRÊNCIA E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE COPAIBEIRAS NO BRASIL .....	5
2.3 EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DA OLEORRESINA DE COPAÍBA.....	6
2.4 IMPORTÂNCIA DO OLEORRESINA DE COPAÍBA PARA A INDÚSTRIA FARMACÊUTICA.....	7
2.5. IMPORTÂNCIA DO OLEORRESINA DE COPAÍBA PARA A AGRICULTURA E PECUÁRIA .....	10
3. HIPÓTESES .....	11
4. OBJETIVOS.....	13
4.1OBJETIVO GERAL .....	13
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
5. REFERÊNCIAS .....	14
CAPÍTULO 1.....	18
Variáveis dendrométricas, anéis de crescimento e produção de oleorresina em <i>Copaifera reticulata</i> Ducke na Amazônia Oriental. ....	18
CAPÍTULO 2.....	52
Padrão de crescimento diamétrico e relações com variáveis climáticas em uma população de copaibeiras na Amazônia Oriental.....	52

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A floresta amazônica corresponde a, aproximadamente, 50% do território nacional. É constituída por um mosaico de formações florestais, principalmente florestas ombrófilas densas e abertas (montana e sub montana). Também há outras tipologias vegetais, tais como: campos alagados, campinaranas, florestas de várzeas ou aluvial, savanas que são conhecidas também como cerrado, refúgios montanhosos, florestas estacionais e florestas de igapó (IBGE 2012). Tal composição torna a floresta amazônica rica em biodiversidade, tanto de fauna como de flora (Filho 1987).

A floresta ombrófila aberta e a floresta ombrófila densa são as tipologias com maior diversidade em relação às outras coberturas vegetais existentes na Amazônia. Toda essa diversidade se traduz em possibilidades de exploração sustentável dos recursos naturais nelas contidos. A exploração madeireira, ainda é o carro chefe nas atividades florestais, principalmente nas últimas décadas, em que o domínio amazônico tem se tornado a última fronteira, e a extração desordenada de madeira precede a abertura de novas áreas para o agronegócio no Brasil. No entanto, a exploração de produtos florestais não madeireiros – PFNM aparece como alternativa econômica para os povos que vivem dentro ou no entorno das florestas, contribuindo para a manutenção da floresta em pé (Cocks and Wiersum 2003).

A antropização causada pelo desflorestamento, objetivando o crescimento da pecuária e a agricultura, tem causado a perda da biodiversidade tropical. Em função da perda de biodiversidade houve o reconhecimento do valor dos PFNM nas florestas tropicais (De Beer and McDermott 2002).

A exploração dos PFNMs é uma atividade com características de subsistência na região norte do Brasil. Realizada, principalmente, por comunidades tradicionais, dentro de unidades de conservação de usos múltiplos, a exemplo das reservas extrativistas.

Os PFNM são todos os produtos de origem florestal, podendo ser animal ou vegetal, além dos serviços ecossistêmicos, ambientais, sociais, culturais, espirituais e científicos (FAO 1995). Existem diversos PFNM vegetais: fibras, gomas, ceras, óleos essenciais, oleorresinas, frutos, sementes. Além destes, as

florestas desenvolvem serviços ecossistêmicos, como a regulação climática, o sequestro de carbono, a proteção de nascentes, a manutenção da qualidade da água e do ar, a proteção do solo contra erosão e compactação.

Um dos PFNM mais produzido e comercializado na Amazônia é a oleorresina de copaíba (IBGE 2019). A região é responsável pela produção de mais de 99% de toda a oleorresina produzida no Brasil, alcançando 165 Mg ano<sup>-1</sup> e uma receita de R\$ 3,8 milhões. A comercialização da produção se dá em escala regional e nacional, onde parte é comercializada localmente, nas feiras livres e outra parte é processada na indústria de cosméticos na produção de loções, xampu e sabonetes.

Vários estudos demonstram as potencialidades da oleorresina de copaíba na produção de fármacos. Existem várias espécies de copaíbas, por esse motivo os estudos que avaliam o potencial curativo são variados, com especificidade para cada tipo de doença. Mas as principais ações são cicatrizantes, anti-inflamatória, adstringente, anti micótica e anti neoplásica (Carvalho et al. 2005, Gomes et al. 2008, Mendonça and Onofre 2009, Almeida et al. 2012, Souza de Oliveira et al. 2017, Abrão et al. 2018). No entanto, apesar da importância da espécie ser cada vez mais reconhecida, ainda há pouco conhecimento sobre as relações de sua auto ecologia com o potencial produtivo e capacidade de manutenção da produção.

Nesse sentido, essa dissertação busca ajudar a minimizar esse problema, trazendo informações sobre a capacidade produtiva, sobre atributos das copaibeiras e sobre sua trajetória de crescimento. O entendimento de como se dá a produção e armazenamento da oleorresina dentro do tronco das copaibeiras, e como isso pode ser relacionado com a ecologia da população, é fundamental para trazer subsídio técnico ao manejo, visando a manutenção da sustentabilidade produtiva.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CARATERIZAÇÃO DO GÊNERO *Copaifera* L.

O gênero *Copaifera* L. está inserido na família Fabaceae e na subfamília Caesalpinioideae. Todos os indivíduos arbóreos ou arbustivos pertencentes ao gênero, são popularmente conhecidos como copaibeiras. Tem como característica principal a produção de oleorresina. A oleorresina é um composto líquido formado de uma fase volátil rica em sesquiterpenos, os quais são responsáveis pelo aroma e despertam o interesse das indústrias de cosméticos e perfumarias. A outra fase mais densa é composta por diterpenos, que despertam o interesse das indústrias farmacêuticas (Veiga Junior and Pinto 2002, Emerenciano et al. 2019), e uma fração composta por ácidos graxos (Emerenciano et al. 2019).

As copaibeiras são árvores ou arbustos, raramente subarbusto. Com estípulas precocemente caducas, quando ocorrem, no geral são opostas com formas lineares, lanceoladas, ovais ou falciformes. A textura pode apresentar-se membranácea a cartácea. As folhas são compostas e apresentam de dois a doze pares de folíolos, dispostas de forma alternas (Martins-da-Silva et al. 2008, Costa 2020).

As inflorescências são panículas axilares e/ou terminais. O pedúnculo ou raque da inflorescência, glabras a densamente hirsutas. As unidades são espiciformis com flores dispostas alternas e disticamente (Martins-da-Silva et al. 2008, Costa 2020).

As Flores são sésseis ou subsésseis, raramente pediceladas, com quatro sépalas, em geral uma, duas ou três mais larga que as demais. Apresentam as formas ovais, elípticas ou oblongas, apétalas, o androceu pode ter de 8 a 10 estames, livres entre si, filetes glabros, anteras dorsifixas, rimosas, gineceu estipitado, ovário orbicular, elíptico-orbicular, ou oblongo orbicular, glabro, pubescente ou hirsuto. O estilete é glabro, estigma capitado com dois óvulos (Martins-da-Silva et al. 2008, Costa 2020).

O fruto é do tipo legume curto, elíptico-orbicular, em geral com estilete persistente formando um “apêndice”. É bivalvado, succulentos no processo de

amadurecimento, seco após a dispersão da semente (Martins-da-Silva et al. 2008, Costa 2020).

A semente em maior parte é apenas uma, raramente duas, com testa preta, oblonga a orbiculares. O arilo carnoso branco, amarelo, laranja, vermelho ou purpúreo (Martins-da-Silva et al. 2008).

As espécies arbóreas do gênero *Copaifera* L. estão distribuídas de forma ampla na região tropical do globo. Está presente nos continentes americano, africano e, possivelmente, no asiático (Queiroz et al. 2015).

## 2.2 OCORRÊNCIA E DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA DE COPAIBEIRAS NO BRASIL

No Brasil foram registradas 26 espécies e 9 variedades, distribuídas nos diversos domínios fitogeográficos: Amazônia, Cerrado, Mata Atlântica e Caatinga (Rigamonte-Azevedo et al. 2006, Queiroz et al. 2015). Ocorrem nos mais diversos tipos de vegetação, tais como: caatinga (stricto sensu), campinarana, campo limpo, campo rupestre, cerrado (lato sensu), floresta ciliar ou galeria, floresta de igapó, floresta de terra firme, floresta de várzea, floresta estacional decidual, floresta estacional perenifolia, floresta estacional semidecidual, floresta ombrófila, restinga, savana amazônica (Costa 2020).

As copaibeiras são adaptadas a diversos ambientes, como: floresta de terra firme, florestas inundadas, margens inundáveis de rios, solos arenosos e matas de cerrado da região Centro-Oeste (Alencar 1982, Rigamonte-Azevedo et al. 2004). No entanto, na região onde está localizada a Estação Ecológica do Jari – ESEC JARI, localizada no Escudo das Guianas, entre os Estados do Amapá e Pará, a espécie ocorre somente em floresta de terra firme, em solos bem drenados. Diferente do que ocorre por exemplo, no Estado do Acre, onde existem espécies que ocorrem tanto em florestas de terra firme, que são áreas mais altas ou planas com boa drenagem, como também em florestas de baixio, caracterizadas por áreas mais baixas, ou côncavas com sinais de alagamento periódico (Rigamonte-Azevedo et al. 2004).

## 2.3 EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DA OLEORRESINA DE COPAÍBA

Veiga-Junior and Pinto (2002) dedicaram-se em uma extensa revisão sobre o gênero *Copaifera*, relatando as primeiras formas de extração da oleorresina de copaíba. Tais práticas eram bastante danosas às árvores. No processo eram utilizados desde o abate com machados, a golpes profundos no tronco das copaibeiras de onde era possível extrair toda a oleorresina armazenada na mesma. Depois foi utilizado o método idêntico ao usado para extração do látex nas seringueiras, como cortes em V na casca. O uso de bomba para sucção da oleorresina também foi empregado no passado, porém foi pouco difundido.

Nos dias atuais, a extração da oleorresina de copaíba é realizada por meio da perfuração do tronco, usando um trado manual ou um trado acoplado ao rotor de motosserra (Guarino et al. 2016). Essa prática resolve o problema acerca da manutenção das matrizes, pois os danos causados às árvores são minimizados, mas não resolve a procedência do oleorresina. Em regiões onde ocorrem mais de uma espécie de copaíba, ainda é costume o extrativista misturar os oleorresinas de várias copaibeiras, sem levar em consideração a espécie da qual houve a extração. Sabe-se hoje que as propriedades físico-químicas variam inter e intra específica (Veiga Junior and Pinto 2002).

O oleorresina da copaíba é um metabólito secundário produzido por células distribuídas em todos os tecidos da árvore. Embora seja mais evidente e usual a extração do oleorresina no tronco, também é possível extraí-lo das folhas, frutos e sementes (Arruda et al. 2019).

Já foram isolados e reconhecidos na literatura 72 sesquiterpenos e 27 diterpenos (Veiga Junior and Pinto 2002) presentes na composição química do oleorresina de diversas copaibeiras, porém a maioria dos trabalhos não relacionam essas substâncias às espécies botânicas. Apenas cinco espécies de *Copaifera* tem sua composição química descrita na literatura: *C. multijuga* Hayne, *C. reticulata* Ducke, *C. officinalis* L., *C. langsdorfii* Desf. e *C. cearensis* Huber ex Ducke (Veiga Junior and Pinto 2002, Veiga et al. 2007).

Em estudos mais recente de caracterização química do oleorresina de copaíba foram encontrados 237 compostos entre sesquiterpenos e diterpenos

em 15 espécies do gênero *Copaifera* (Arruda et al. 2019). As seguintes espécies são relatadas pelos pesquisadores: *C. cearensis*, *C. coriacea*, *C. martii*, *C. duckei*, *C. glycyarpa*, *C. langsdorfii*, *C. lucens*, *C. multijuga*, *C. oblongifolia*, *C. officinalis*, *C. paupera*, *C. piresii*, *C. publiflora*, *C. religiosa* e *C. reticulata*.

#### 2.4 IMPORTÂNCIA DO OLEORRESINA DE COPAÍBA PARA A INDÚSTRIA FARMACÊUTICA

O conhecimento das atribuições medicinais e o uso pelos povos indígenas, já é conhecido desde o século XVI. Há vários relatos em cartas enviadas para as metrópoles europeias que comprovam o uso do oleorresina de copaíba no tratamento de ferimentos e inflamações (Dwyer 1951). Atualmente, esse conhecimento se estendeu para o tratamento de muitas doenças.

A ação anti-inflamatória e antioxidante sistêmica foi testada em ratos com artrites. Embora os efeitos tenham sido positivos, com relação a sua ação anti-inflamatória e antioxidante, os mesmos foram contrabalanceados por modificações prejudiciais no metabolismo e na morfologia das células hepáticas, diminuindo a quantidade dos hepatócitos e aumentando o tamanho e a massa dos mesmos (Ghizoni et al. 2017).

A ação antimicrobiana do oleorresina de copaíba contra patógenos orais causadores de cáries e periodontia foi revisada extensamente, revelando o potencial para uso preventivo e no tratamento para essas infecções, contribuindo para o equilíbrio da microbiota oral (Diefenbach et al. 2018). O oleorresina de *C. duckei* e o ácido poliáltico são fontes potenciais para o uso antibacteriano nas infecções endodônticas primárias e cáries dentárias em modos sésseis e planctônicos nas dosagens que não causam citotoxicidade (Abrão et al. 2018). O oleorresina de *C. reticulata*, foi testado contra 19 patógenos orais, principalmente dos gêneros *Sptreptococcus*, *Lactobacilus*, *Enterococcus*, *Actinomyces*, *Porphyromonas*, *Prevotella* e *Bacteroides* (Bardají et al. 2016), podendo ser usado tanto na prevenção como no tratamento de cáries dentárias e periodontites.

A ação reparadora da córnea lesionada por queimadura química fazendo-se uso de colírios à base de oleorresina de *C. multijuga*, também foi testada. Os colírios de *C. multijuga* foram bem tolerados pela mucosa e superfície ocular,

reduzindo os efeitos e sintomas associados às úlceras corneanas induzidas quimicamente. Não havendo toxicidade ou genotoxicidade, com resultados semelhantes aos encontrados pelos colírios comerciais (Gonçalves Dias et al. 2017).

A ação cicatrizante de feridas cutâneas foi testada com extrato hidroalcoólico de folhas e oleorresina de *C. langsdorfii* por meio de cremes tópicos nas concentrações de 10%. Ambos os tratamentos mostraram ações anti-inflamatória e cicatrizante, com retração do tamanho das lesões, restauração dos vasos sanguíneos e reepitelização dos tecidos afetados (Gushiken et al. 2017). A cicatrização também foi testada em lesões na língua de ratos. Além dos efeitos anti-inflamatório, foi observado também redução do edema local e do número de macrófagos sistêmicos (Teixeira et al. 2017).

A incidência de pacientes com infecções hospitalares é causada principalmente por bactérias presentes nos ambientes hospitalares. A atividade antibacteriana do oleorresina de *C. duckei* e *C. reticulata* foram testados em uma unidade de hemodiálise. O oleorresina de *C. duckei* mostrou potencial para formulações de desinfetantes com alvo em bactérias gran-positivas, principalmente *Staphylococcus aureus*, mesmo quando com crescimento em modo de biofilme, mostrando-se mais eficiente do que o ácido paracético e o hipoclorito de sódio. Enquanto que *C. reticulata* apresentou atividade antibacteriana promissora contra *S. aureus* e a cepa 68 de *S. epidermidis* (Vieira et al. 2018).

O oleorresina de *C. multijuga* também foi testado para conferir a atividade antineoplásica. Tumores ascíticos e tumores sólidos de Ehrlich foram induzidos em ratos para avaliar o efeito do oleorresina sobre essas formas tumorais. Os resultados mostraram efeito positivo na redução e controle de tumores nos ratos. Os autores também ressaltam a importância das espécies de copaibeiras na fitoterapia (Gomes et al. 2008).

A segurança quanto ao uso, relacionados aos efeitos sistêmicos, principalmente transplacentários, foram testados com creme vaginal contendo oleorresina de *C. duckei* (Lima et al. 2011) e via oral por gavagem em amostras contendo oleorresina de *C. reticulata* (Sachetti et al. 2011). Não foram encontrados nenhum efeito durante o período de gestação nas ratas testadas ou indício de atividade teratogênica nos fetos. Os resultados sugerem que o uso em

mulheres grávidas, respeitando-se as doses recomendadas, são seguros (Sachetti et al. 2011).

As doenças causadas por protozoários como a malária e a leishmaniose são comuns em países localizados em regiões tropicais do globo. No norte do Brasil, nos estados inseridos na região Amazônica, tais doenças são consideradas endêmicas.

A malária é uma doença infecciosa que acomete grande parcela da população distribuída nas regiões tropicais. O oleorresina de *C. reticulata* foi testado in vitro em eritrócitos humanos contendo a fase intraeritrócita de *Plasmodium falciparum* resistentes e sensíveis à cloroquina e in vivo foi testado em ratos infectados. Os resultados mostraram redução nos níveis de parasitemia dos animais infectados, com taxas de eliminação semelhantes às obtidas com tratamento à base de artemisinina. Além disso, houve melhora dos parâmetros hipoglicêmicos, hematológicos, hepáticos e renais dos animais infectados, demonstrando que o oleorresina de *C. reticulata* possui propriedades antimaláricas do tipo *falciparum*.

A leishmaniose cutânea americana é uma lesão de difícil cicatrização, causada por um protozoário transmitido pela picada do mosquito flebotomíneo. O oleorresina obtido *C. reticulata*, *C. cearenses*, *C. martii*, *C. lucens*, *C. langsdorfii* e *C. multijuga*, mostraram atividade leishmanicida, principalmente contra a forma amastigota do protozoário *Leishmania amazonenses* (Albuquerque et al. 2017).

A nanoemulsão produzida com óleo essencial de copaíba e andiroba, também foi avaliada no tratamento de lesões causadas por *L. amazonensis* e *L. infantum*. Embora não tenha sido constatada uma cura completa da doença, houve redução dos parâmetros avaliados: carga parasitária, histopatologia e tamanho da lesão, sendo atribuídos ao uso da emulsão composta pelos óleos (Moraes et al. 2018).

Amostras de oleorresinas de *C. paupera* com maior concentração de  $\alpha$ -copaeno, mostrou maior atividade contra as formas promastigotas de *L. amazonensis* e *L. infantum*. Nanoemulsões com  $\alpha$ -copaeno apresentou melhor ação antileishmania do que o uso do exsudato bruto (Rodrigues et al. 2018).

Muito se avançou em pesquisas sobre os efeitos fitoterápicos e fabricação de produtos que usam como matéria prima a oleorresina de copaíba na indústria

de cosméticos e farmacêuticas. No entanto, como todos os outros PFNMs, existem lacunas sobre o conhecimento e tecnologias para consolidação do manejo, da cadeia produtiva e cadeia de valorização (Guarino et al. 2016).

## 2.5. IMPORTÂNCIA DO OLEORRESINA DE COPAÍBA PARA A AGRICULTURA E PECUÁRIA

Entre os anos de 2005 e 2018 o Brasil quase dobrou a produção total de grãos, considerando as mais diversas culturas. O milho teve um salto na produção de 42,5 mil Mg para pouco mais de 100 mil Mg do grão (Conab 2020). A principal praga que prejudica a produtividade do milho é a lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda*. O controle dessa praga é realizado, principalmente, com defensivos químicos sintéticos e biológicos com fungos entomopatogênico (Martins et al. 2009).

Nesse contexto, o oleorresina de copaíba misturado com defensivos químicos na proporção 1:1 (LC<sub>25</sub> : LC<sub>25</sub>) foi testado e os resultados mostraram que a adição do oleorresina na composição reduziu a quantidade dos compostos sintéticos e melhorou a eficiência dos defensivos contra *S. frugiperda* (Almeida et al. 2017). Em outro estudo realizado com diversos óleos essenciais, o oleorresina de copaíba apresentou taxa de mortalidade de 100% das lagartas de terceiro instar, com concentração menor que os outros óleos testados (Santos et al. 2016).

Na pecuária, o carrapato do boi *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*, é uma praga que causa danos econômicos e sanitários, transmitindo aos rebanhos vírus, bactérias e protozoários (Jongejan and Uilenberg 2004). Além das perdas de sangue, a principal doença transmitida é conhecida como tristeza bovina, causada por protozoários do gênero *Babesia*, presente na saliva do carrapato (Muhanguzi et al. 2020).

O oleorresina de *C. reticulata* tem se mostrado um eficiente acaricida alternativo no controle da população de carrapatos do boi, ainda na fase larval (Fernandes and Freitas 2007). Os autores ressaltam ainda a manutenção das copaibeiras como fontes de recursos naturais de compostos acaricida, confirmando a importância da conservação e uso da floresta Amazônica.

É notável que existe muita pesquisa relacionada com o uso do oleorresina de copaíba. No entanto, é necessário avançar nas bases do manejo das espécies de copaibeiras. Esse trabalho, apresenta dois capítulos, que devem contribuir para preencher lacunas referentes ao manejo das espécies de *Copaifera*. No primeiro, os atributos dendrométricos das copaibeiras e anatomia da madeira são analisados para predizer a produção de oleorresina. No segundo, são analisados os padrões de crescimento diamétrico das copaibeiras em função da idade, ambiente onde estão estabelecidas e anomalias climáticas na Amazônia.

### **3. HIPÓTESES**

As perguntas que estimularam a pesquisa foram as seguintes:

1. O dano causado pelo furo para extração do oleorresina pode estimular a exsudação de oleorresina pelas células parenquimáticas?
2. A produção de oleorresina tem relação com a formação do cerne ou com a idade das copaibeiras?
3. A relação cerne/alburno é constante, independente do diâmetro?
4. É possível prever o estoque de oleorresina, a partir das análises dos atributos dendrométricos das copaibeiras?
5. O padrão de crescimento é influenciado pelo ambiente onde as copaibeiras estão estabelecidas?
6. O padrão de crescimento diamétrico das copaibeiras pode ser influenciado pelas variáveis meteorológicas? Como ocorre essa influência?

As hipóteses são:

1. O furo para extração de óleo oleorresina estimula a exsudação de oleorresina pelas células parenquimáticas circundantes aos canais resiníferos. Assim, copaibeiras que não produziram oleorresina durante a

primeira extração, quando a árvore foi furada, podem produzir na segunda coleta.

2. A relação cerne/alburno não é constante em copaibeiras com diferentes idades e diâmetros. A taxa de formação de cerne aumenta com a idade das árvores. Portanto, como o escorrimento do óleo depende da lise das células durante a morte no cerne, há maior produção de óleo oleorresina em copaibeiras com maiores diâmetros. Nas copaibeiras mais finas e jovens, que possuem menor relação cerne/alburno, já existem canais resiníferos que sintetizam oleorresina, pois os mesmos são de formação pós-cambial e ocorre pelo afastamento e ou morte de algumas células no alburno quando a madeira ainda está viva. No entanto, a produção do óleo nessas árvores é menor, pois só é possível escorrer e produzir oleorresina para coleta após a morte das células parenquimáticas.
3. A formação de cerne possibilita a produção de oleorresina, e tem forte relação com a idade e o diâmetro em árvores. Assim, é possível que haja relações com estas e outras variáveis dendrométricas em copaibeiras no que tange a produção de oleorresina.
4. As copaibeiras apresentam padrões distintos de crescimento em função do ambiente onde estão estabelecidas.
5. A variação no crescimento diamétrico das copaibeiras é dependente de variáveis meteorológicas vigentes durante o período vegetativo e em momentos precedentes. Assim, essas variáveis podem ser relacionadas com o incremento e com períodos de supressões e/ou liberações de crescimento durante o ciclo de vida da árvore.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a produção de oleorresina de copaíba, assim como variáveis dendrométricas e anatômicas da madeira de copaibeiras e seu padrão de crescimento, visando gerar subsídios ao manejo desse importante PFNM da Amazônia.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar variações dendrométricas das copaibeira, construir a curva de crescimento da espécie e realizar o agrupamento das árvores, em função dos ambientes em que se encontram;
- Quantificar a produção na primeira extração e verificar as relações com a posição e profundidade do furo, e com atributos das copaibeiras como a proporção cerne/alburno e idade e
- Avaliar se copaibeiras não produtivas na primeira coleta podem se tornar produtivas na recoleta, após 10 meses da primeira extração.
- Avaliar o padrão de crescimento diamétrico da população de copaibeiras por meio da comparação de diferentes modelos,
- Relacionar o incremento diamétrico e os eventos de supressão e liberação de crescimento, com a variação temporal de condições meteorológicas na Amazônia e da anomalia da temperatura no oceano Pacífico.

## 5. REFERÊNCIAS

- Abrão, F., J. A. Alves, G. Andrade, P. F. de Oliveira, S. R. Ambrósio, R. C. S. Veneziani, D. C. Tavares, J. K. Bastos, and C. H. G. Martins. 2018. Antibacterial effect of *Copaifera duckei* Dwyer oleoresin and its main diterpenes against oral pathogens and their cytotoxic effect. *Frontiers in Microbiology* 9:1–11.
- Albuquerque, K. C. O. De, A. D. S. S. Da Veiga, J. V. Da Silva E Silva, H. P. C. Brigido, E. P. D. R. Ferreira, E. V. S. Costa, A. M. D. R. Marinho, S. Percário, and M. F. Dolabela. 2017. Brazilian Amazon Traditional Medicine and the Treatment of Difficult to Heal Leishmaniasis Wounds with *Copaifera*. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine* 2017.
- Alencar, J. da C. 1982. Estudos silviculturais de uma população natural de *Copaifera multijuga* Hayne Leguminosae, na Amazônia Central. *Acta Amazônica* 12:255–279.
- Almeida, M. R., J. D. Arc, C. Darin, L. C. Hernandez, M. Freiman, D. S. Ramos, L. Maria, G. Antunes, and O. De Freitas. 2012. Genotoxicity assessment of Copaiba oil and its fractions in Swiss mice 672:664–672.
- Almeida, W. A. de, I. H. L. da Silva, A. C. vieira dos Santos, A. P. B. Júnior, and A. H. de Sousa. 2017. Potentiation of Copaíba Oil-Resin With Synthetic Insecticides To Control of Fall Armyworm. *Revista Caatinga* 30:1059–1066.
- Arruda, C., J. A. Aldana Mejía, V. P. Ribeiro, C. H. Gambeta Borges, C. H. Gomes Martins, R. C. Sola Veneziani, S. R. Ambrósio, and J. K. Bastos. 2019. Occurrence, chemical composition, biological activities and analytical methods on *Copaifera* genus—A review. *Biomedicine and Pharmacotherapy* 109:1–20.
- Bardají, D. K. R., J. J. M. da Silva, T. C. Bianchi, D. de Souza Eugênio, P. F. de Oliveira, L. F. Leandro, H. L. G. Rogez, R. C. S. Venezianni, S. R. Ambrosio, D. C. Tavares, J. K. Bastos, and C. H. G. Martins. 2016. *Copaifera reticulata* oleoresin: Chemical characterization and antibacterial properties against oral pathogens. *Anaerobe* 40:18–27.
- De Beer, J. H., and M. J. McDermott. 2002. *The Economic Value of Non-Timber Forest Products in Southeast Asia*. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, Rue Mauverney 28 Gland CH-1196 Switzerland. 197:2002.
- Carvalho, J. C. T., V. Cascon, L. S. Possebon, M. S. S. Morimoto, L. G. V. Cardoso, M. A. C. Kaplan, and B. Gilbert. 2005. Topical antiinflammatory and analgesic activities of *Copaifera duckei* Dwyer. *Phytotherapy Research* 19:946–950.
- Cocks, M. L., and K. F. Wiersum. 2003. The significance of plant diversity to rural households in eastern cape province of south africa. *Forests Trees and Livelihoods* 13:39–58.
- Conab, C. N. de A. 2020. *Séries Históricas das Safras*.

<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras>.

- Costa, J. A. S. 2020. Copaifera in Flora do Brasil 2020 em Construção. <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB22895>.
- Diefenbach, A. L., F. W. M. G. Muniz, H. J. R. Oballe, and C. K. Rösing. 2018. Antimicrobial activity of copaiba oil (*Copaifera* spp.) on oral pathogens: Systematic review.
- Dwyer, J. D. 1951. The central American, west Indian, and South American species of copaifera (caesalpiniaceae). *Brittonia* 7:143–172.
- Emerenciano, D. P., B. B. D. Baracho, M. L. De Medeiros, H. A. O. Rocha, F. H. Xavier, V. F. Da Veiga, and M. A. M. Maciel. 2019. Physicochemical characterizations and antioxidant property of copaiba oil loaded into SnEDDS systems. *Journal of the Brazilian Chemical Society* 30:234–246.
- FAO. 1995. Consulta de Expertos Sobre Productos Forestales No Madereros Para America Latina No Latina. Santiago, Chile.
- Fernandes, F. de F., and E. de P. S. Freitas. 2007. Acaricidal activity of an oleoresinous extract from *Copaifera reticulata* (Leguminosae: Caesalpinioideae) against larvae of the southern cattle tick, *Rhipicephalus (Boophilus) microplus* (Acari: Ixodidae). *Veterinary Parasitology* 147:150–154.
- Filho, H. D. F. L. 1987. Considerações sobre a florística de florestas tropicais e sub-tropicais do Brasil. *Ipef* 35:41–46.
- Ghizoni, C. V. de C., A. P. P. A. Ames, O. A. Lameira, A. B. Sá Nakanishi, L. Bracht, M. R. Marçal Natali, R. M. Peralta, A. Bracht, and J. F. Comar. 2017. Anti-inflammatory and antioxidant actions of copaiba oil are related to liver cell modifications in arthritic rats. *Journal of Cellular Biochemistry*:1–42.
- Gomes, N. de M., C. de M. Rezende, S. P. Fontes, A. M. C. Hovell, R. G. Landgraf, M. E. Matheus, A. da C. Pinto, and P. D. Fernandes. 2008. Antineoplastic activity of *Copaifera multijuga* oil and fractions against ascitic and solid Ehrlich tumor. *Journal of Ethnopharmacology* 119:179–184.
- Gonçalves Dias, F. G., A. T. Jorge, L. de Freitas Pereira, R. A. Furtado, S. R. Ambrósio, J. K. Bastos, S. B. Ramos, F. Chahud, L. G. G. Gonçalves Dias, C. dos Santos Honsho, and D. C. Tavares. 2017. Use of *Copaifera multijuga* for acute corneal repair after chemical injury: A clinical, histopathological and toxicogenetic study. *Biomedicine and Pharmacotherapy* 96.
- Guarino, E. de S. G., F. L. Fonseca, H. F. Uller, and L. H. D. O. Wadt. 2016. Adaptação ao Modelo Tradicional de Extração de Oleorresina da Copaíba. *Comunicado Técnico Embrapa* 193:1–8.
- Gushiken, L. F. S., C. A. Hussni, J. K. Bastos, A. L. Rozza, F. P. Beserra, A. J. Vieira, C. R. Padovani, M. Lemos, M. Polizello Junior, J. J. M. Da Silva, R. H. Nóbrega, E. R. M. Martinez, and C. H. Pellizzon. 2017. Skin Wound Healing Potential and Mechanisms of the Hydroalcoholic Extract of Leaves and Oleoresin of *Copaifera langsdorffii* Desf. Kuntze in Rats. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine* 2017.

- IBGE. 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Rio de Janeiro, RJ - Brasil.
- IBGE. 2019. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pevs/quadros/brasil/2019>.
- Jongejan, F., and G. Uilenberg. 2004. The global importance of ticks. *Parasitology* 129:S3–S14.
- Lima, C. S., B. J. L. De Medeiros, H. A. S. Favacho, K. C. Dos Santos, B. R. De Oliveira, J. C. Taglialegna, E. V. M. Da Costa, K. J. De Campos, and J. C. T. Carvalho. 2011. Pre-clinical validation of a vaginal cream containing copaiba oil (reproductive toxicology study). *Phytomedicine* 18:1013–1023.
- Martins-da-Silva, R. C. V., J. F. Pereira, and H. C. de Lima. 2008. O gênero *Copaifera* (Leguminosae - Caesalpinioideae) na Amazônia brasileira. *Rodriguésia* 59:455–476.
- Martins, G. M., L. C. Toscano, G. V. Tomquelski, and W. I. Maruyama. 2009. Inseticidas químicos e microbianos no controle da Lagarta-do-cartucho na fase inicial da cultura do milho. *Revista Caatinga* 22:170–174.
- Mendonça, D. E., and S. B. Onofre. 2009. Atividade antimicrobiana do óleo-resina produzido pela copaiba - *Copaifera multijuga* Hayne (Leguminosae). *Brazilian Journal of Pharmacognosy* 19:577–581.
- Moraes, A. R. D. P. de, G. D. Tavares, F. J. Soares Rocha, E. de Paula, and S. Giorgio. 2018. Effects of nanoemulsions prepared with essential oils of copaiba- and andiroba against *Leishmania infantum* and *Leishmania amazonensis* infections. *Experimental Parasitology* 187:12–21.
- Muhanguzi, D., J. Byaruhanga, W. Amanyire, C. Ndekezi, S. Ochwo, J. Nkamwesiga, F. N. Mwiine, R. Tweyongyere, J. Fourie, M. Maddar, T. Schetters, I. Horak, N. Juleff, and F. Jongejan. 2020. Invasive cattle ticks in East Africa : morphological and molecular confirmation of the presence of *Rhipicephalus microplus* in south - eastern Uganda. *Parasites & Vectors*:1–9.
- Queiroz, L. P., R. C. V. Martins-da-Silva, and J. A. S. Costa. 2015. *Copaifera* in Lista de Espécies da Flora do Brasil.
- Rigamonte-Azevedo, O. C., P. G. S. Wadt, and L. H. O. Wadt. 2004. *Copaíba* : Ecologia e Produção de Óleo-Resina.
- Rigamonte-Azevedo, O. C., P. G. S. Wadt, and L. H. O. Wadt. 2006. Potencial de produção de óleo-resina de copaíba (*Copaifera* spp ) de populações naturais do Sudoeste da Amazônia. *R. Árvore* 30:583–591.
- Rodrigues, I. A., A. D. S. Ramos, D. Q. Falcão, J. L. P. Ferreira, S. L. Basso, J. R. D. A. Silva, and A. C. F. Amaral. 2018. Development of nanoemulsions to enhance the antileishmanial activity of *Copaifera paupera* oleoresins. *BioMed Research International* 2018.
- Sachetti, C. G., R. R. de Carvalho, F. J. R. Paumgarten, O. A. Lameira, and E. D. Caldas. 2011. Developmental toxicity of copaiba tree (*Copaifera reticulata* Ducke, Fabaceae) oleoresin in rat. *Food and Chemical Toxicology* 49:1080–1085.

- Santos, A. C. V. dos, C. C. Fernandes, L. M. Lopes, and A. H. de Sousa. 2016. Insecticidal Oils From Amazon Plants in Control of Fall Armyworm. *Revista Caatinga* 29:642–647.
- Souza de Oliveira, L. G., D. Alves Ribeiro, M. Eufrazio Saraiva, D. Gonçalves de Macêdo, J. Gonçalves Ferreira Macedo, P. Gonçalves Pinheiro, J. G. Martins da Costa, M. M. de Almeida Souza, and I. R. Alencar de Menezes. 2017. Chemical variability of essential oils of *Copaifera langsdorffii* Desf. in different phenological phases on a savannah in the Northeast, Ceará, Brazil. *Industrial Crops and Products* 97.
- Teixeira, F. B., R. de B. Silva, O. A. Lameira, L. P. Webber, R. S. D. A. Couto, M. D. Martins, and R. R. Lima. 2017. Copaiba oil-resin (*Copaifera reticulata* Ducke) modulates the inflammation in a model of injury to rats' tongues. *BMC Complementary and Alternative Medicine* 17.
- Veiga Junior, V. F., and A. C. Pinto. 2002. O gênero *Copaifera* L. *Quimica Nova* 25:273–286.
- Veiga, V. F., E. C. Rosas, M. V. Carvalho, M. G. M. O. Henriques, and A. C. Pinto. 2007. Chemical composition and anti-inflammatory activity of copaiba oils from *Copaifera cearensis* Huber ex Ducke, *Copaifera reticulata* Ducke and *Copaifera multijuga* Hayne-A comparative study. *Journal of Ethnopharmacology* 112:248–254.
- Vieira, R. G. L., T. da S. Moraes, L. de O. Silva, T. C. Bianchi, R. C. S. Veneziani, S. R. Ambrósio, J. K. Bastos, R. H. Pires, and C. H. G. Martins. 2018. In vitro studies of the antibacterial activity of *Copaifera* spp. oleoresins, sodium hypochlorite, and peracetic acid against clinical and environmental isolates recovered from a hemodialysis unit. *Antimicrobial Resistance and Infection Control* 7:1–13.

## CAPÍTULO 1

Variáveis dendrométricas, anéis de crescimento e produção de oleorresina em *Copaifera reticulata* Ducke na Amazônia Oriental.

*Artigo submetido ao periódico "Annals of Forest Research"*

## RESUMO

Foram avaliados atributos de *C. reticulata* e suas relações com a produção de oleorresina em diferentes profundidades e posições de furos realizados no tronco para coleta, visando gerar subsídios para o manejo da espécie. O estudo foi realizado em floresta ombrófila densa na Amazônia Oriental. Foram inventariadas, avaliadas e perfuradas 26 árvores da espécie. A extração de oleorresina ocorreu em 12/2017 e 10/2018. Em 2017, foram perfuradas 16 árvores e em 2018 mais dez, sendo também avaliada a coleta nas 16 primeiras. Em cada copaíba, foram realizadas duas perfurações, para extração da oleorresina e coleta de amostras do lenho. Essas amostras foram lixadas e escaneadas, para determinar a relação cerne/alburno, os anéis de crescimento e idade das árvores. As copaíbas apresentam distribuição diamétrica próxima da normal, são emergentes com copa dominante e apresentam incremento diamétrico médio ( $0.45 \pm 0.003 \text{ cm ano}^{-1}$ ), com tendência de estabilização após 150 anos. Existem copaíbas produtivas, produtivas após estímulo e improdutivas. A produção média foi de 603.60 mL ind<sup>-1</sup>, e de 1257.50 mL ind<sup>-1</sup> considerando-se apenas os indivíduos produtivos. A variável que mais se relaciona com a produção de oleorresina é o diâmetro, sendo mais produtivos os indivíduos com diâmetro intermediário (50 – 80 cm). Um único furo é suficiente para constatar se a árvore é produtiva, pois não se observou efeito em relação a produção quando da abertura de um segundo em lado oposto do tronco. A produção de oleorresina, considerando-se o período curto entre coletas consecutivas, foi maior na primeira extração do que na coleta, mas houve um incremento no número de indivíduos produtivos após a primeira coleta. Só houve produção de oleorresina quando a profundidade da perfuração foi maior que 1/3 do raio, quando atinge o cerne. O estímulo causado pelas perfurações pode gerar, após curto período, produção de oleorresina em copaíbas improdutivas na primeira extração, porém dez meses é insuficiente para produzir volume igual ao coletado anteriormente.

**Palavras chaves:** copaíba, produto florestal não madeireiro, ESEC Jari, dendrocronologia

## ABSTRACT

Attributes of copaíbas trees and their relationship with the oleoresin production at different depths and positions of holes made in the trunk for collection were evaluated, aiming to generate subsidies for the management of *C. reticulata*. The study was carried out in the Amazon rainforest. 26 copaíbas trees were inventoried, evaluated and drilled. The extraction of oleoresin occurred on 12/2017 and 10/2018. In 2017, 16 trees were drilled and in 2018 another 10, and the re-collection was also evaluated in the first 16. Two perforations were carried out in each tree, to extract the oleoresin and collect wood samples. These samples were sanded and scanned to determine the heartwood/sapwood ratio, the growth rings and age of the trees. The diametric distribution was almost normal, with average diametric increase ( $0.45 \pm 0.003 \text{ cm year}^{-1}$ ) and tendency of stabilization after 150 years. There are productive, productive after stimulation and unproductive trees. The average production was  $603.60 \text{ mL tree}^{-1}$ . The variable that most relates to the oleoresin production is the diameter, with those with an intermediate diameter (50 – 80 cm) being more productive. A single hole is sufficient to verify whether the tree is productive, as a second on the opposite side of the trunk does not work as a sigh and had no effect. The production of oleoresin, for short fallow periods, was higher in the first extraction than re-collect, but the percentage of productive copaibas trees was lower. Oleoresin was produced only when the drilling depth was greater than 1/3 of the radius, with a high probability of reaching the heartwood. The stimulus caused by the perforations can generate, after a short period, oleoresin production in unproductive copaíbas trees in the first extraction, however, ten months is insufficient to produce the same volume as previously collected.

**Keywords:** copaíba, Non Timber Forest Product, Jari Ecological Station, dendrochronology

## INTRODUÇÃO

As copaíbas, como são conhecidas todas as árvores pertencentes ao gênero *Copaifera* L., produzem como metabólito secundário um exsudato resinífero oleoso. Esse produto é formado por uma parte oleaginosa volátil (sesquiterpenos) e outra mais densa ou resinosa. Devido suas propriedades medicinais, atribuídas, principalmente aos diterpenos, principais constituintes da resina (Veiga Junior and Pinto 2002), a oleorresina de copaíba é um dos principais Produtos Florestais Não Madeireiro – PFNM comercializados nos mercados populares da Amazônia.

Esse PFNM é usado no tratamento de doenças do trato respiratório (Veiga Junior and Pinto 2002), como analgésico e anti-inflamatório tópico contra infecções dermatológicas (Carvalho et al. 2005). Também tem efeito antibacteriano contra infecções causadas por bactérias orais (Bardají et al. 2016, Abrão et al. 2018), antígeno tóxico e carcinogênico (Senedese et al. 2019), cicatrizante de lesões na pele (Paiva et al. 2002) e traz benefício quando usado em feridas de espécies equinas (Lucas et al. 2017).

A oleorresina da copaíba também é citada no controle de pragas agrícolas, como repelente de forídeos que atacam as colmeias (Freire et al. 2006) e no controle da lagarta do cartucho *Spodoptera frugiperda* (Santos et al. 2016, Almeida et al. 2017). Cada espécie apresenta oleorresina com propriedades físicas e químicas bem distintas, com variação interespecífica (Veiga et al. 2007) e intraespecífica, sendo observadas diferenças nas concentrações de sesquiterpenos entre diferentes partes de uma mesma planta (Chen et al. 2009).

Uma das principais espécies de copaíba é a *Copaifera reticulata* Ducke, que ocorre nos estados do Amapá, Pará, Roraima e Mato Grosso (Martins-da-Silva et al. 2008). É uma espécie que pode alcançar 40 m de altura e diâmetro maior que 100 cm (Martins-da-Silva et al. 2008). No entanto, as copaíbas mais grossas não são as amais produtivas.

Estudos têm demonstrado que as copaíbas nas classes de diâmetros intermediários (50 – 80) são as que apresentam maior capacidade produtiva de oleorresina (Alencar, 1982). Normalmente, o diâmetro das árvores pode ser relacionado com sua idade, sendo que ambos os fatores estão associados com variações na sua taxa de desenvolvimento. Medeiros (2016) aponta que o crescimento radial ou diamétrico anual de *Copaifera multijuga* Hayne, ocorre de forma linear ascendente até a idade próxima a 100 anos. A partir daí, começa a se estabilizar. A autora observou que a produção de oleorresina decresce e em alguns casos cessa, à medida que a curva de crescimento se aproxima de uma estabilização representada pela assíntota, que indicaria forte redução no ritmo de desenvolvimento da árvore. Contudo, a autora salienta que pode ser precoce dizer que a estabilização da curva represente o período de senescência.

A produção de oleorresina pode variar também em função do solo e de variáveis ambientais. Estudo realizado no Estado do Amazonas, comparando a produção em copaíbas nativas em solos argiloso e arenoso, encontrou que copaíbas estabelecidas em solos mais argilosos são mais produtivas (Alencar 1982). Outro estudo traz evidências de que o relevo pode ser mais associado à produção das copaíbas. Em um trabalho realizado na Mineração Rio do Norte, Porto Trombetas – PA, foi evidenciado que copaíbas estabelecidas em encostas foram mais produtivas do que aquelas estabelecidas no vale da face sul de Monte Branco (Gebara et al. 2016). No entanto, em dois municípios (Xapuri e Tarauacá) no Estado do Acre, copaíbas apresentaram produção de oleorresina independente das variáveis de tipologia florestal ou do relevo (Rigamonte-Azevedo et al. 2006). Assim, fica evidente que não existe um padrão consistente estabelecido das relações da produção de oleorresina de copaíba com variáveis ambientais e que isso pode depender de especificidades e das variações existentes em cada local.

Assim como para o ambiente, também existem resultados divergentes na literatura sobre a variação temporal da produção. A sazonalidade é um fator ambiental que tem sido relacionado com a produção de oleorresina de copaíba, mas com resultados contrastantes. Na Amazônia, existe uma estação chuvosa mais prolongada, no primeiro semestre (inverno amazônico), e outra menos chuvosa, com 3 meses de pouca ou nenhuma precipitação (verão amazônico). Estudos realizados na Amazônia, relatam associações da produção com a

sazonalidade, com maiores médias de volume de oleorresina no período chuvoso (Plowden 2003, Barbosa et al. 2009), mas também já foi evidenciado que durante a estação seca, a produção aumenta (Ferreira & Braz 2001). Outro estudo não encontrou variações significativas entre produções médias nas diferentes estações (Gebara et al. 2016). Isso indica que outros fatores, como o ano em que foi realizado o estudo, a espécie considerada, a idade, se já foi perfurada ou não, podem ser covariáveis importantes. O tempo entre as coletas e o efeito da coleta na mesma árvore, também pode influenciar na produção de oleorresina e varia muito entre espécies (Rigamonte-Azevedo et al. 2006, Newton et al. 2011, Martins et al. 2013).

A oleorresina, quando presente na árvore que nunca foi perfurada, está localizada na região central do tronco, o cerne (Plowden 2003). O cerne é formado após a morte das células parenquimáticas, quando essa porção da madeira deixa de realizar o transporte ativo de seiva bruta no xilema secundário, passando a exercer apenas a função de sustentação e reserva (Magell et al. 1994). Assim, é possível que a produção de oleorresina apresente alguma associação com os parâmetros relacionados à relação cerne/alburno. A percentagem de cerne no lenho varia entre árvores em função do diâmetro, idade e posição da árvore em relação ao dossel. Também pode variar ao longo do tronco, em função da altura (Yang et al. 2020).

Os estudos relacionando a produção de oleorresina de copaíba com a anatomia da madeira e suas consequências para o manejo das espécies são escassos, ao contrário daqueles voltados para caracterização e uso do oleorresina.

Os estudos sobre o manejo das espécies de copaíbas têm avançado lentamente e de maneira discreta (Guarino et al. 2016). Muitas lacunas do conhecimento sobre os fatores que afetam a produção, para cada espécie, precisam ainda ser preenchidas. A falta de respostas às perguntas sobre potencial produtivo de oleorresina e sobre o tempo necessário para que as copaíbas produzam volume igual ou maior do que fora extraído em uma primeira coleta, são exemplos dos desafios que precisam ser superados para o manejo adequado das espécies.

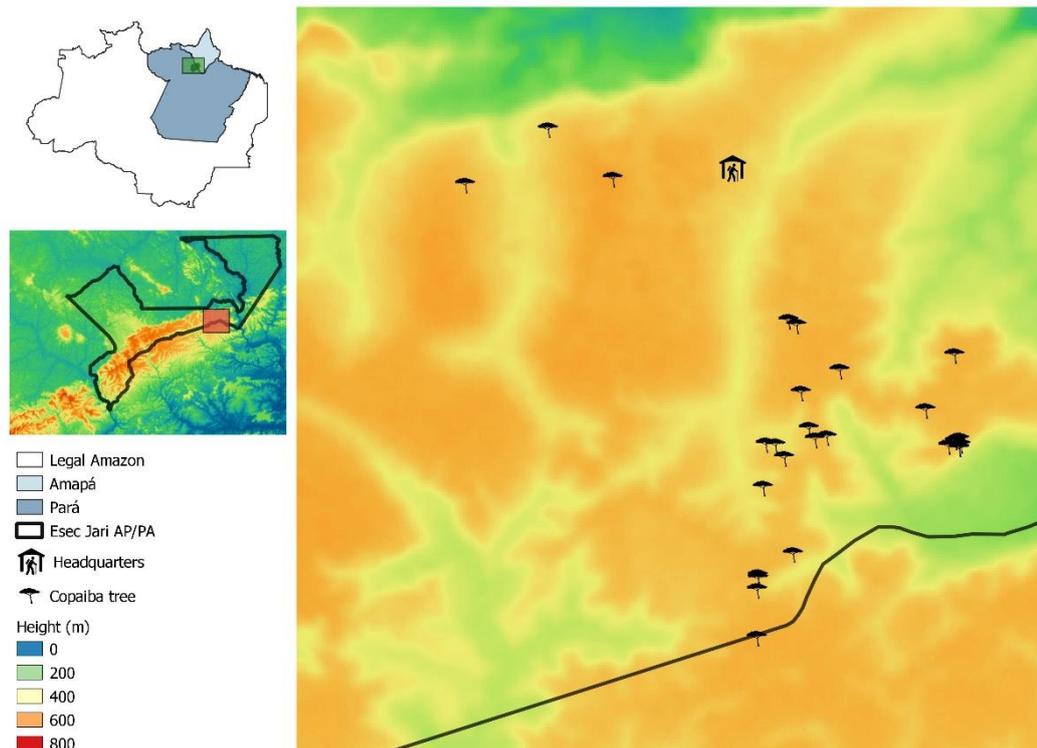
A premissa do manejo de qualquer recurso florestal, seja ele madeireiro ou não madeireiro, é a extração desse recurso a uma taxa menor ou igual à taxa de

reposição do mesmo pela fonte que o originou, definindo o ciclo de corte ou de coleta. No caso da oleorresina de copaíba, esse estoque é explorado de uma só vez a cada ciclo. Assim, o objetivo geral desse trabalho é avaliar atributos das copaíbas e suas relações com a produção de oleorresina em diferentes profundidades e posições de furos realizados nos troncos para coleta, visando gerar subsídios ao manejo de *C. reticulata*. Os objetivos específicos são: 1) caracterizar variações dendrométricas das copaíbas, construir a curva de crescimento da espécie; 2) quantificar a produção na primeira extração e verificar as relações com a posição e profundidade do furo, e com atributos das copaíbas como a proporção cerne/alburno e idade e 3) avaliar se copaíbas não produtivas na primeira coleta podem se tornar produtivas na recoleta, após 10 meses da primeira extração.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **LOCAL DO ESTUDO**

O estudo foi realizado na Estação Ecológica do Jari – ESEC Jari, localizada entre os Estados do Amapá e Pará, nos municípios de Laranjal do Jari - Amapá e Almeirim – Pará, Brasil (figura 1). A sede da ESEC Jari, gerenciada pelo Instituto Chico Mendes da Biodiversidade – ICMBio, fica situada nas coordenadas 0°27'24.18" S; 52°49'37.74" W. As copaíbas monitoradas nesse estudo estão próximas à sede da ESEC, situadas na serra de Maracanaquara, onde existe a formação de uma grande escarpa, conhecida como “Paredão de Pedra”, que marca o limite norte da bacia sedimentar amazônica. Essa formação tem mais de 70 km de extensão e atinge altitudes acima de 500 m na crista do paredão. Nas laterais do platô, a altitude vai decaindo, formando encostas com relevo ondulado ou em forma de cristas, vales e platôs intermontados (Coutinho e Pires, 1996). Os locais dos grupos de ocorrência das copaíbas foram nomeados de acordo como são conhecidos pelos guardas parques da reserva. Os locais são: Maranhense (áreas próximas ao ramal do maranhense); Estrada (faixas ao longo da estrada principal de acesso à ESEC Jari); Portão (locais próximos à entrada principal da reserva); e Cachoeira (locais próximos da estrada da cachoeira Véu de noiva).



**Figura 1** Localização da ESEC Jari na fronteira entre os estados do Amapá e Pará, Amazônia oriental. Os ícones pretos de árvores representam cada copaíba localizada na região.

Nas encostas dos dois lados do platô, observa-se a formação de solos frequentemente argilosos, ocorrendo também texturas menos argilosas, intermeados de matacões e pequenas concreções ferruginosas. Esses solos pertencem às ordens dos Argissolos e Latossolos, principalmente, de Latossolos Amarelos e Argissolos Vermelho Amarelos. Em menor quantidade, podem ocorrer também Plintossolos e Cambissolos (Coutinho e Pires, 1996). A cobertura florestal nessa região é a Floresta Ombrófila densa submontana, com altitudes variando de 100-600 m, e montana, com variações de 600-2000 m, apresentando regiões planas e regiões acidentadas com encostas. O clima é do tipo Am, caracterizado por temperaturas e umidades altas com monções. A precipitação média acumulada no ano gira em torno de 2,200 mm. Os meses de setembro e outubro são os mais secos, com precipitação abaixo de 50 mm, e o mês de maio é o mais úmido, com precipitação média de 325 mm nesse mês (Date 2020).

## LOCALIZAÇÃO E INVENTÁRIO DAS COPAÍBAS - *Copaifera reticulata*

A localização das copaíbas ocorreu no final de 2017 e início de 2018, utilizando como critério para inclusão todas as copaíbas com diâmetro à altura do peito – DAP maior do que 30 cm. Para cada indivíduo, foram registradas informações do ambiente que se encontrava, por exemplo; se o terreno era plano ou acidentado, se estava na encosta ou no platô.

Cada árvore recebeu um código alfa numérico e teve suas coordenadas geográficas registradas com um receptor de sinal GPS. Foram medidos o diâmetro à altura do peito – DAP (1,3 m do solo), com uma fita métrica, e a altura comercial – Hc, com uma trena a laser. Não foi possível medir a altura total, porque a maioria das copaíbas têm copa dominante, acima do dossel da floresta.

Normalmente, a forma da copa da copaíba é elíptica, com galhos grossos que bifurcam dicotomicamente. Por isso, a área da copa foi mensurada, com uma trena de fita, considerando quatro raios: R1 - o maior, a distância da base até o limite da borda da copa; R2 - o raio oposto ao R1; R3 e R4 - menores raios, um oposto ao outro. A área da copa foi calculada usando a área da elipse.

A coleta de material vegetal fértil ocorreu em sete copaíbas, no início de dezembro de 2019, quando os ramos apresentavam botões florais. O material foi herborizado e enviados em duplicata para o herbário do Amapá – HAMAB, para identificação da espécie. Coletores: Silva-Junior, J. N. N.; Viana, M. J. de Jesus; e Fernandes, C. números das coletas: 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19.

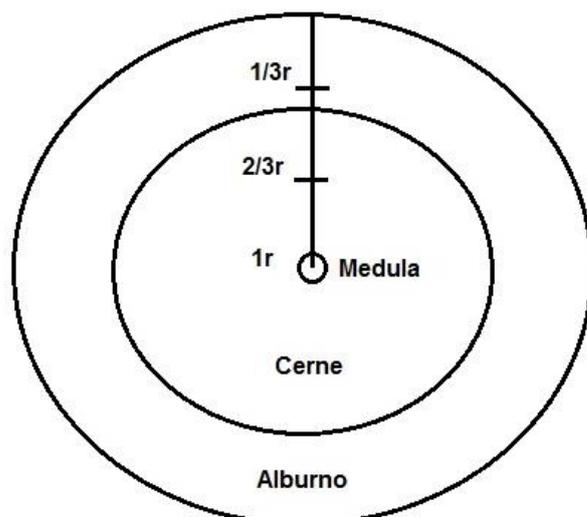
## COLETA DE OLEORRESINA E DE AMOSTRA DE MADEIRA DOS TRONCOS

Das 28 copaíbas inventariadas, apenas 26 foram perfuradas, por problema mecânico no trado que inviabilizou a perfuração nas duas últimas árvores. Foi usado um trado de incremento de  $\frac{3}{4}$  de polegada, acoplado em uma BT 45 Sthill, com motor movido a gasolina e rotação reversa. Esse trado, ao perfurar o tronco, extrai ao mesmo tempo, a oleorresina e a amostra da madeira em forma de bagueta.

Todas as copaíbas do estudo não apresentavam sinais visíveis de coleta de oleorresina, menos a C11. Nessa copaíba, foi observada marca de um antigo furo, que, segundo informação dos guarda-parque da reserva, foi realizado há pelo menos 10 anos.

As copaíbas foram perfuradas sempre no período de baixa precipitação (dezembro de 2017 e outubro de 2018), na altura entre 1.00 e 1.50 m em relação ao solo. Cada furo foi feito com ângulo de inclinação do trado maior que 15 graus, para facilitar o manuseio do equipamento e o escoamento da oleorresina. Foram realizadas duas perfurações em cada árvore, para verificar o efeito da posição do furo e se um segundo furo poderia liberar a produção naquelas árvores em que não ocorreu o escoamento da oleorresina pelo primeiro furo. O primeiro furo foi feito a uma altura de 1,0 a 1,5 m, sempre do lado do tronco em que estava o galho mais grosso da copa (Guarino et al. 2016), procedimento realizado pela maioria dos extrativistas. O segundo furo foi realizado do lado oposto ao primeiro furo, com uma diferença de 10 cm acima da linha do primeiro, para evitar que os furos se encontrassem no centro do lenho. Quando não escorria oleorresina no primeiro furo, a segunda perfuração era realizada imediatamente, para verificar se a liberação da pressão poderia ocasionar escoamento e se a posição do furo tem relação com a presença de oleorresina no interior do tronco. Quando escorria oleorresina pelo primeiro furo, o segundo só era feito no dia seguinte, para não interferir no escoamento do furo anterior.

Para realizar as perfurações de forma a controlar a profundidade do furo, foram feitas duas marcações no trado, levando-se em conta o DAP da árvore perfurada. As marcações foram definidas pelo raio, que foi dividido em três partes, para que o furo fosse feito por etapas. Primeiro, se perfurava até  $1/3$  do raio, depois até  $2/3$ , e por último até o comprimento total do raio, que iria coincidir com a medula da árvore, se não estivesse deslocada, conforme esquema da figura 2. Assim, foi possível observar em qual profundidade do furo a oleorresina começava a escorrer.



**Figura 2** Diagrama ilustrativo de uma secção transversal do tronco de uma copaíba, com as divisões da profundidade do furo em função do tamanho do raio (r)

A oleorresina foi coletada em provetas plásticas de 2,500 mL até que iniciasse o gotejamento. Ao início do gotejamento outro recipiente, envolto em papel alumínio para proteger contra a luz e coberto para proteger de chuva e orvalho, era preso à árvore. O recipiente permanecia preso à árvore por 24 horas, ou até cessar o gotejamento, de acordo com o Manual de Métodos Kamukaia (Embrapa 2017). O volume de oleorresina escorrido foi anotado em dois momentos: no final do escorrimento e no final do gotejamento. Se houvesse coleta de oleorresina em algum dos momentos, de qualquer um dos furos, a copaíba era considerada produtiva, do contrário, improdutiva.

A primeira coleta ocorreu em dezembro de 2017, nas primeiras copaíbas encontradas (n = 16). Ao final da coleta, os furos foram obstruídos com cavilha de madeira. Em outubro de 2018, 10 meses após a primeira coleta, as cavilhas de madeira foram substituídas por um pedaço (15 cm) de cano de PVC isolado com uma curva fechada com um cap na extremidade, para facilitar a recoleta, que foi realizada no momento da substituição.

Em 2018 foram perfuradas mais 10 copaíbas. Nessas árvores do segundo grupo de perfuração, os primeiros furos foram fechados com tubos e conexões de PVC, e os furos opostos com espuma expansiva, à base de polietileno inerte. Isso ocorreu, porque o uso da cavilha de madeira, não evitava o escorrimento de oleorresina. No total foram perfuradas 26 árvores entre os anos de 2017 e 2018, com recoleta em 16 árvores.

As amostras de madeira coletadas foram acondicionadas em recipientes de PVC de 1/2" e comprimento variável de acordo com o comprimento da bagueta. No final de cada dia de atividade de campo, as baguetas eram colocadas em local seco e arejado para evitar proliferação de fungos, que poderiam deteriorar as amostras. A secagem seguiu por alguns dias em temperatura ambiente em local seco no laboratório de dendrologia da Empresa de Pesquisa Agropecuária (Embrapa – AP).

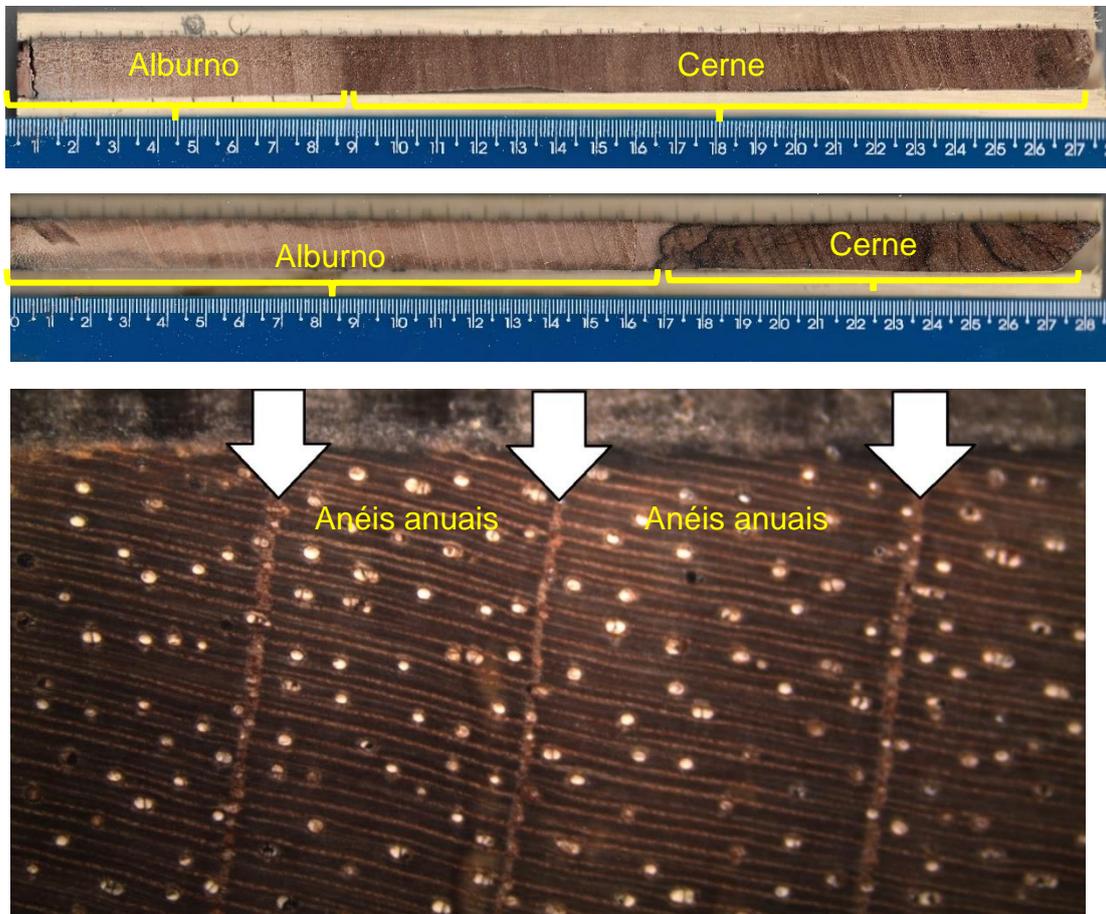
## DETERMINAÇÃO DO CRESCIMENTO DIAMÉTRICO, DA IDADE DAS ÁRVORES E DA RELAÇÃO CERNE/ALBURNO

Após a secagem, as baguetas foram coladas, com goma arábica branca, em suporte de madeira, observando-se orientação vertical das fibras em relação ao suporte. Isso é importante para permitir a observação da vista em plano transversal da madeira, visualizando os anéis anuais de crescimento. Após a fixação no suporte, cada amostra de madeira foi lixada utilizando-se lixadeira orbital com uma sequência crescente de granulação (80, 120, 240, 420 e 600), até que apresentassem brilho característico de superfície sem imperfeições, e os anéis estivessem bem visíveis.

As amostras foram escaneadas, com resolução máxima (1200 dpi) e as imagens foram carregadas no Software ImageJ Pro Plus versão 4.5.0.19, para contagem e mensuração dos comprimentos dos anéis de crescimento, no sentido casca-medula. O primeiro anel corresponde ao ano em que a amostra foi coletada. Os dados foram organizados em ordem crescente com referência aos anos e salvos em formato .txt para ser analisados no software Cofecha. A qualidade da datação cruzada foi avaliada, considerando os valores obtidos a partir das correlações entre as séries cronológicas de anéis de crescimento e a maior série cronológica pelo Cofecha (Holmes 1983).

Após a sincronização dos dados, foi calculado, para cada amostra, o incremento radial cumulativo médio (CRI), somando-se a largura de cada anel ao anel que o antecede (Brienen and Zuidema 2006, 2007, Schöngart 2008). Assim, foram construídas as curvas de crescimento do diâmetro de cada árvore ao longo do tempo. A partir das curvas individuais foi construída a curva cumulativa média de crescimento do diâmetro, em função da idade da copaíba.

Nas amostras do primeiro furo, foi medida a relação cerne/alburno. O cerne foi mensurado a partir da medula, até a região de tonalidade mais clara, considerada o alburno. O alburno foi mensurado de onde terminava o cerne até o final da amostra, próximo à casca (figura 3).



**Figura 3** Imagens das amostras de madeira de copaíba, coletadas em uma Floresta Ombrófila densa, Almeirim – PA, mostrando a marcação entre o cerne e o alburno e a região do limite de crescimento de cada anel indicada pelas setas.

## ANÁLISES DOS DADOS

Os dados foram tabulados na planilha eletrônica do Microsoft Excel 2013 e exportada para o software Rstudio (R Team Core 2016), pelo qual foram realizadas as análises e representações gráficas. A associação da produção de oleorresina com as variáveis preditoras quantitativas, foi avaliada por meio da correlação de Spearman.

O diâmetro à altura do peito foi obtido a partir da transformação da medida da circunferência à altura do peito, pela seguinte fórmula matemática.

$$DBH = CAP / \pi$$

Em que:  $DBH$  = diâmetro à altura do peito;  $CAP$  = circunferência à altura do peito; e  $\pi = 3.141597$ .

A área da copa foi calculada a partir das medidas dos raios de projeção da copa.

$$A_{cop} = \pi ab$$

Em que:  $A_{cop}$  = área da copa,  $a$  = corresponde à metade do diâmetro maior;  $b$  = corresponde à metade do diâmetro menor e  $\pi = 3,141597$ .

As curvas de crescimento foram definidas a partir do Incremento Radial Anual – IRA, obtido a partir da medida das larguras dos anéis anuais de crescimento. O Incremento diamétrico anual – IDA, foi obtido a partir do incremento radial.

$$IRA = \sum_{i=0}^{n=1} Lr$$

$$IDA = IRA * 2$$

Em que: IRA = incremento radial anual; Lr = largura do anel; IDA = incremento diamétrico anual.

Os dados das larguras dos anéis anuais de crescimento, que geraram as curvas de incremento anual, foram ajustadas pelo modelo sigmoideal de regressão para avaliar a relação diâmetro-idade (Schöngart et al. 2007, Miranda et al. 2017). Esse é o modelo que foi utilizado para avaliar as diferentes fases de desenvolvimento a estabelecer as idades das árvores a partir da curva de crescimento diamétrico.

$$DBH = (a / (1 + \left(\frac{b}{age}\right)^c))$$

Em que: DBH = diâmetro do tronco a 1.30 m; age = idade estimada da árvore; a, b, e c são os parâmetros da regressão.

A relação cerne/alburno foi calculada de acordo com base nas áreas do círculo e da coroa circunscrita em uma circunferência, em que a área aproximada do cerne corresponde à área da circunferência interna e o alburno à área externa ou coroa circunscrita, adaptada para medições lineares realizadas diretamente nas amostras. Como o comprimento da amostra.

$$Cer_A = \pi * r^2 \quad (1)$$

$$Alb_A = \pi * R^2 - r^2 \quad (2)$$

$$Cer_A / Alb_A = (1) / (2)$$

Em que:

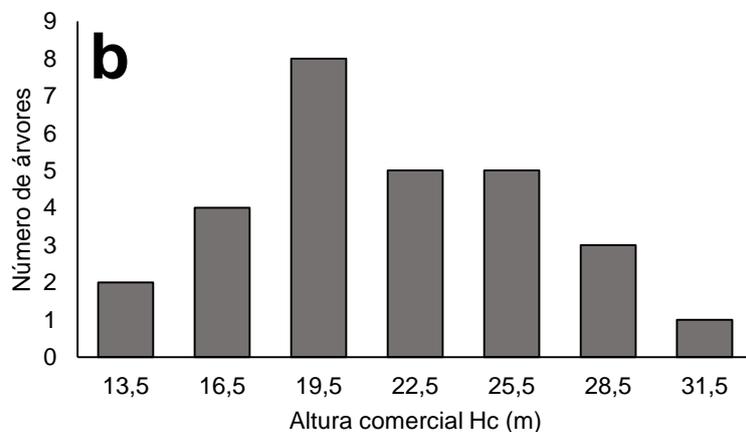
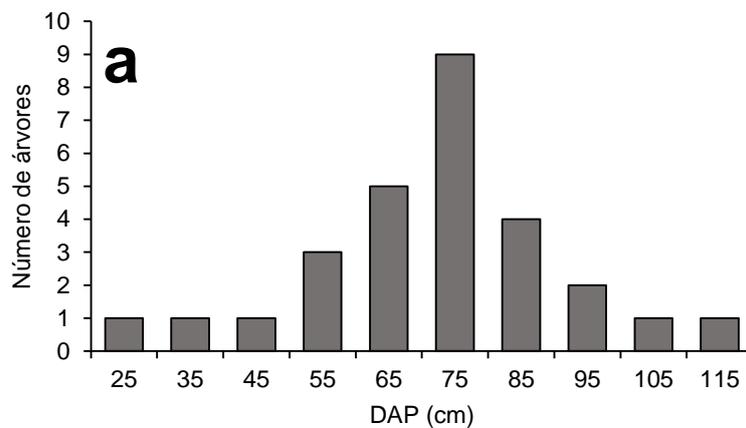
$Cer_A$  = área do cerne na secção transversal à altura do peito;  $Alb_A$  = área do alburno na secção transversal à altura do peito; e  $Cer_A / Alb_A$  = relação cerne/alburno.

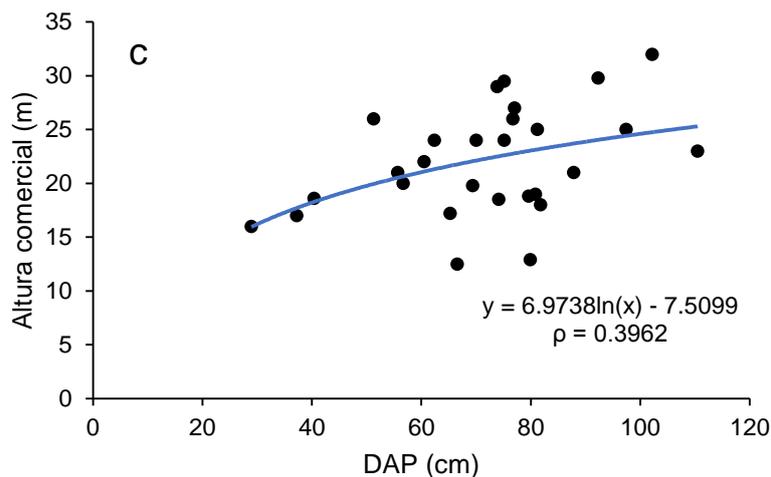
## RESULTADOS

Foram inventariadas 16 copaíbas em dezembro de 2017 e 12 outras árvores de copaíba em outubro de 2018, totalizando 28 copaíbas. A

distribuição diamétrica das copaíbas avaliadas neste estudo ficou dividida em 10 classes de diâmetros, com amplitude de 10 cm em cada classe, variando entre 20 cm a 120 cm de diâmetro (Figura 4a).

A distribuição das alturas comerciais ficou dividida em 7 classes com amplitude de 3 metros. A concentração da distribuição ficou entre as classes intermediárias, com apenas duas copaíbas na menor classe, com altura comercial menor do que 15 m (figura 4b) e uma na última classe, com altura comercial acima de 30 metros. A correlação de Spearman entre o DAP e a Hc foi  $\rho = 0.40$  (figura 4c).

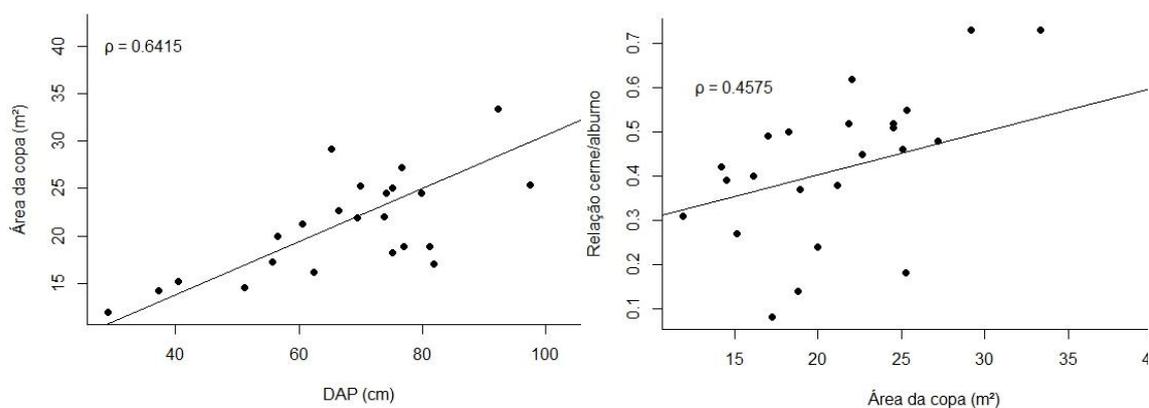


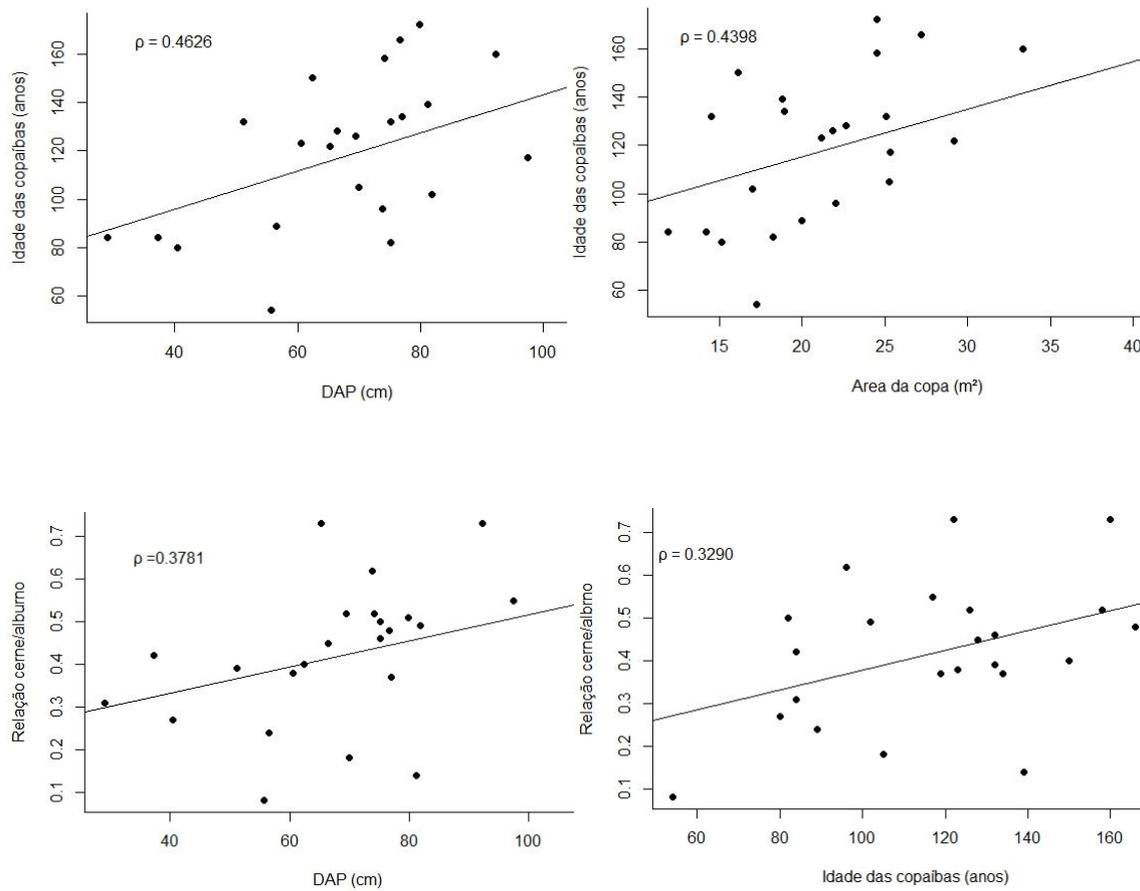


**Figura 4 a** – Distribuição das classes diamétricas (DAP); b – distribuição da altura comercial (Hc); c- relação entre DAP x Hc de árvores (n=28) de *Copaifera reticulata*, na Esec Jari, Almeirim – PA, Amazônia Oriental

Das 28 árvores inventariadas, 26 foram perfuradas e dessas, três estavam ocadas, sendo que daquela com maior oco não teve como estimar sua idade, não sendo possível utilizá-la nas análises das relações. Também não foi possível utilizar a C11, que já havia sido perfurada antes desse estudo, e duas outras que morreram entre 2017 e 2019. Assim, essas análises das correlações entre atributos das copaíbas foram realizadas com 24 copaíbas “virgens” e intactas.

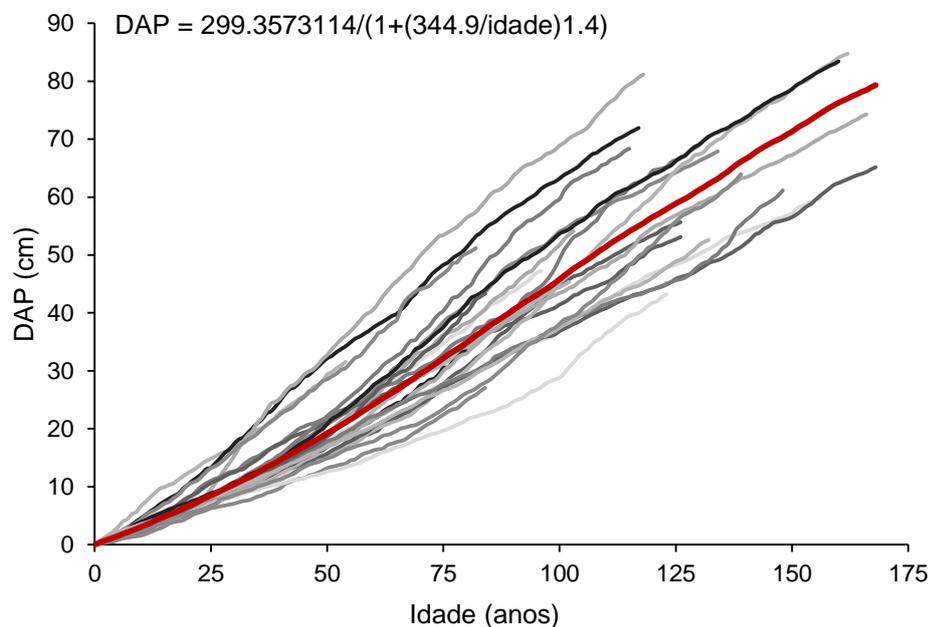
A variável, dentre os atributos das copaíbas, que apresentou maior número de correlações significativas foi a área da copa, que se correlacionou bem com o DAP, Idade e relação cerne/alburno. A Idade apresentou boa correlação com o DAP e com a relação cerne/alburno (Figura 5).





**Figura 5** Principais correlações (n=24) entre as variáveis dendrométricas de *Copaifera reticulata*, na ESEC Jari, Almeirim – PA, Amazônia Oriental

O incremento médio anual em diâmetro foi de  $0.45 \pm 0.003$  cm ano<sup>-1</sup>. A copaíba mais jovem tem idade estimada de 54 anos e a mais velha, de 168 anos (figura 6).



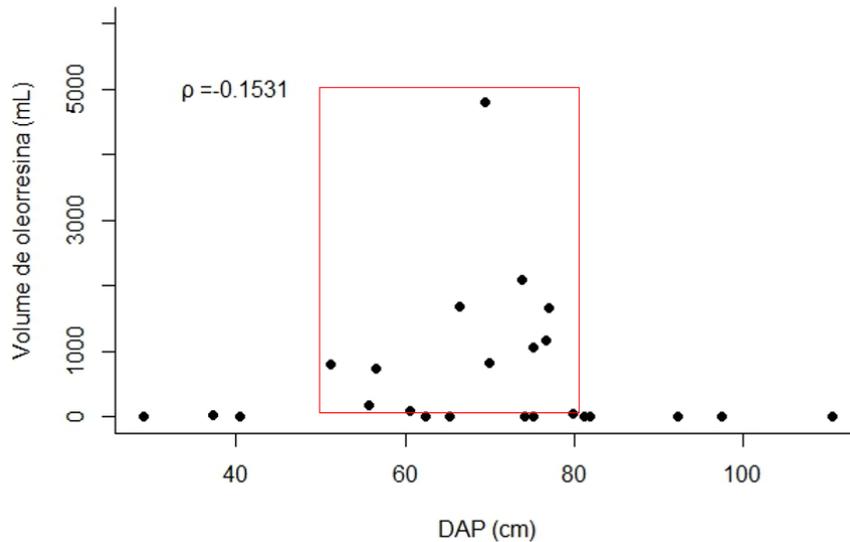
**Figura 6** Curvas de crescimento diamétrico de *Copaifera reticulata*. ESEC Jari, Almeirim – PA, Amazônia oriental. A linha vermelha representa a curva média ajustada pelo modelo usado por Schöngart (2007)

A média geral da produção de oleorresina por copaíba na primeira extração, em árvores ainda virgens, foi de 603.60 mL ind<sup>-1</sup>. Quando se considerou apenas as árvores produtivas, a média foi de 1257.50 mL ind<sup>-1</sup>. A tabela 1 mostra os números detalhados e os valores da produção das copaíbas na primeira extração, durante os anos de 2017 e 2018, assim como as produções em função da posição e da profundidade dos furos.

**Tabela 1** Valores médios (Vm) e do erro padrão (Se) da produção de oleorresina por copaíbas (*Copaifera reticulata*), considerando todas as árvores e apenas as produtivas, na ESEC Jari - Amazônia oriental. Também é apresentada a quantidade de árvores produtivas em função de posições do furo (1° - do lado do galho mais grosso, e 2° - do lado oposto do tronco) e de suas diferentes profundidades (1/3R, 2/3R e 1R, R=raio). Prod = produtiva e Improd = improdutiva

N° ind	Anos	Número de copaíbas				Todas Vm ± Se (mL)	Somente produtivas Vm ± Se (mL)
		Total	Prod/Improd	Posição do furo			
				1°	2°		
25	2017	15	7/8	7	0	603.60 ± 208.88	1257.50 ± 358.37
	2018	10	5/5	5	0		
Profundidade do furo							
					Volume (mL)	Média ± Se	
		1/3R	2/3R	1R			
Produtivas em cada ano		2017	0	4	3	3090	618 ± 217.91
		2018	0	1	4	12330	1482 ± 560.17
		Volume (mL)	0	5880	9540	15420	

O volume de oleorresina na primeira extração não foi significativamente associado, pela correlação de Spearman, com nenhum dos atributos avaliados das próprias copaíbas. No entanto, houve tendência de associação ( $r=0,1531$ ) não linear, com os maiores valores de produção próximos à média diamétrica. As copaíbas com diâmetro intermediário foram as mais produtivas (Figura 8).



**Figura 8** Correlação entre volume e DAP (retângulo marca as árvores de *Copaífera reticulata* com produção acima de 500 mL) na Floresta ombrófila da ESEC Jari, Almeirim – PA, Amazônia Oriental

O volume mínimo de produção (30 mL) foi observado na copaíba com o menor diâmetro (37.2 cm), enquanto que o volume máximo (4800 mL) foi observado no indivíduo com diâmetro de 69.4 cm. O maior diâmetro de copaíba produtiva foi de 77 cm. Com relação à idade das copaibeiras produtivas, a mais jovem teve sua idade estimada em 82 anos, enquanto que na mais antiga a idade foi estimada em 172 anos

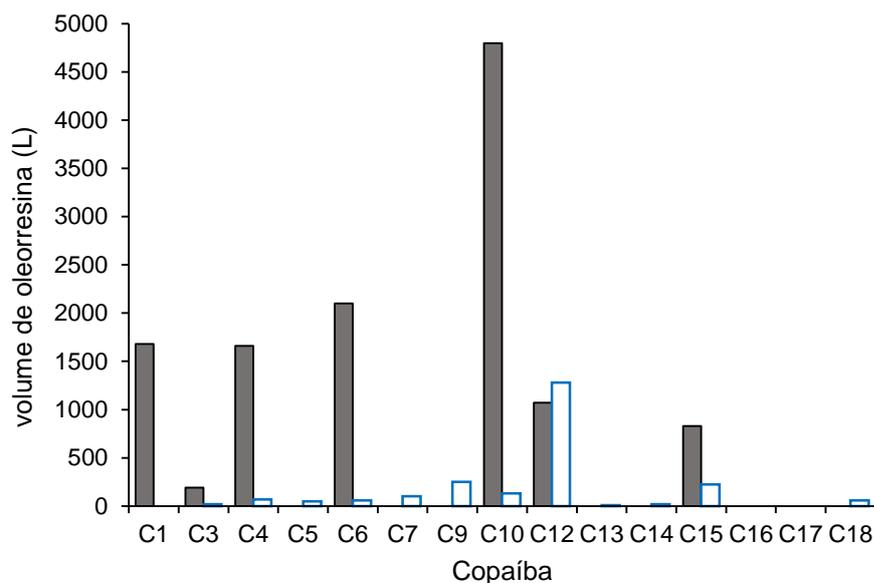
Na primeira coleta, o segundo furo não influenciou no escoamento da oleorresina. Nas copaíbas em que não houve escoamento da oleorresina após o primeiro furo, também não escoou após o segundo furo do lado oposto do tronco.

Ao furar até 1/3 do raio do tronco, não escoou oleorresina de nenhuma árvore. Quando o furo alcançou 2/3 do raio do tronco, apenas três árvores iniciaram o escoamento, com maior ou menor pressão de descida de oleorresina. As demais árvores produtivas só iniciaram o escoamento da oleorresina, quando o furo alcançou a região que compreende os 2/3 do raio e a medula, com 100% de certeza de que o cerne foi atingido. A maior parte das copaíbas (n=15) apresentou distância linear do alburno, menor que 1/3 do raio. Foi registrado em campo que algumas copaíbas só começaram a produzir quando o trado chegou bem próximo da medula.

Apesar de não haver relação significativa do volume de oleorresina com a relação cerne/alburno, houve efeito da profundidade do furo. Além disso, a relação cerne/alburno pode ser mascarada em árvores ocas, que também foram importantes na porcentagem de copaíbas improdutivas. Foram encontradas três copaíbas (C14, C16 e C30) com oco interno, com perda de madeira no cerne próximo à medula, que não apresentaram produção na primeira coleta. Isso foi registrado em campo e percebido na diferença entre o tamanho da amostra de madeira e do raio calculado. A C16 apresentou maior perda de cerne pela deterioração, com 39 cm de raio e 20 cm de amostra apenas. As outras (C14 e C30), apresentaram pequenas perdas próximo à medula. As três árvores com oco representaram 23.07% das copaíbas improdutivas ( $n = 13$ ) na primeira coleta. A C14 apresentou discreta produção de oleorresina (20 mL), mas apenas na recoleta.

Em outubro de 2018, 10 meses depois das 15 copaíbas serem furadas, todas foram revisitadas para verificar se houve produção de oleorresina nesse período. Uma das árvores produtivas na primeira coleta deixou de produzir, mas o número de copaíbas produtivas aumentou de sete para 12. Em seis copaíbas que não apresentaram escoamento da oleorresina na primeira coleta, houve produção na recoleta. Uma dessas foi a copaíba mais velha encontrada, que está na última classe de diâmetros.

Após 10 meses, a média do volume de oleorresina foi de 151.66 mL ind<sup>-1</sup>. Considerando apenas as árvores produtivas, a média foi de 189.58 mL ind<sup>-1</sup>. Na recoleta, o volume mínimo foi de 10 mL e o máximo foi de 1280 mL. A comparação entre as produções em cada ano é apresentada na figura 9.



**Figure 9** Produção de oleorresina por copaíba (n=15), durante a primeira extração (barra cinza - 12/2017) e 10 meses depois (barra branca 10/2018)

A porcentagem de árvores produtivas aumentou na segunda extração, atingindo 12 copaíbas com produção (80%), das 15 que foram furadas em 12/2017. Apenas sete copaíbas (47%) apresentaram produção de oleorresina na primeira extração. Todas as copaíbas produtivas na segunda extração, apresentaram oleorresina no primeiro e segundo furo. As cinco copaíbas que não produziram oleorresina na primeira extração, mas se tornaram produtivas na recoleta, apresentam diâmetros maiores que 75 cm. Nessa segunda extração, após destampar os furos, a copaíba com maior diâmetro (110.5 cm) produziu 100 mL de oleorresina. No entanto, observou-se evidências do escorrimento da oleorresina nos troncos e nas cavilhas e a produção dessas árvores pode ter sido maior.

A copaíba C11, que apresentou uma produção muito elevada, diferentemente das demais, já havia sido furada há mais de 10 anos. Na coleta de dezembro de 2017, essa árvore produziu 19000 mL e na segunda 1150 mL (dados não apresentados, pois a análise da produção e suas relações foi realizada apenas em copaibeiras furadas pela primeira vez).

## DISCUSSÃO

### DENDROMETRIA, RELAÇÃO CERNE/ALBURNO, IDADE E AGRUPAMENTO DAS COPAÍBAS

A curva de crescimento diamétrico da população se ajustou ao modelo teórico esperado, evidenciando taxas decrescentes de incremento para as copaíbas mais velhas, e a possível senescência dessas árvores próximo aos 150 anos. A *C. multijuga* apresenta crescimento muito semelhante, porém a senescência pode ser percebida pela estabilização da curva de crescimento em torno dos 100 anos (Medeiros et al. 2018).

No manejo florestal, a idade da árvore, relacionada à curva de crescimento, é uma variável importante, pois permite avaliar o incremento diamétrico, basal, em altura e volume (Imaña-Encias et al. 2005). Os resultados desse trabalho mostram que há diferenças no crescimento dos indivíduos ao longo de sua história de vida, indicando que árvores com o mesmo diâmetro podem ter idades muito distintas. Em povoamentos inequeâneos algumas árvores crescem mais que outras, mesmo pertencendo à mesma espécie, por motivos intrínsecos da própria árvore ou mesmo por influência do ambiente. Isso pode refletir também na proporção de cerne no tronco.

O que foi observado neste estudo é que não há um padrão estabelecido na proporção de cerne em relação ao alburno, ao longo da história de vida das copaíbas. Existe correlação positiva, porém fraca. Costuma-se pensar que árvores com os maiores diâmetros possuem maior porcentagem de cerne em relação ao alburno, no entanto esse estudo mostrou que a área do cerne varia muito em relação ao diâmetro à altura do peito. Essa relação pode estar mais ligada aos fatores ambientais ou genéticos do que com a idade ou com o diâmetro em si.

### FATORES RELACIONADOS COM A PRODUÇÃO DE OLEORESINA NA PRIMEIRA COLETA

Na primeira coleta realizada em copaíbas que não apresentavam sinais visíveis de coletas anteriores, foi observada elevada variação no volume de oleorresina produzido por árvore, tanto quando são consideradas todas as árvores (média = 603.60 mL ind<sup>-1</sup>), ou apenas as produtivas (1257.50 mL ind<sup>-1</sup>). Verificou-se grande amplitude e elevada variação em torno da média. Pelos resultados encontrados, em torno da metade das copaíbas não são produtivas na primeira extração, e poucas árvores produzem maiores volumes. A maioria produz abaixo da média, em quantidades inferiores a 1 L ind<sup>-1</sup>. Esse parece ser um padrão para as diferentes espécies de *Copaifera*, que também é corroborado por outros estudos. Em trabalho que avaliou as diferenças na produção entre épocas do ano, na estação chuvosa foi encontrada média de produção de oleorresina de 508 mL árvore<sup>-1</sup> e percentual de 43% de copaíbas improdutivas, e na estação mais seca a média foi de 807 mL árvore<sup>-1</sup> com 42% de árvores improdutivas (Gebara et al. 2016). Em outro estudo com quatro espécies de copaíbas, apenas *C. publiflora* apresentou média de produção acima de 1000 mL árvore<sup>-1</sup> e apenas *C. reticulata* apresentou porcentagem acima de 50% de copaíbas produtivas na primeira extração (Martins et al. (2013). Isso dificulta o manejo e a viabilização econômica da atividade, pois a baixa produção é associada com elevado custo de coleta, pelo fato das copaíbas apresentarem baixa abundância e se encontrarem distantes uma das outras.

As copaíbas produtivas só iniciaram o escoamento da oleorresina quando o trado ultrapassou o albarno e atingiu o cerne ou foi inserido até a medula. Resultados semelhantes foram encontrados por Plowden (2003), que observou que o escoamento da oleorresina ocorreu, em média, a partir de 21 cm de introdução do trado, sendo o espaço médio entre a casca e a borda do cerne de 14 cm. O autor observou também que em árvores com diâmetros entre 25 e 35 cm, cujo cerne correspondia a 5% do raio, não houve escoamento de oleorresina. Em árvores com diâmetros acima de 75 cm, essa relação foi superior a 40%. Isso também foi observado por Alencar (1982), que relatou que as copaíbas com os menores diâmetros e baixa proporção de cerne foram improdutivas. Resultados encontrados para *C. multijuga* (Medeiros et al. 2018), também são semelhantes aos encontrados no presente estudo. Isso consolida a teoria de que oleorresina de copaíba é produzido pelo tecido parenquimático, sendo transportado no plano radial em direção à medula pelas células radiais e

elementos de vasos (Medeiros et al. 2020). A produção seria armazenada no cerne, sendo deslocada quando a árvore é perfurada. Assim, em copaíbas com menores diâmetros, nas quais o cerne pode estar em formação, não haveria produção.

Estudos mostram que as copaíbas ocas não produzem oleorresina (Plowden 2003, Martins et al. 2013). Por outro lado, nossos resultados mostram que pelo menos uma copaíba oca (C14), que não está na maior classe de diâmetro, apresentou oleorresina após ter sido considerada improdutiva na primeira coleta. Portanto, as copaíbas ocas não são improdutivas do ponto de vista fisiológico. Por apresentarem parte do tronco e do cerne comprometida, pode-se supor que elas não conseguem armazenar a produção de oleorresina que infiltra para o interior da região oca. Isso pode estar relacionado à idade e ao diâmetro da árvore, e ajudaria a explicar o fato de que as árvores de maior diâmetro não se apresentam como as mais produtivas (Alencar 1982, Plowden 2003, Martins et al. 2013). As árvores dentro das maiores classes diamétricas são mais propensas em apresentar regiões ocas próximas à medula. Esse é um fator importante na tomada de decisões para o manejo da espécie, porque esses indivíduos podem ser importantes, do ponto de vista ecológico, servindo de porta-sementes.

Analisando a correlação entre a idade da copaíba com a produção de oleorresina, observou-se que essa variável pouco explica o volume de oleorresina produzido. A correlação baixa entre essas duas variáveis, também foi reportada por Medeiros et al. (2018). O diâmetro das copaíbas foi a variável que apresentou melhor correlação com a produção de oleorresina na primeira extração. As copaíbas com produção de oleorresina maior que 500 mL, que, provavelmente, justifiquem os custos e esforços na extração, estão nas classes diamétricas intermediárias, entre 50 cm e 80 cm. Esses resultados estão de acordo com outros estudos relacionados ao gênero *Copaifera* (Plowden 2003, Klauberg et al. 2014, Medeiros et al. 2018). Os resultados de Medeiros et al., 2018, em estudo com *C. multijuga* na Reserva Ducke, evidenciaram maior correlação da produção com o DAP na primeira extração, do que na recoleta. Outro estudo com população nativa de *C. multijuga* encontrou correlação positiva, porém não significativa, entre o DAP e a produção de oleorresina (Alencar, 1982).

## COLETAS SUCESSIVAS PARA PRODUÇÃO DE OLEORRESINA DE *C. reticulata*

O volume da segunda coleta de oleorresina pode estar subestimado devido a problemas com a vedação do furo, na medida em que utilizou-se cavilhas de madeira nas primeiras perfurações, como é tradicionalmente realizada a vedação dos furos por extrativistas. As cavilhas permitiram escorrimento de oleorresina pelas fissuras no tronco causadas por pequenas rachaduras após as mesmas serem introduzidas nos furos, ou pelas conexões dos elementos de vasos da própria cavilha. Portanto, as comparações quantitativas entre a primeira e segunda coleta serão feitas com ressalvas, analisando, principalmente, as diferenças no número de copaíbas produtivas na primeira extração e na recoleta. Essa variável não sofre influência de uma possível perda de oleorresina, que não tenha sido contabilizada na segunda coleta.

A porcentagem de árvores produtivas aumentou na segunda coleta, devido ao fato de que algumas copaíbas, antes improdutivas, apresentaram produção de resina na segunda extração. Isso corrobora Plowden (2003), que levanta a hipótese de que as árvores são estimuladas a produzir resina em resposta à injúria causada pela perfuração do tronco, uma vez que a oleorresina é um metabólito secundário de proteção. O mesmo também foi observado na espécie *Copaifera pubiflora*, tendo sido observado um aumento significativo (de duas para oito) árvores produtivas na segunda extração, após 12 meses de pousio, contribuindo significativamente com o volume de oleorresina obtido na última extração (Martins et al. 2013).

No caso do aumento da porcentagem de árvores produtivas, isso pode ser explicado pelo estímulo à produção, por causa do dano provocado pelo furo. Isso também pode incentivar o aumento da produção de resina nas recoletas, em relação à primeira extração quando as mesmas árvores foram furadas, pois cria uma diferença de pressão entre os canais resiníferos após o escorrimento de toda a oleorresina do tronco, e pelo fato dos elementos de vasos no cerne terem sido esvaziados na primeira extração. São para esses canais e elementos de vasos vazios, próximos da medula, que a oleorresina sintetizada pelas células parenquimáticas são transportadas para ser armazenadas (Medeiros et al.

2020). No mesmo estudo, os autores evidenciam que a oleorresina também é transportada no plano tangencial por meio das células do raio e células de parênquima paratraqueal.

De maneira geral, o volume de oleorresina coletada decresceu na segunda coleta, após 10 meses. Esse decréscimo mostra que o tempo entre coletas sucessivas foi insuficiente para que as árvores produzissem o mesmo volume retirado na primeira extração. Pesquisas relacionadas ao intervalo entre coletas sucessivas avaliaram um tempo mínimo de 12 meses, tendo sido observada diminuição do volume produzido, com poucos indivíduos capazes de exceder a primeira produção (Alencar 1982, Plowden 2003, Barbosa et al. 2009, Medeiros et al. 2018). Medeiros et al. (2018), relatam observações em duas populações de *C. multijuga*, em que na primeira, após quatro coletas em anos consecutivos (1977, 1978, 1979 e 1980) e pousio de 32 anos, a produção quase dobrou em relação a primeira coleta. Na segunda população, com duas extrações em anos (2004 e 2005) consecutivos e sete anos de pousio, o volume de oleorresina foi maior na última extração, mas não atingiu nem a metade do volume produzido sete anos antes na primeira extração. Tais resultados sugerem que o intervalo entre coletas sucessivas capaz de garantir uma produção equivalente a obtida na primeira coleta deve ser superior a sete anos e inferior a 32 anos.

A descoberta de uma copaíba, já perfurada no passado e que apresentou produção de oleorresina muito acima das demais (19 L na extração de 2017), confirma que, respeitado o tempo de pousio, depois de uma extração a copaíba ainda pode produzir elevado volume de oleorresina. Em períodos de pousio mais longo, as copaíbas podem repor o volume extraído, apresentando as eventuais superproduções, como mostram as observações em campo com a árvore C11. Embora não possamos confirmar qual foi o período de repouso entre as extrações, os guardas parque que trabalham na área há muito tempo, garantiram que foi há mais de uma década. No entanto, fica evidenciado que são necessários mais estudos de longo prazo e mais detalhados para cada espécie, envolvendo diferentes intervalos de pousio, para gerar uma recomendação sobre o tempo de pousio ideal para manter a sustentabilidade produtiva no manejo das copaíbas.

## CONCLUSÕES

As copaíbas apresentam incremento diamétrico médio, com taxas decrescentes de crescimento para as árvores mais velhas e tendência de estabilização após 150 anos.

Em uma população existem copaíbas produtivas, copaíbas produtivas após estímulo e copaíbas sempre improdutivas. No geral, a produção de oleorresina é bastante variável entre copaíbas, sendo que a maioria apresenta produção menor que 1 litro por árvore, e poucas árvores têm uma produção destacada. A variável dendrométrica que mais se relaciona com sua produção na primeira extração é o diâmetro, sendo as mais produtivas aquelas com diâmetro intermediário. O diâmetro mínimo que viabiliza uma extração maior que meio litro por árvore de *Copaifera reticulata* é de 50 cm. Copaíbas produtivas têm idade que varia entre 69 e 139 anos. As copaíbas só produzem em profundidades do furo maior que 1/3 do raio, pois o armazenamento da resina no tronco só ocorre no cerne. Um único furo é suficiente para constatar se a árvore é produtiva ou não, sendo que um segundo furo para suspiro, no lado oposto do tronco, não tem nenhum efeito na extração.

A injúria causada pelo furo pode ser um estímulo à produção. As copaíbas improdutivas em uma primeira extração podem vir a se tornar produtivas no futuro, inclusive, árvores ocas que não produzem, mas podem sintetizar oleorresina após perfuração. Quando há interesse na recoleta, deve-se evitar o uso de cavilha de madeira para vedar os furos. Para períodos curtos de pousio, a primeira extração de oleorresina é mais produtiva, enquanto na segunda extração há aumento do número de copaíbas produtivas. O estímulo das perfurações pode gerar, após curto período, produção de oleorresina em copaíbas improdutivas na primeira extração, mas a reposição do volume coletado e a sustentabilidade do manejo dependem de maior período de pousio do que o avaliado neste estudo, que foi de 10 meses, demandando estudos futuros.

## **AGRADECIMENTOS**

Projeto Kamukaia III (12.13.07.007.00): Valorização dos produtos florestais não madeireiros na Amazônia; ao Instituto Chico Mendes da Biodiversidade – ICMBio e gestores da ESEC Jari; aos guardas parque Adamor Pimenta e Rodelson Gomes da Silva; aos colaboradores da Embrapa – AP: Carlos Alberto de Moraes, Manoel Jonas de Jesus Viana e Claudeci Fernandes, e ao prof. Dr. Tomaz Longhi – UFPR.

## REFERÊNCIAS

- Abrão, F., J. A. Alves, G. Andrade, P. F. de Oliveira, S. R. Ambrósio, R. C. S. Veneziani, D. C. Tavares, J. K. Bastos, and C. H. G. Martins. 2018. Antibacterial effect of *Copaifera duckei* Dwyer oleoresin and its main diterpenes against oral pathogens and their cytotoxic effect. *Frontiers in Microbiology* 9:1–11.
- Alencar, J. da C. 1982. Estudos silviculturais de uma população natural de *Copaifera multijuga* Hayne Leguminosae, na Amazônia Central. *Acta Amazônica* 12:255–279.
- Almeida, W. A. de, I. H. L. da Silva, A. C. vieira dos Santos, A. P. B. Júnior, and A. H. de Sousa. 2017. Potentiation of Copaíba Oil-Resin With Synthetic Insecticides To Control of Fall Armyworm. *Revista Caatinga* 30:1059–1066.
- Barbosa, K. de S., V. V. Scudeller, and A. L. Rosa. 2009. Potencial de produção de óleo resina de *Copaifera multijuga* Hayne nos dois períodos climáticos amazônicos na Reserva de Desenvolvimento Sustentável. Pages 143–153 in E. N. Santos-Silva and V. V. Scudeller, editors. *Biotupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central*. UEA Edição. Manaus.
- Bardají, D. K. R., J. J. M. da Silva, T. C. Bianchi, D. de Souza Eugênio, P. F. de Oliveira, L. F. Leandro, H. L. G. Rogez, R. C. S. Venezianni, S. R. Ambrosio, D. C. Tavares, J. K. Bastos, and C. H. G. Martins. 2016. *Copaifera reticulata* oleoresin: Chemical characterization and antibacterial properties against oral pathogens. *Anaerobe* 40:18–27.
- Carvalho, J. C. T., V. Cascon, L. S. Possebon, M. S. S. Morimoto, L. G. V. Cardoso, M. A. C. Kaplan, and B. Gilbert. 2005. Topical antiinflammatory and analgesic activities of *Copaifera duckei* Dwyer. *Phytotherapy Research* 19:946–950.
- Chen, F., H. Al-Ahmad, B. Joyce, N. Zhao, T. G. Köllner, J. Degenhardt, and C. N. Stewart. 2009. Within-plant distribution and emission of sesquiterpenes from *Copaifera officinalis*. *Plant Physiology and Biochemistry* 47:1017–1023.
- Evangelista, W. viana. 2007. Caracterização da madeira de clones de *Eucaliptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucaliptus urophylla* S. T. Blake., oriunda de consórcio agrossilvipastoril. Universidade Federal de Viçosa.
- Freire, D. da C. B., C. R. da C. Brito-Filha, and G. A. Carvalho-zilse. 2006. Efeito dos óleos vegetais de andiroba ( *Carapa* sp .) e Copaíba ( *Copaifera* sp .) sobre forídeo , pragas de colméias , ( *Diptera* : *Phoridae* ) na Amazônia Central on phorides , hives ' s prague ( *Diptera* : *Phoridae* ) in Central Amazonia. *Acta Amazônica* 36:365–368.
- Gebara, J., A. P. Barbosa, I. M. G. Azevedo, and B. O. Gimenez. 2016. Population structure and production of copaiba oleoresin between valleys and hillsides of the mining area of Trombetas river - Pará. *Revista Árvore* 40:51–60.

- Guarino, E. de S. G., F. L. Fonseca, H. F. Uller, and L. H. D. O. Wadt. 2016. Adaptação ao Modelo Tradicional de Extração de Oleorresina da Copaíba. Comunicado Técnico Embrapa 193:1–8.
- Herrero-jáuregui, C., P. Sist, and M. A. Casado. 2012. Forest Ecology and Management Population structure of two low-density neotropical tree species under different management systems. *Forest Ecology and Management* 280:31–39.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurements.
- Imaña-Encias, J., G. F. da Silva, and J. R. R. Pinto. 2005. Comunicações Técnicas Florestais. Idade e crescimento das árvores. v. 7. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Klauberg, C., E. Vidal, L. C. E. Rodriguez, and L. Diaz-Balteiro. 2014. Determining the optimal harvest cycle for copaíba (*Copaifera* spp.) oleoresin production. *Agricultural Systems* 131:116–122.
- Lima, C. S., B. J. L. De Medeiros, H. A. S. Favacho, K. C. Dos Santos, B. R. De Oliveira, J. C. Taglialegna, E. V. M. Da Costa, K. J. De Campos, and J. C. T. Carvalho. 2011. Pre-clinical validation of a vaginal cream containing copaiba oil (reproductive toxicology study). *Phytomedicine* 18:1013–1023.
- Lucas, F. de A., A. L. Kandrotas, E. N. Neto, C. E. de Siqueira, G. S. André, I. Bromerschenkel, and S. H. V. Perri. 2017. Copaiba oil in experimental wound healing in horses. *Ciência Rural* 47:1–7.
- Magell, E., C. Jay-allemand, H. Ziegler, B. Eberhard-karls-universi, A. Der Morgenstelle, and D.- Ttbingen. 1994. Formation of heartwood substances in the stemwood of *Robinia pseudoacacia* L. II. distribution of nonstructural carbohydrates and wood extractives across the trunk. *Trees Structure and Function*:165–171.
- Martins-da-Silva, R. C. V., J. F. Pereira, and H. C. de Lima. 2008. O gênero *Copaifera* (Leguminosae - Caesalpinioideae) na Amazônia brasileira. *Rodriguésia* 59:455–476.
- Martins, K., C. Herrero-Jáuregui, P. Da Costa, H. Tonini, M. De M. Bentes-Gama, A. H. Vieira, and L. H. Lúcia. 2013. Interspecific differences in the oleoresin production of *Copaifera* L. (Fabaceae) in the Amazon rainforest. *Annals of Forest Science* 70:319–328.
- Medeiros, R. da S. 2016. Estudo da anatomia do lenho e dendrocronologia de árvores de *Copaifera multijuga* Hayne na Amazônia brasileira e sua relação com o manejo e extração de oleorresina. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- Medeiros, R. da S., G. Vieira, D. R. A. de Almeida, and M. Tomazello Fo. 2018. New information for managing *Copaifera multijuga* Hayne for oleoresin yield. *Forest Ecology and Management* 414:85–98.
- Medeiros, S., L. Karla, S. Sousa, C. Isaac, G. Vieira, and M. Tomazello-filho. 2020. Comparative anatomy of oleoresin producing and non-producing

- trees of *Copaifera multijuga* Hayne in primary forests and plantations. *Flora* 263:151552.
- Miranda, Z. P., M. C. Guedes, S. A. Rosa, and J. Schöngart. 2017. Volume increment modeling and subsidies for the management of the tree *Mora paraensis* (Ducke) Ducke based on the study of growth rings. *Trees* 0:0.
- Newton, P., A. R. Watkinson, and C. A. Peres. 2011. Determinants of yield in a non-timber forest product: *Copaifera* oleoresin in Amazonian extractive reserves. *Forest Ecology and Management* 261:255–264.
- Paiva, L. A. F., K. M. De Alencar Cunha, F. A. Santos, N. V. Gramosa, E. R. Silveira, and V. S. N. Rao. 2002. Investigation on the Wound Healing Activity of Oleo-resin from *Copaifera langsdorffii* in Rats. *Phytotherapy Research* 16:737–739.
- Plowden, C. 2003. Production Ecology of copaíba (*Copaifera* spp.) Oleoresin in the Eastern Brazilian Amazon. *Economic Botany* 57:491–501.
- R Team Core. 2016. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria.
- Rigamonte-Azevedo, O. C., P. G. S. Wadt, and L. H. O. Wadt. 2006. Potencial de produção de óleo-resina de copaíba (*Copaifera* spp.) de populações naturais do Sudoeste da Amazônia. *R. Árvore* 30:583–591.
- Sachetti, C. G., R. R. de Carvalho, F. J. R. Paumgarten, O. A. Lameira, and E. D. Caldas. 2011. Developmental toxicity of copaiba tree (*Copaifera reticulata* Ducke, Fabaceae) oleoresin in rat. *Food and Chemical Toxicology* 49:1080–1085.
- Sachetti, C. G., M. L. Fascineli, J. A. Sampaio, O. A. Lameira, and E. D. Caldas. 2009. Avaliação da toxicidade aguda e potencial neurotóxico do óleo-resina de copaíba (*Copaifera reticulata* Ducke, Fabaceae). *Revista Brasileira de Farmacognosia* 19:937–941.
- Santos, A. C. V. dos, C. C. Fernandes, L. M. Lopes, and A. H. de Sousa. 2016. Insecticidal Oils From Amazon Plants in Control of Fall Armyworm. *Revista Caatinga* 29:642–647.
- Santos Junior, N. A., S. A. Botelho, and A. C. Davide. 2004. Estudo da germinação e sobrevivência de espécies arbóreas em sistema de semeadura direta, viasando à recomposição de mata ciliar. *Cerne* 10:103–107.
- Schöngart, J., F. Wittman, M. Worbes, M. T. F. Piedade, H.-J. Krambeck, and W. J. Junk. 2007. Original article Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. *Annals of Forest Science* 64:657–664.
- Senedese, J. M., F. Rinaldi-Neto, R. A. Furtado, H. D. Nicollela, L. D. R. de Souza, A. B. Ribeiro, L. S. Ferreira, G. M. Magalhães, I. Z. Carlos, J. J. M. da Silva, D. C. Tavares, and J. Kenupp Bastos. 2019. Chemopreventive role of *Copaifera reticulata* Ducke oleoresin in colon carcinogenesis. *Biomedicine and Pharmacotherapy* 111:331–337.

- Veiga Junior, V. F., and A. C. Pinto. 2002. O gênero *Copaifera* L. *Quimica Nova* 25:273–286.
- Veiga, V. F., E. C. Rosas, M. V. Carvalho, M. G. M. O. Henriques, and A. C. Pinto. 2007. Chemical composition and anti-inflammatory activity of copaiba oils from *Copaifera cearensis* Huber ex Ducke, *Copaifera reticulata* Ducke and *Copaifera multijuga* Hayne-A comparative study. *Journal of Ethnopharmacology* 112:248–254.
- Yang, B., H. Jia, Z. Zhao, S. Pang, and D. Cai. 2020. Horizontal and Vertical Distributions of Heartwood for Teak Plantation. *Forests* 11:1–12.

## **CAPÍTULO 2**

Padrão de crescimento diamétrico e relações com variáveis climáticas em  
uma população de copaibeiras na Amazônia Oriental

## RESUMO

As copaibeiras são espécies tropicais que produzem oleorresina, um importante metabólito secundário com propriedades fitoterapêuticas, com ação anti-inflamatória, cicatrizante, antimicrobiana, antibiótica e anticarcinogênica. Devido sua importância econômica e farmacológica, os estudos sobre o oleorresina de copaíba avançaram bastante. O mesmo não ocorreu com o conhecimento fundamental para embasar o manejo das espécies, tampouco com as variáveis meteorológicas relacionadas ao desenvolvimento das copaibeiras. O objetivo desse trabalho foi analisar o padrão de incremento diamétrico com diferentes modelos de crescimento, relacionando com a idade das copaibeiras e com a variação temporal de condições meteorológicas na Amazônia e da anomalia da temperatura no Pacífico Sul. O estudo foi realizado na Estação Ecológica do Jari – ESEC Jari, Almeirim – PA. Foi realizado inventário das copaibeiras na região, dividindo-as em grupos de acordo com o ambiente onde estavam estabelecidas - próximas ou distantes de áreas com distúrbios. Foram retiradas amostras do lenho, com auxílio de trado acoplado em uma BT 45. As amostras foram devidamente tratadas e os anéis mensurados. Todos os dados provenientes das amostras foram organizados e analisados no software Cofecha para determinação da idade das árvores. Os dados das larguras dos anéis foram ajustados por modelos teóricos de crescimento (Richards, Schöngart, Gompertz, Von-Bertalanffy, Logístico e Michellis-Menten). Os dados meteorológicos globais de anomalias na temperatura do Pacífico foram obtidos do site de NASA e os dados locais de precipitação e temperatura foram obtidos da estação climatológica de Macapá – AP e Jari Celulose S.A. Foram encontradas 15 copaibeiras próximas à estrada e 10 em área de floresta mais adensada e distantes de ramais e estradas. As curvas de crescimento diamétrico se comportaram de maneira diferente em função do local onde as copaibeiras se estabeleceram. Os modelos de Schöngart e Von-Bertalanffy se ajustaram melhor aos dados de crescimento, em função da idade. A média de crescimento foi de 0,45 cm para copaibeiras próximas da estrada e 0,49 cm para as copaibeiras na floresta densa. A precipitação foi a variável climática que mais influenciou no crescimento diamétrico das copaibeiras.

Palavras chave: *Copaifera reticulata*; incremento diamétrico; precipitação; modelagem.

## **ABSTRACT**

Copaiba trees are tropical species that produce oleoresin, an important secondary metabolite with phytotherapeutic properties, with anti-inflammatory, healing, antimicrobial, antibiotic and anticarcinogenic action. Due to its economic and pharmacological importance, studies on copaiba oleoresin have advanced considerably. The same did not happen with the fundamental knowledge to support the management of species, nor the influence of meteorological variables on the development of copaibeiras. The aim of this work was to analyze the diametric growth patterns, relating this growth to age and meteorological variables in the Amazon. The study was carried out at the Ecological Station of Jari - ESEC Jari, Almeirim - PA. An inventory of copaibeiras in the region was carried out, dividing them into groups according to the environment where they were established. Samples were taken from the wood, with the aid of a drill coupled to a BT 45. The samples were properly treated and the rings were measured. All data from the samples were organized and analyzed using the Cofecha software to determine the age of the trees. The ring width data were adjusted by theoretical growth models (Richards, Schöngart, Gompertz, Von-Bertalanffy, Logistic and Michellis-Menten). Global ENSO meteorological data were obtained from the NASA website and local precipitation and temperature data were obtained from the Macapá climatological station - AP and Jari Celulose S.A. 15 copaibeiras were found close to the road and 10 in a denser forest area. The diametric growth curves behaved differently depending on the location where the copaibeiras were established. The Schöngart and Von-Bertalanffy models adjusted better to the growth data, depending on age. The average growth was 0.45 cm for copaibeiras close to the road and 0.49 cm for copaibeiras in dense forest. Precipitation was the climatic variable that most influenced the diametric growth of the copaibeiras.

Key words: *Copaifera reticulata*; diametric increment; rainfall; modelling

## INTRODUÇÃO

Na interface oceano-atmosfera-floresta, a floresta é o meio em que se pode observar, de forma mais impactante, os efeitos das alterações no clima. As trocas de energia entre oceano e atmosfera, quando consideradas anômalas, podem causar alterações nos regimes de precipitação. Isso influencia diretamente na dinâmica da floresta, diminuindo ou elevando os cursos hídricos; a evapotranspiração; causando secas prolongadas, que somadas às atividades antrópicas, favorecem os incêndios florestais de grandes proporções.

A fumaça, resultante dos incêndios florestais, causa doenças respiratórias, com alguns casos graves nas populações. A redução na precipitação, afeta também a navegabilidade nos rios e pode causar morte de peixes, por déficit de oxigenação na água, problemas esses que atingem as comunidades ao longo dos rios amazônicos. Além disso, há déficit na produção de energia elétrica, uma vez que a mesma é produzida por hidrelétricas (Coelho et al. 2012).

O regime de cheias e secas nos rios, influenciados pelas anomalias na temperatura superficial dos oceanos, controlam, não só a rotina das populações humanas que vivem na Amazônia, que dependem dos rios para locomoção, mas também o fluxo de animais e a dinâmica da floresta. O excesso ou déficit na precipitação pluviométrica, influencia diretamente na dinâmica da floresta, retardando ou acelerando o crescimento, o desenvolvimento e a morte de indivíduos arbóreos.

O oceano Pacífico é considerado o maior regulador climático global (Limberger and Silva 1997). Quando ele apresenta média de temperatura da superfície do mar (TSM) elevada, maior ou igual a  $+ 0,5^{\circ}\text{C}$  acima da média para o período, por pelo menos, cinco trimestres móveis consecutivos, o ano é classificado com anomalia do tipo El Niño. Quando ocorre o oposto, ou seja, a TSM se mantém por cinco trimestres móveis, com valor menor ou igual a  $- 0,5^{\circ}\text{C}$  abaixo da média normal para o período, então o ano é anômalo, do tipo La Niña.

Nos anos de El Niño, os regimes de chuvas na Amazônia são menores. Nos anos de La Niña, o regime de precipitação pluviométrica aumenta, em especial nas porções central e leste, com grandes cheias nas áreas mais próxima à foz da bacia amazônica (Zeng 1999). No entanto é válido ressaltar

que além dos efeitos ENOS, existe a oscilação sul, uma das anomalias de TMS do Atlântico tropical (Ronchail et al. 2002).

Os efeitos dessas anomalias no crescimento diamétrico podem ser observados nos padrões dos anéis de crescimento, que podem ou não, ter periodicidade anual de formação. Os anéis de crescimento, além de indicar a idade de uma árvore, pode também revelar registros de eventos climatológicos, relacionados à temperatura, ao regime de precipitação, à inundação prolongada, bem como períodos longos de estiagem. Assim,   uma ferramenta importante no campo das ciências florestais, pois torna possível as predi oes de crescimento, com finalidade de subsidiar o manejo em florestas nativas, além da reconstitu o de diversas condi oes e mudanças ambientais (Fritts 1976).

As principais premissas dos estudos dendrocronol gicos ou dendroecol gicos são que os anéis tenham as delimita oes bem definidas e a periodicidade de forma o dos anéis, seja conhecida (Oliveira 2007). Na região amazônica, existem diversas espécies formadoras de anéis bem delimitados, como   o caso da *Copaifera reticulata*. Os anéis de crescimento são distintos, delimitados por parênquima apotraqueal marginal (Yanez-Inzunza 1992) e a periodicidade de forma o anual, como foi observada em *Copaifera multijuga* (Medeiros 2016).

*Copaifera reticulata* tem importância cultural e econ mica para os amazônidas. Cultural, porque a extra o do oleorresina envolve credences desde o período para extrair, até a maneira como se comportar diante da copaibeira. Os extratores de óleo de copaíba, como   conhecido o oleorresina, acreditam que não se deve olhar para cima e/ou fazer barulho na hora de perfurar a árvore; do contrário, a árvore não libera o  leo. Do ponto de vista econ mico,   uma das maiores produtoras de oleorresina, entre as espécies que ocorrem na Amazônia, produzindo até 30 litros árvore<sup>-1</sup> por coleta (Rigamonte-Azevedo et al. 2004).

O oleorresina, extraído do tronco da *C. reticulata*,   um importante produto florestal não madeireiro, devido suas propriedades fitoterápicas, tai como: a o anti-inflamatória (Castro Ghizoni et al. 2017), cicatrizante (Teixeira et al. 2017), antibacteriana contra patógenos orais (Bardají et al. 2016), antimicrobiano (Pfeifer Barbosa et al. 2019). Apresenta também potencial quimiopreventivo, no modelo de carcinog nese (Senedese et al. 2019).

Os estudos sobre a farmacologia do oleorresina tem avançado bastante. Mas, o mesmo não ocorreu para o conhecimento ecológico das espécies de *Copaifera*, fundamental para embasar o manejo. Uma questão que vem sendo estudada é o diâmetro mínimo para que ocorra a produção de oleorresina. Para (Rigamonte-Azevedo et al. 2006, Wadt 2008) esse diâmetro varia muito entre as espécies. O diâmetro, normalmente relacionado diretamente à idade das árvores, pode variar dependendo das condições de crescimento ao longo do ciclo de vida. Assim, árvores com o mesmo diâmetro podem apresentar idades diferentes, dependendo se o incremento diamétrico foi maior ou menos. Assim, é importante aprofundar o conhecimento sobre as condições e variações do crescimento diamétrico das copaibeiras, para entender o padrão de desenvolvimento da espécie e possíveis relações com a produção de oleorresina.

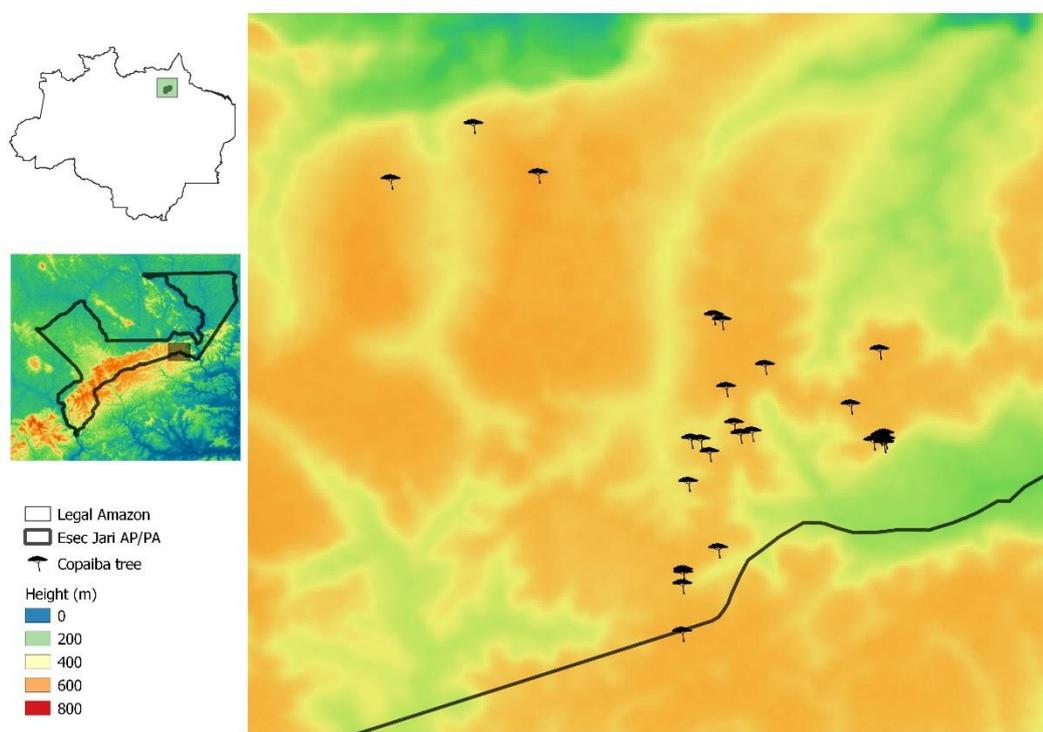
Como os padrões de crescimento diamétrico podem ser analisados pelo incremento anual, é possível projetar o crescimento por meio das curvas ajustadas a modelos teóricos existentes que explicam a dinâmica de crescimento. Assim, os objetivos desse capítulo foram: 1) avaliar o padrão de crescimento diamétrico da população de copaibeiras por meio da comparação de diferentes modelos, 2) comparar o crescimento diamétrico das copaibas em função do ambiente onde elas estão presentes; e 3) relacionar o incremento diamétrico e os eventos de supressão e liberação de crescimento, com a variação temporal de condições meteorológicas na Amazônia e da anomalia da temperatura no oceano Pacífico.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **ÁREA DE ESTUDOS**

O estudo foi realizado na Estação Ecológica do Jari – ESEC Jari, localizada entre os Estados do Amapá e Pará, nos municípios de Laranjal do Jari - Amapá e Almeirim – Pará, Brasil (figura 1). A sede da ESEC Jari, gerenciada pelo Instituto Chico Mendes da Biodiversidade – ICMBio, fica situada nas coordenadas 0°27'24.8" S; 52°49'37.74" W.

As copaibeiras monitoradas nesse estudo estão próximas à sede da ESEC, situadas na serra de Maracanaquara, onde existe a formação de uma grande escarpa, conhecida como “Paredão de Pedra”, que marca o limite norte da bacia sedimentar amazônica. Essa formação tem mais de 70 km de extensão e atinge altitudes acima de 500 m na crista do paredão. Nas laterais do platô, a altitude vai decaindo, formando encostas com relevo ondulado ou em forma de cristas, vales e platôs intermontados (Coutinho e Pires, 1996).



**Figura 1.** Localização das copaibeiras inventariadas na Esec Jari, Almeirim – PA, Amazônia oriental.

Nas encostas dos dois lados do platô, observa-se a formação de solos frequentemente argilosos, ocorrendo também texturas menos argilas, intermeados de matacões e pequenas concreções ferruginosas. Esses solos pertencem às Classes dos Argissolos e Latossolos, principalmente, de Latossolos Amarelos e Argissolos Vermelho Amarelos. Em menor quantidade, podem ocorrer também Plintossolos e Cambissolos (Coutinho e Pires, 1996). A cobertura florestal nessa região é a Floresta Ombrófila densa submontana, com altitudes variando de 100-600 m, e montana, com variações de 600-2000 m (IBGE, 2012), apresentando regiões planas e regiões acidentadas com

encostas. O clima é do tipo Am, caracterizado por temperaturas e umidades altas com monções. A precipitação média acumulada no ano gira em torno de 2,200 mm. Outubro é o mês mais seco, com precipitação abaixo de 50 mm, e maio é o mais úmido, com precipitação média de 325 mm nesse mês (Climate-data, 2019).

## INVENTÁRIO DAS COPAIBEIRAS E GRUPOS DE OCORRÊNCIA

O inventário ocorreu no fim de 2017 e início de 2018, incluindo todas as copaibeiras com diâmetro à altura do peito – DAP maior igual a 30 cm. Para cada copaibeira, foram registradas informações do ambiente em que se encontrava, por exemplo, se o terreno era plano ou acidentado, se estava na encosta ou no platô e se estavam próximas à estrada e ramais de acesso.

Cada copaibeira recebeu um código alfa numérico e teve suas coordenadas geográficas registradas com um receptor de sinal GPS. Foram medidos o diâmetro à altura do peito – DAP (1,3 m do solo), com uma fita métrica, e a altura comercial – Hc, com uma trena a laser. Não foi possível medir a altura total, porque a maioria das copaibeiras têm copa dominante, acima do dossel da floresta.

Foram formados dois grupos: (i) copaibeiras a menos de 100 metros de distância linear para uma área de distúrbio (estrada/ramal) e (ii) copaibeiras localizadas em áreas de floresta densa, distante de distúrbios antrópicos. Para incluir as copaibeiras nos grupos com distúrbios ou sem distúrbios, foram utilizados dados métricos do TrackMaker Garmim, entre o ponto de referência geográfica de cada copaibeira e uma linha reta até a margem de uma estrada ou ramal. As copaibeiras com distâncias maiores do que 100 metros, foram incluídas no segundo grupo.

## COLETA DE AMOSTRA DO LENHO DOS TRONCOS DAS COPAIBEIRAS

Das 28 copaibeiras inventariadas, 26 foram tratadas mecanicamente (perfuradas), para a coleta de amostras do lenho, em forma de rolos de

incremento, usando um trado de incremento de  $\frac{3}{4}$  de polegada, acoplado em uma BT 45 Sthill.

As primeiras 16 copaibeiras foram perfuradas em dezembro de 2017 (fim do período de baixa precipitação). Foram coletadas duas amostras de incremento em cada árvore, na altura entre 1,00 – 1,50 m em relação ao solo, com ângulo de inclinação do trado maior que 15 graus, para facilitar o uso do trado. Em outubro de 2018 (também período de baixa precipitação), foram perfuradas mais 10 copaibeiras. As amostras de incremento foram acondicionadas em recipientes de PVC de  $\frac{1}{2}$ " e comprimento variável, de acordo com o comprimento da amostra. No final de cada dia de atividade de campo, as amostras eram colocadas em local seco e arejado para evitar proliferação de fungos, que poderia deteriorar as amostras. A secagem seguiu por alguns dias em temperatura ambiente em local seco, no Laboratório de Dendrologia da Empresa de Pesquisa Agropecuária (Embrapa – AP).

#### DETERMINAÇÃO DA IDADE DAS COPAIBEIRAS

Para a observação da vista em plano transversal da madeira, permitindo a visualização dos anéis anuais de crescimento, as amostras foram coladas, com goma arábica branca, em suporte de madeira após a secagem, observando-se orientação vertical das fibras do lenho, em relação ao suporte. Após a fixação no suporte, as amostras foram polidas com variadas lixas, acopladas em lixadeira orbital, em sequência crescente de granulação (80, 120, 240, 420 e 600), até que apresentassem brilho característico de superfície sem imperfeições, e os anéis estivessem bem visíveis.

As amostras foram escaneadas, com resolução máxima (1200 dpi) e as imagens foram carregadas no Software ImageJ Pro Plus versão 4.5.0.19, para contagem e mensuração da largura dos anéis de crescimento, no sentido casca-medula. O primeiro anel corresponde ao ano em que a amostra foi coletada, considerando o regime de chuvas como controle temporal do período vegetativo. Os dados foram organizados seguindo os protocolos estabelecidos por Holmes (1983) para análise dos dados no software Cofecha. A qualidade da datação cruzada foi avaliada, considerando os valores obtidos a partir das

intercorrelações entre as séries cronológicas de anéis de crescimento e a maior série cronológica gerada pelo Cofecha (Holmes 1983).

Após a sincronização dos dados, foi calculado, para cada amostra, o incremento radial cumulativo médio (CRI), somando-se a largura de cada anel ao anel que o antecede (Costa et al., 2015). Foram construídas as curvas de crescimento dos diâmetros de cada árvore ao longo do tempo. A partir das curvas individuais foi construída a curva cumulativa média de crescimento do diâmetro, em função da idade de cada copaibeira.

## DADOS METEOROLÓGICOS

Os dados de temperaturas médias e anomalias identificadas na variação de temperatura superficial das águas do oceano Pacífico (TSM), foram obtidos na base de dados da National Aeronautics and Spacial Administration – NASA ([https://gcmd.nasa.gov/records/GCMD\\_NOAA\\_NWS\\_CPC\\_ONI.html](https://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_NOAA_NWS_CPC_ONI.html)). As médias móveis trimestrais das anomalias de temperatura são utilizadas para definição se há predomínio do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS  $\geq 5$  trimestres móveis com anomalias  $> +0,5^{\circ}\text{C}$ ), ou La Niña (abaixo de  $-0,5^{\circ}\text{C}$ ), ou condição de neutralidade (anomalia da temperatura entre  $-0,5^{\circ}\text{C}$  e  $+0,5^{\circ}\text{C}$ ), em nível global.

Os dados da média anual da anomalia da temperatura no período de 60 anos foram comparados com o incremento médio anual para o mesmo período. Para verificar se existe associação do efeito atmosférico com o crescimento diamétrico das copaibeiras, os incrementos foram correlacionados com as anomalias no mesmo ano do crescimento e um ano antes.

Os dados históricos de precipitação modelados para a região do estudo, foram adquiridos do banco de dados (<http://climexp.knmi.nl/>), devido à ausência de longas séries temporais para as estações locais. Nas estações locais (Macapá – INMET, 2018; Almeirim - Jari Florestal) foram obtidos dados a partir de 2003, para análises mais específicas dos últimos anos de crescimento e das

relações com os três últimos (2014/2015, 2010, 2005) eventos de forte ENOS ocorridos na Amazônia.

Para verificar a dinâmica de resposta das copaibeiras foram realizadas simulações dos efeitos da precipitação para até três anos de delay, a partir de 1957.

Foi considerado evento de liberação quando a porcentagem do incremento em diâmetro se mantinha por cinco anos consecutivos acima de 100%. Por outro lado, a supressão era marcada por crescimento menor do que -50% da média de crescimento nos cinco anos subsequentes (Nowacki and Abrams 1997, Schöngart et al. 2015).

## ANÁLISE DE DADOS

Os dados de incremento médio anual, ou seja, a largura de cada anel das copaibeiras, foram ajustados a seis modelos de crescimento (Tabela 1). Os modelos foram testados estatisticamente com os seguintes critérios de avaliação: soma dos quadrados dos resíduos (SQRes), sendo o ideal a minimização dos erros, ou seja, quanto menor o valor, mais ajustado são os dados; coeficiente de determinação ( $R^2$ ), no qual os valores variam entre 0 e 1, sendo preferíveis valores próximos a 1; e critério de informação de Akaike (AIC), no qual os menores valores são considerados melhores.

**Tabela 1.** Modelos não lineares testados para o crescimento diamétrico das copaibeiras na Esec Jari, Almeirim – PA, Amazônia oriental.

Modelos	Equações
Richards	$y = \alpha / (1 + \beta \exp^{-\gamma t})^{1/\delta}$
Schöngart	$y = \alpha / (1 + (\beta/t))^\gamma$
Gompertz	$y = \alpha \exp(-\beta \exp^{-\gamma t})$
Von-Bertalanffy	$y = \alpha (1 - \beta \exp^{-\gamma t})$
Logístico	$y = \alpha / (1 + \beta \exp^{-\gamma t})$
Michaelis-Menten	$y = (\alpha t / (\alpha + t))$

Em que:  $y$  é a variável dependente (DAP);  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$  são os parâmetros da regressão; e  $t$  é a variável independente (idade)

A verificação de eventos de liberação/supressão nos anéis de crescimento se deu por meio de uma relação entre as médias móveis de 10 anos, usando a seguinte fórmula (Nowacki and Abrams 1997):

$$MC\% = \left[ \frac{M2-M1}{M1} \right] \times 100$$

Em que: M1 = média dos diâmetros de 10 anos; M2 = média dos diâmetros nos 10 anos subsequente.

Foram consideradas as médias móveis da variação da temperatura em relação às normais esperadas para o período, entre os meses setembro e dezembro, que são os meses mais quentes e com baixa precipitação na região. Para relacionar o incremento diamétrico com a precipitação, considerou-se a pluviosidade acumulada do ano.

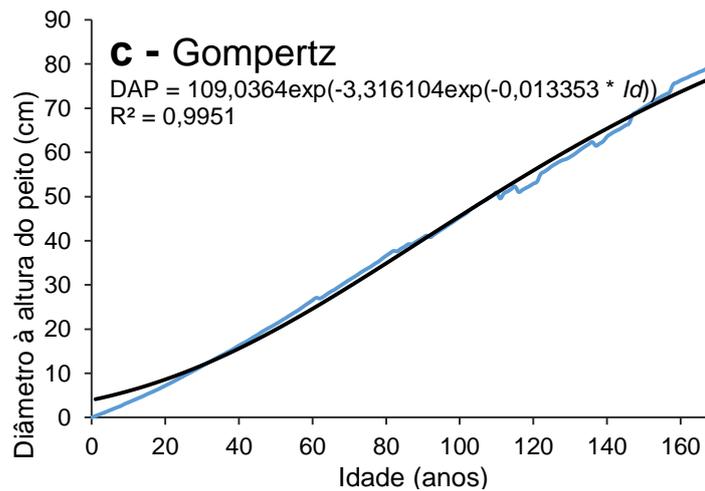
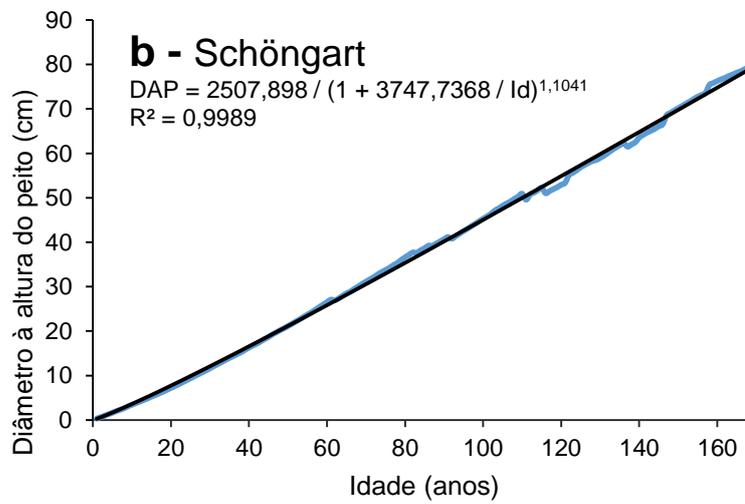
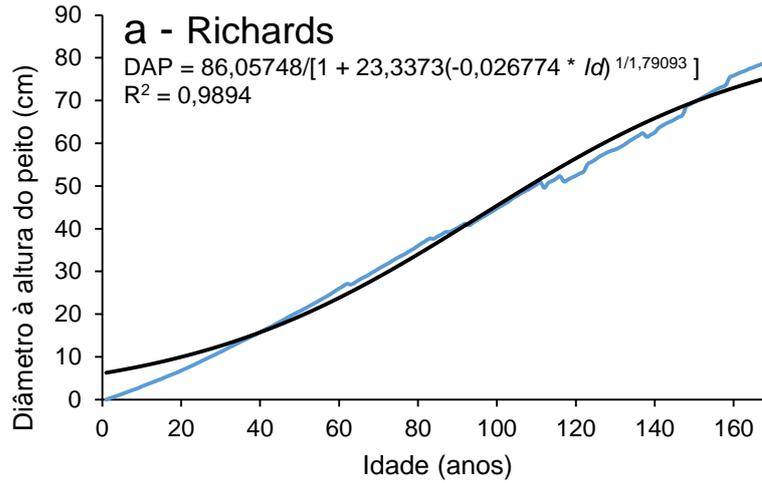
Os dados foram organizados em planilha eletrônica do software Excel. As análises estatísticas foram realizadas no Rstudio e Excel.

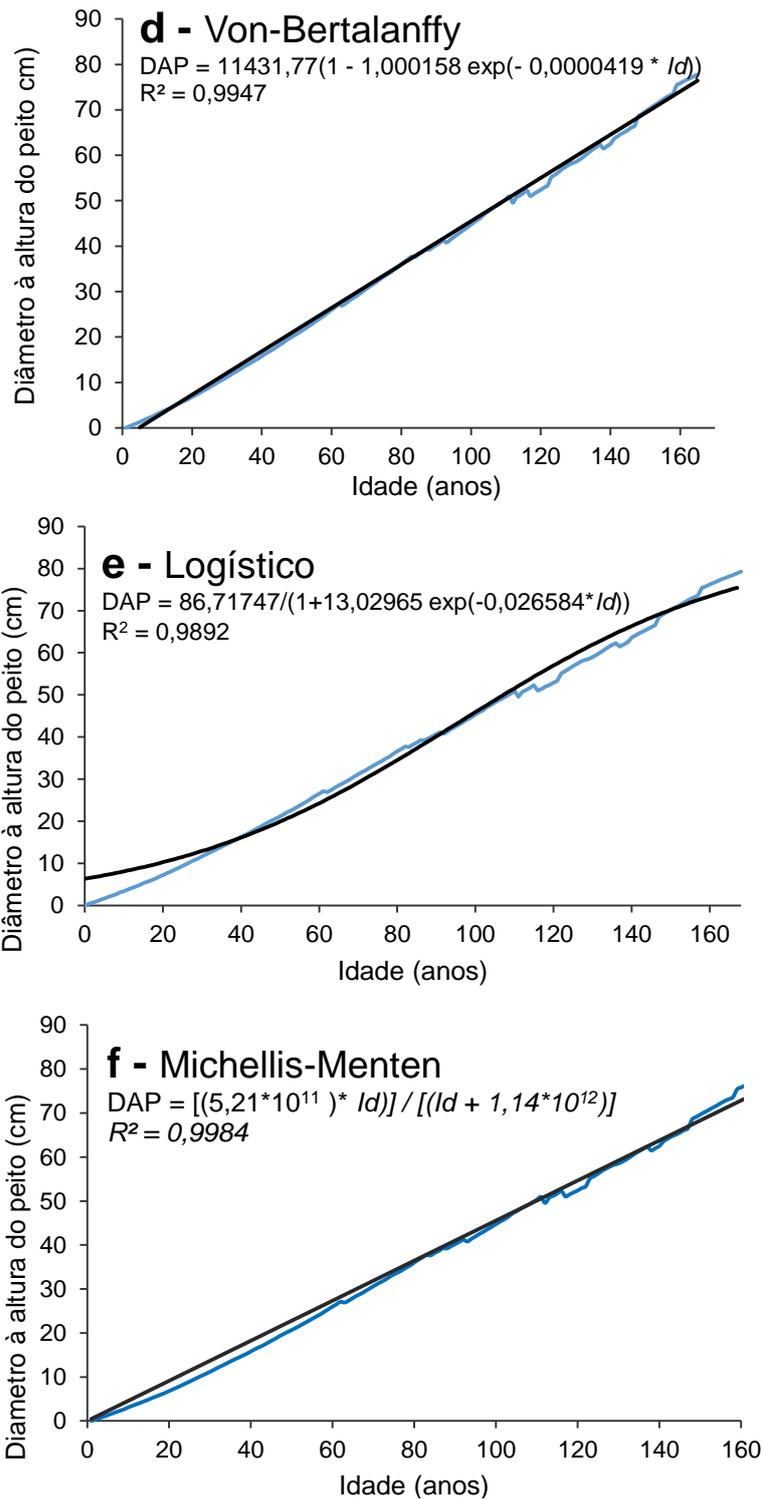
Para comparar as curvas de incremento cumulativo, foram realizadas análises de variância da regressão das equações ajustadas e do intervalo de confiança construído com 95% de certeza ao longo de cada curva. Para comparar as médias de crescimento entre os dois grupos estudados foi utilizado o teste T. O nível de confiança estabelecido foi  $\alpha = 0,05$  em ambos os testes.

## **RESULTADOS**

### **COMPARAÇÃO DOS MODELOS TEÓRICOS DE CRESCIMENTO (DAP X IDADE) DAS COPAIBEIRAS**

A curva média de incremento anual em diâmetro foi ajustada aos modelos teóricos. Todos os modelos testados apresentaram bons ajustes, mas um modelo sobressaiu em relação aos demais, tanto pelo critério da soma dos quadrados dos resíduos, como pelo critério de avaliação de Akaike. Os gráficos onde a curva média observada é comparada com os modelos teóricos estão representadas na Figura 2. Os dados da regressão e critérios de avaliação estão na Tabela 2.





**Figura 2.** Modelos utilizados para ajustar os dados de incremento nas copaibeiras da Esec do Jari, Almeirim – PA, Linha azul representa a curva média dos incrementos observados nos anéis de crescimento; a linha preta representa a curva ajustada ao modelo, Em a: modelo de Richards; b: modelo de Schöngart; c: modelo de Gompertz; d: modelo de Von-Bertalanffy; e: modelo logístico; e f: modelo de Michellis-Menten

Os modelos de Schöngart, Von-Bertalanffy e Michellis-Menten, foram os que apresentaram os melhores ajuste pelo critério do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Porém o modelo de Michellis-Menten hiperestima os menores diâmetros e subestima os maiores, apresentando os resíduos muito afastados da média. Tanto, que no critério dos quadrados dos resíduos, apresentou o pior desempenho, sendo portanto, o menos indicado. Usando como critérios a soma dos quadrados do resíduo e o AIC, os modelos de Schöngart e Von-Bertalanffy foram os mais indicados para essa população.

**Tabela 2.** Análise estatística dos modelos ajustados aos dados do incremento médio de uma população de copaibeiras na Esec do Jari, Almeirim – PA, Em que: SQres = soma dos quadrados dos resíduos; R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; AIC = critério de informação de Akaike;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  e  $\delta$  = coeficientes de regressão do modelo.

Modelo	Coefficiente	SQRes	R <sup>2</sup>	AIC
Richards	$\alpha = 86,05748$ $\beta = 23,3373$ $\gamma = 0,026774$ $\delta = 1,79093$	1001,244	0,9894	138,2388
Schöngart	$\alpha = 2507,898$ $\beta = 3747,7368$ $\gamma = 1,1041$	<b>96,456</b>	<b>0,9989</b>	<b>-34,5</b>
Gompertz	$\alpha = 109,0364$ $\beta = 3,316104$ $\gamma = 0,013353$	457,0385	0,9951	79,0211
Von-Bertalanffy	$\alpha = 11341,77$ $\beta = 1,000158$ $\gamma = 0,0000419$	<b>138,7324</b>	<b>0,9984</b>	<b>-6,4254</b>
Logístico	$\alpha = 86,71747$ $\beta = 13,02965$ $\gamma = 0,026584$	1017	0,9892	137,4087
Michaelis-Menten	$\alpha = 5,21 \times 10^{11}$ $\beta = 1,14 \times 10^{12}$	354	0,9984	58,4885

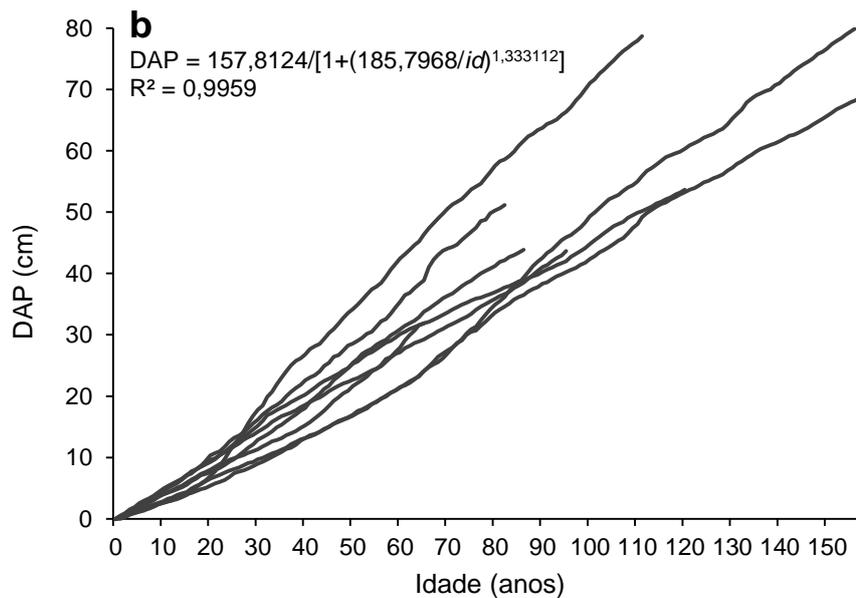
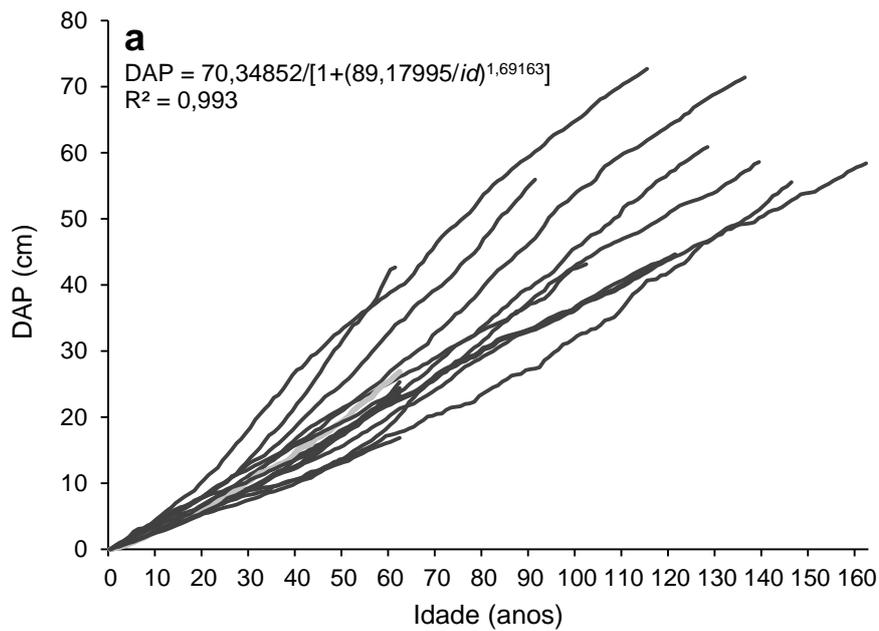
O modelo de Schöngart (2007) foi selecionado para realizar as análises de incremento diamétrico entre os grupos de copaibeiras. As análises comparativas são apresentadas a seguir.

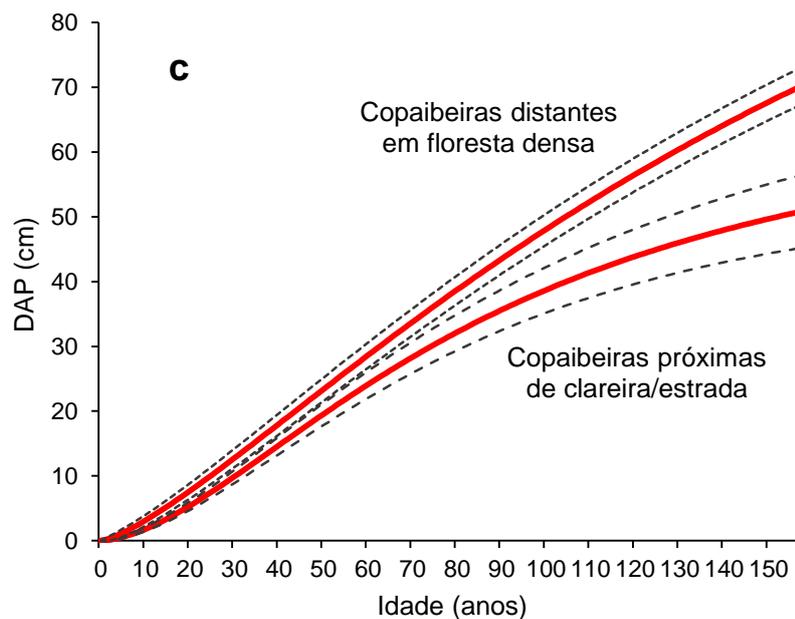
#### ANÁLISE DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO E INCREMENTO DIAMÉTRICO CUMULATIVO RELACIONADOS AOS AMBIENTES DE ESTABELECIMENTO DAS COPAIBEIRAS

Das 26 árvores amostradas 16 árvores de *C. reticulata* estavam próximas à estrada de acesso à sede da Esec ou aos ramais do maranhense e da cachoeira. Dessas, uma árvore estava oca, por isso não foi possível estimar a idade, nem a curva de crescimento. Então são apresentadas as curvas de crescimento diamétrico de 15 árvores do grupo próximo das estradas (Figura 3 a).

As copaibeiras localizadas na floresta mais densa, foram dez. Na Figura 3b, são apresentadas as curvas de crescimento dessas copaibeiras, localizadas

em áreas distantes das estradas. As curvas médias ajustadas pelo modelo usado por Schöngart (2007) estão em (3c). É possível observar que o crescimento diamétrico ocorre de forma bem semelhante entre os dois grupos até próximo dos 60 anos. A partir daí o incremento médio dos grupos se diferenciam e o grupo das copaibeiras que estão na floresta densa crescem de forma mais homogênea (Figura 3b). O incremento médio anual não apresentou diferença significativa entre os ambientes, onde as copaíbas estão localizadas (Tabela 3).





**Figura 3.** Gráficos demonstram as curvas de crescimento diamétrico em função da idade das copaibeiras da Esec Jari, Almeirim – PA, Amazônia Oriental. Em: a – são apresentadas as curvas de crescimento das copaibeiras próximas de algum distúrbio natural ou antrópico; b – são apresentadas as curvas das copaibeiras inseridas na floresta densa; c – comparação entre as curvas médias de crescimento das copaibeiras em ambiente com clareira/estrada e floresta densa. Linha vermelha é a curva média ajustada pelo modelo de Schöngart (2007) e linhas tracejadas é o erro padrão da média.

**Tabela 3.** Dados descritivos das copaibeiras com relação à proximidade aos ambientes com distúrbio (estrada e ramais) e floresta mais densa na Esec Jari, Almeirim – PA, Amazônia Oriental

Amostra	n	DAP (cm)		Idade (anos)		IMA ± Se (cm ano <sup>-1</sup> )
		mín	máx	Mín	máx	
Distúrbio	15	30	97	54	168	0,45 ± 0.007
Floresta densa	10	40	110	80	166	0,49 ± 0.03

Normalmente, na engenharia florestal, o diâmetro de 10 cm é utilizado como DAP de inclusão, para realização de inventários que queiram amostras indivíduos adultos das populações. A variação da idade das copaibeira ao ingressarem na classe diamétrica de 10 cm, foi de 20 anos, com mínimo de 20 anos e máximo de 40 anos para copaibeiras próximas de ambientes onde a

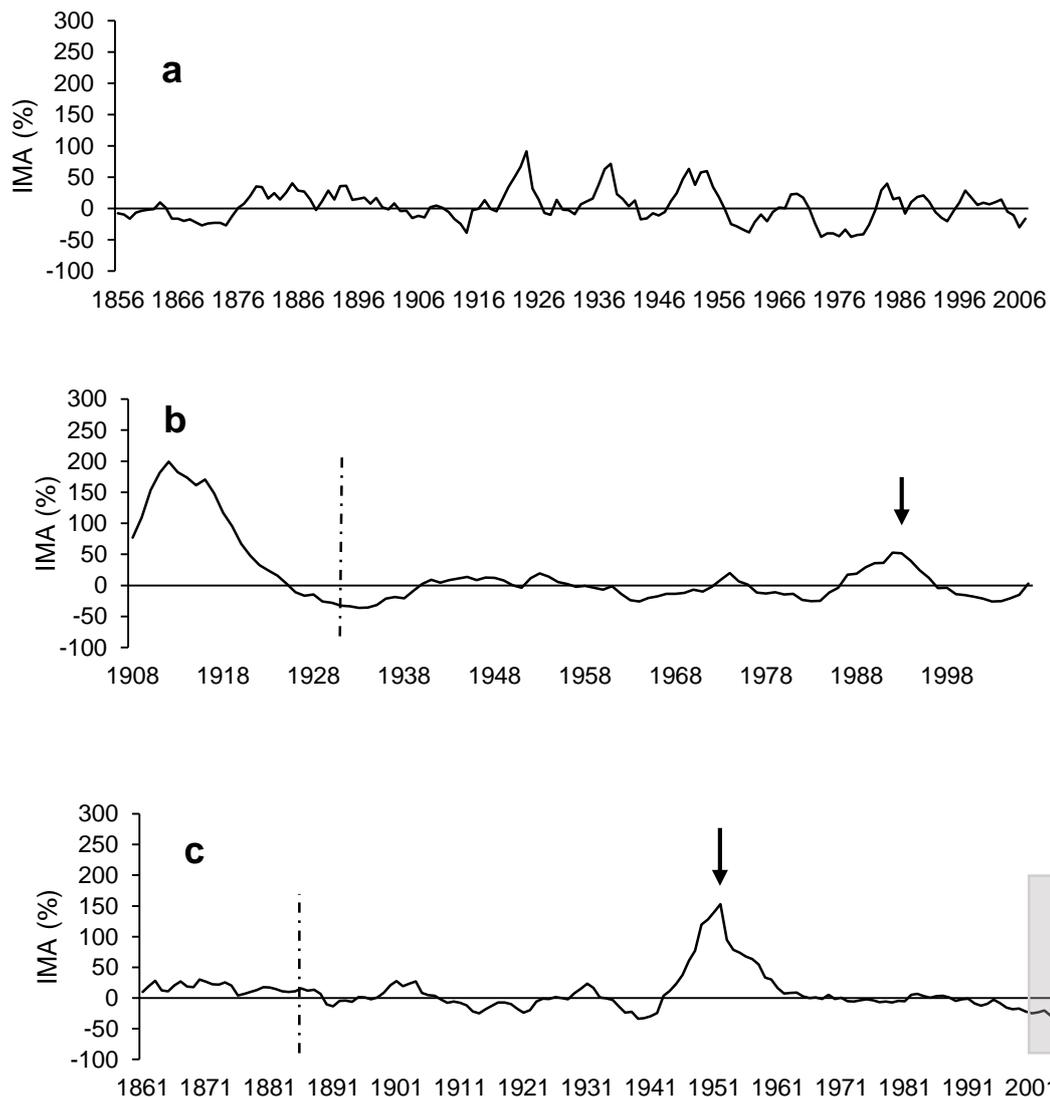
vegetação foi perturbada. Para o outro grupo, em que as copaibeiras estão mais distantes de clareira ou estradas, essa idade variou em 11 anos, mínimo 22 anos e máximo 33 anos. Na tabela 3 são apresentados os valores das variações para o ingresso na classe de indivíduos com DAP  $\geq 10$  cm e as variações das idades para a classe de 50 cm, classe em que as copaibeiras iniciam a produção de oleorresina.

**Tabela 4.** Variação entre as idades de ingresso das copaibeiras na classe diamétrica a partir de 10 cm. Variação dos diâmetros nas copaibeiras com 50 anos e 100 anos. Esec Jari, Almeirim – PA, Amazônia oriental

Ambiente	n	DAP $\geq 10$ cm	DAP $\geq 50$ cm
		Idade (mín - máx)	Idade (mín - máx)
Estradas	15	20 – 40 anos	94 – 139 anos
Floresta densa	10	22 – 33 anos	69 – 114 anos

#### EVENTOS DE SUPRESSÃO E LIBERAÇÃO DE CRESCIMENTO MARCADAS NOS ANÉIS ANUAIS DE CRESCIMENTO DAS COPAIBEIRAS

A dinâmica de crescimento relacionada ao incremento diamétrico, a idade em que a copaibeira atingiu DAP mínimo de 10 cm e eventos de supressão e liberação de crescimento, são apresentados na Figura 4. Tomamos como exemplos uma copaibeira (C1) com crescimento direto, ou seja, que não apresentou eventos de supressão ou liberação de crescimento. Uma copaibeira (C7), que apresentou um evento de liberação e nenhum de supressão e uma copaibeira (C25) que apresentou um evento de supressão e um evento de liberação. A copaibeira C1 não apresentou nenhum evento bem definido de supressão/liberação, mantendo um crescimento quase linear ao longo do tempo. A copaibeira C25 apresentou evento de liberação próximo aos 100 anos, em que o diâmetro cresceu acima da média por quase 14 anos. Na Tabela 5 são apresentados os dados referentes aos eventos de supressão e liberação de crescimento diamétrico entre os grupos estudados.



**Figura 4.** Incremento médio anual das copaibeiras com marcação dos efeitos de supressão e liberação do crescimento diamétrico na Esec Jari, Almeirim – PA, Amazônia oriental. Em: a – C1 apresentou crescimento direto; b – C7 apresentou um evento de liberação de crescimento diamétrico; c C25 apresentou eventos de liberação e supressão. Linha vertical segmentada mostra o momento em que a árvore ingressa na classe de 10 cm. Retângulo cinza indica supressão e seta indica liberação de crescimento

**Tabela 5.** Comparação dos eventos de supressão e liberação de crescimento diamétrico entre os grupos de copaibeiras na Esec Jari, Almeirim – PA, Amazônia oriental

	Área próxima de estrada (15)	Floresta densa (10)
Crescimento direto (%)	80.00	80.00

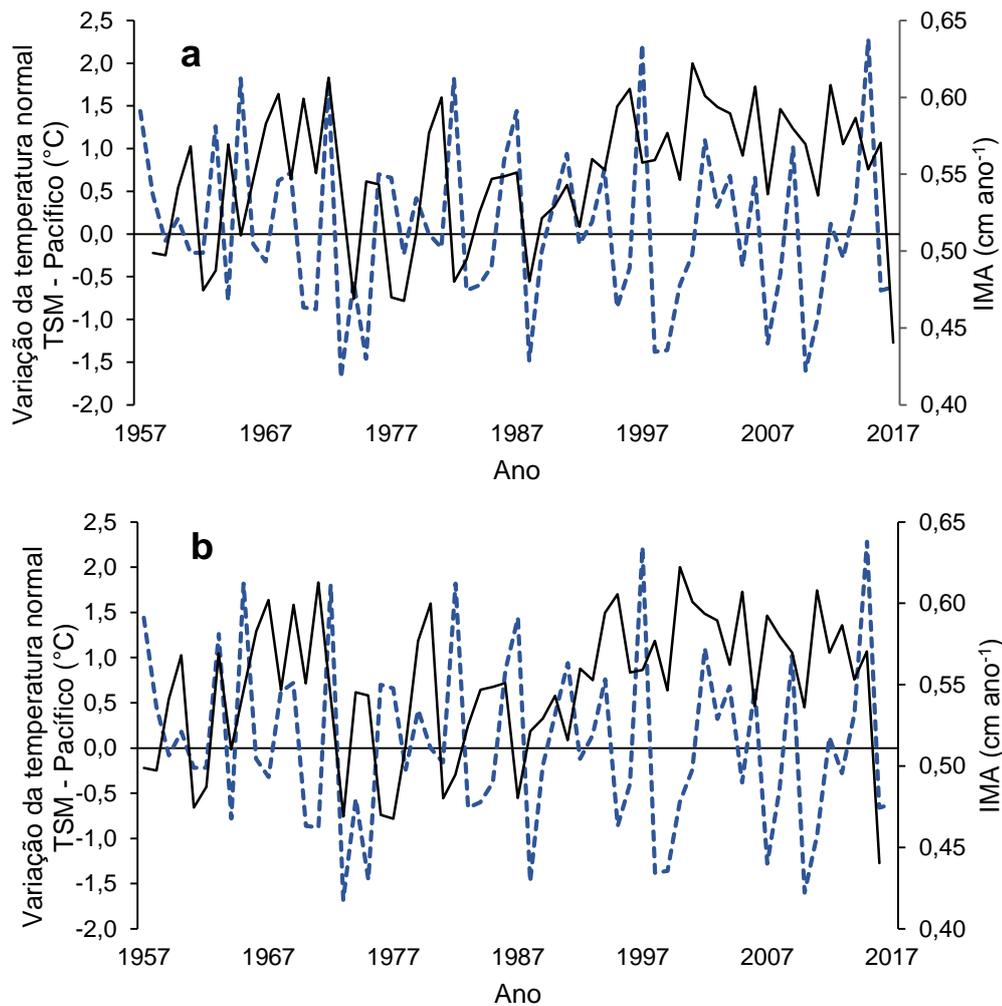
Uma liberação (%)	0.00	20.00
Uma supressão (%)	0.00	0
Uma liberação e uma supressão (%)	20.00	0
Múltiplas liberações (%)	0	0
Múltiplas supressões (%)	0	0
Média extensão da liberação (anos)	5	8
Média da extensão da supressão (anos)	12	0

Os eventos de supressão estenderam-se por mais tempo do que os de liberação de crescimento. Entre as copaibeiras da floresta densa, não houve evento de supressão.

#### ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS CLIMATOLÓGICAS – VARIAÇÃO DA TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO – COM A VARIÁVEL INCREMENTO DIAMÉTRICO – LARGURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO – DAS COPAIBEIRAS

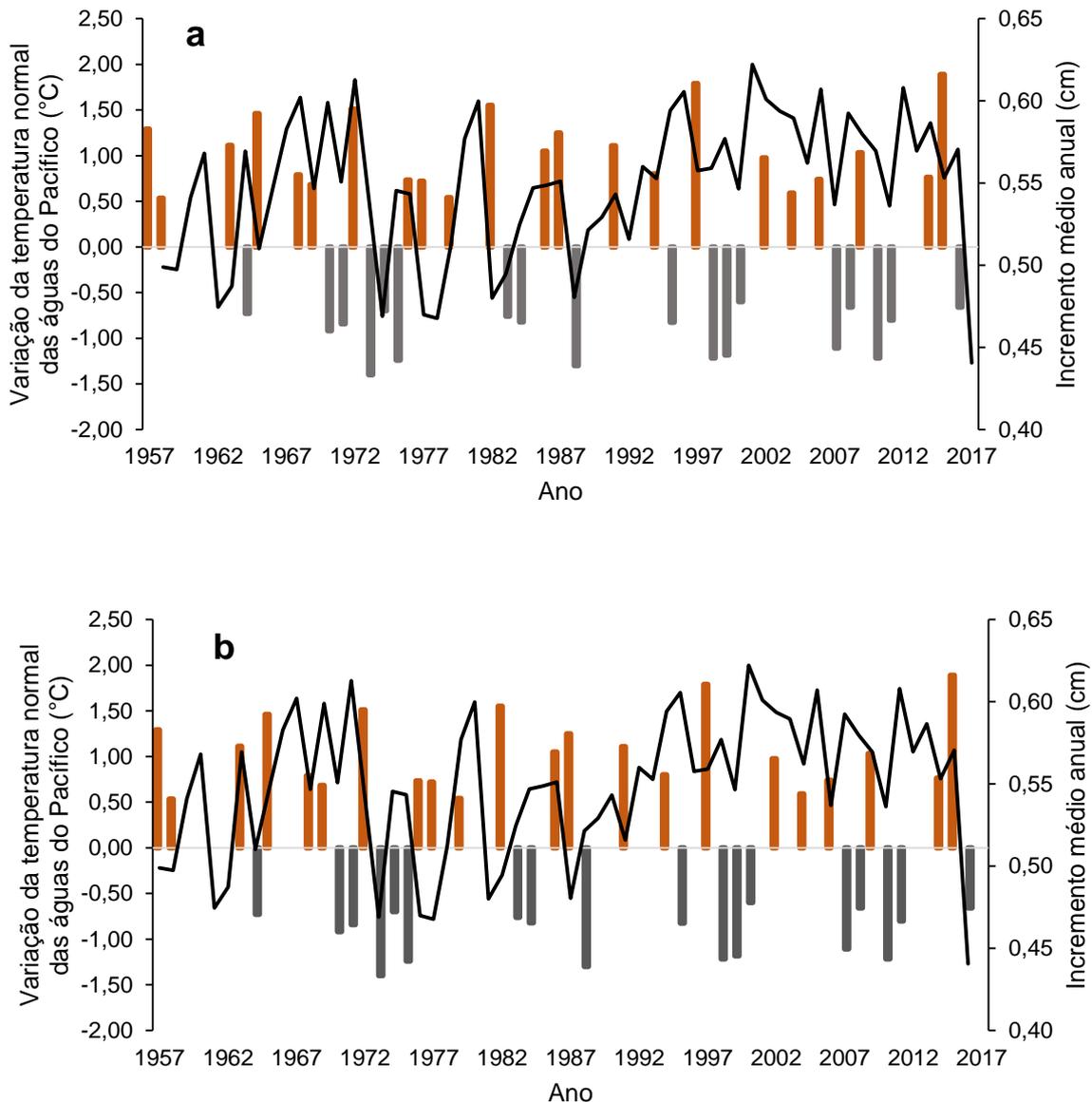
Os efeitos da variação de temperatura das águas do oceano Pacífico no crescimento diamétrico da população de copaibeiras, podem ser observados nos gráficos da Figura 5. Neles estão representadas a média dos incrementos em cada ano e as anomalias na variação da temperatura normal das águas superficiais do Pacífico, no ano corrente e no ano seguinte aos eventos climáticos.

Os dados comparam os últimos 60 anos (1957 – 2017) entre as variáveis. Observa-se que os efeitos da variação da temperatura normal têm uma relação com o incremento em diâmetro nas copaibeiras. Nota-se a correlação negativa entre essas variáveis, quando a temperatura apresenta aumento acima de 0,5°C da normal esperada das águas do oceano Pacífico. Por outro lado, o incremento diamétrico tende a aumentar quando a temperatura se mantém dentro da normal ou abaixo de -0,5°C. Esses efeitos podem ser observados no ano corrente e dependendo da intensidade do evento climatológico, podem ser notados até nos dois anos seguintes.



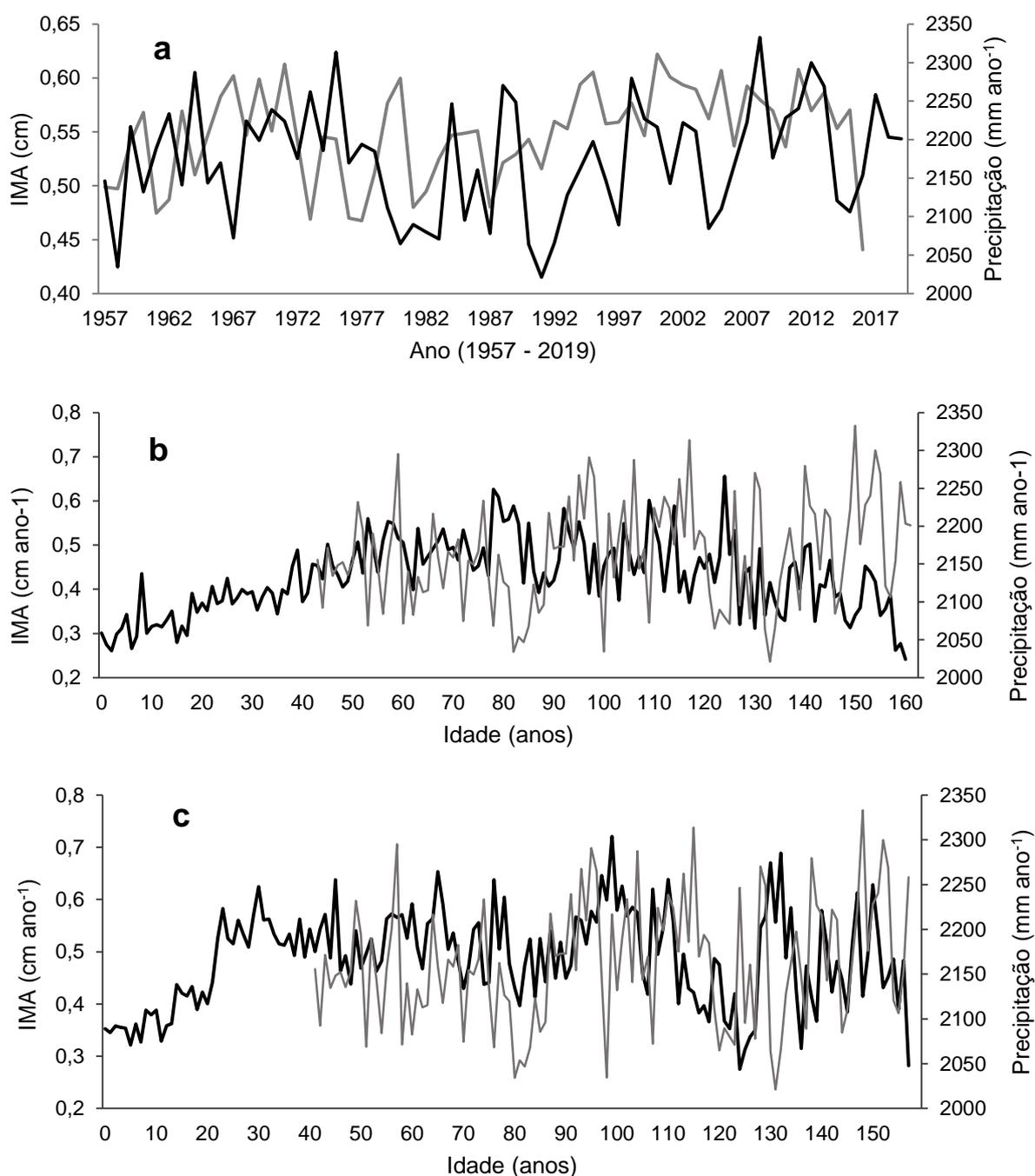
**Figura 5.** Relação da variação da temperatura das águas do oceano Pacífico com o incremento médio anual em diâmetro das copaibeiras na Esec do Jari, Almeirim – PA. Linha contínua representa o incremento médio anual linha tracejada representa a variação média anual de temperatura normal das águas do Pacífico

Os efeitos dos eventos El Niño – Oscilação Sul (ENOS) são observados nos gráficos da Figura 6. Neles são apresentadas as simulações do incremento médio anual comparado ao ano corrente (a) e com delay de um ano dos eventos (b). Os efeitos das variações de temperatura e de precipitações podem aparecer, tardiamente na floresta. Os efeitos do El Niño têm relação fortemente negativa com a precipitação, enquanto os efeitos da anomalia La Niña têm correlação fortemente positiva.



**Figura 6.** Relação entre o incremento diamétrico das copaibeiras (linha contínua) e a média da variação de temperatura nos anos com anomalias: El Niño (colunas laranjas) e La Niña (colunas cinzas). Esec do Jari, Almeirim - PA. Em: a – comparação no ano corrente do evento climático; e b – comparação um ano após o evento climático

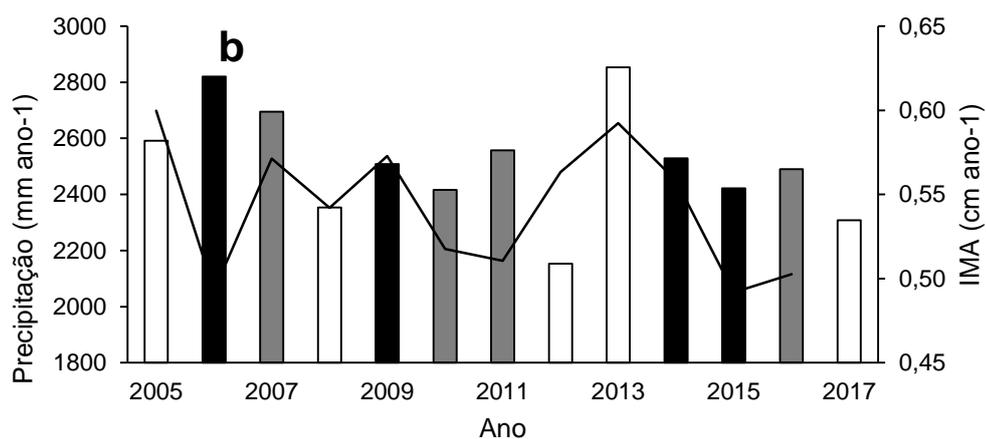
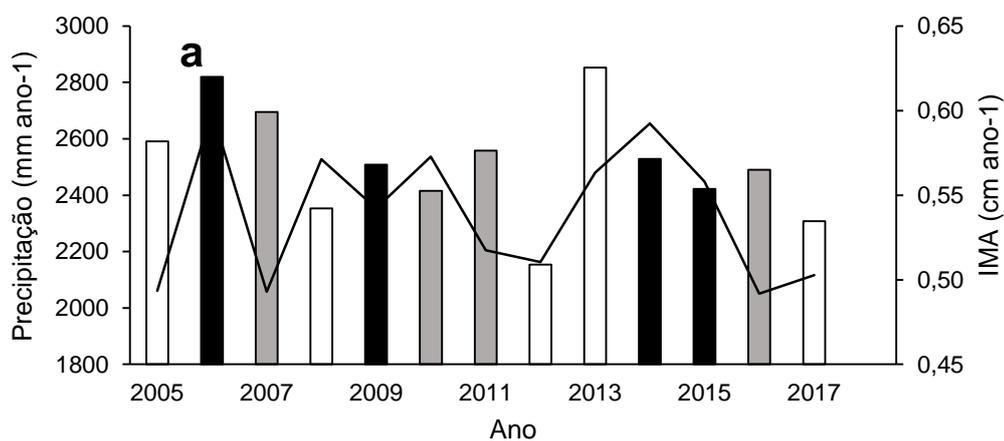
Não fica muito evidente como a população responde aos efeitos da precipitação, quando avaliados com ambos os grupos de copaibeiras (Figura 7). No entanto, quando os grupos são separados pelos locais de ocorrência, nota-se o efeito de borda associado aos níveis de precipitação. Nota-se que onde houve distúrbio na vegetação próximo às copaibeiras, houve também eventos de supressão do incremento quando a precipitação foi baixa.

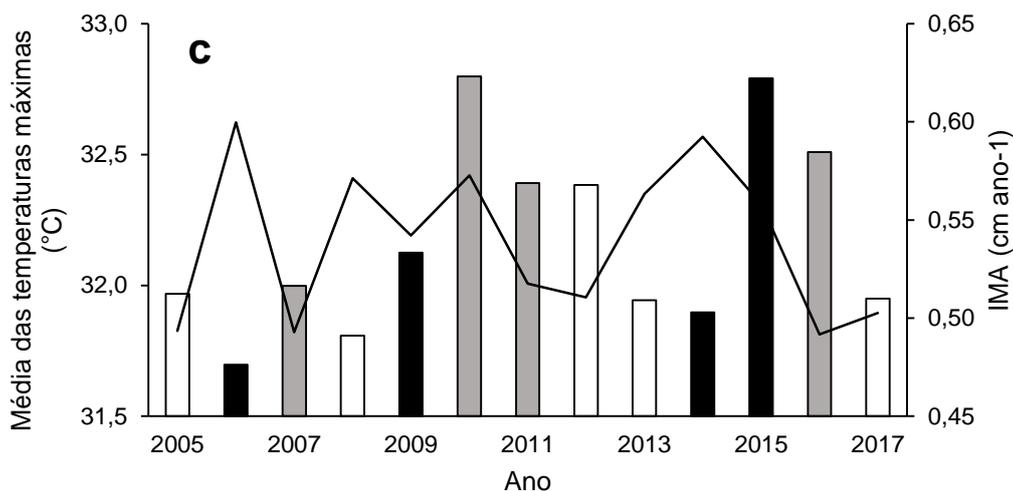


**Figura 7.** Relação entre a precipitação e o IMA (incremento médio anual) das copaibeiras na Esec Jari, Almeirim – PA, Amazônia oriental, Em a – comparação entre a precipitação anual e o IMA de todas as copaibeiras; b – IMA das copaibeiras que estão sob o efeito de algum distúrbio na vegetação comparado com a precipitação anual; e c – IMA das copaibeiras que estão na floresta mais densa comparados com

a precipitação anual. Linha preta representa o IMA e linha cinza é o índice de precipitação

Utilizando dados locais apenas de 2005 a 2017, podemos observar a associação negativa da temperatura máxima com o crescimento em diâmetro das copaibeiras na Esec Jari. Foi observado que é necessário um ano para que as copaibeiras reajam aos eventos, de forma negativa quando a média da temperatura máxima é acima de  $32,3^{\circ}\text{C}$  e de forma positiva quando a média das temperaturas máximas fica abaixo desse valor (Figura 8). Já os efeitos da precipitação ficaram evidentes no mesmo ano em que os eventos ocorrem. Por outro lado, observa-se que nos anos com evento El Niño mais intenso, os efeitos no crescimento diamétrico são observados no ano seguinte. No geral as precipitações altas favorecem o crescimento diamétrico.





**Figura 8.** Relação da precipitação anual com o incremento médio anual em diâmetro. Em: a – Ano corrente; b – delay de um ano; e c – relação da média das temperaturas máximas em cada ano com o incremento médio anual em diâmetro. Barra preta indica ano de El Niño, barra cinza indica ano de La Niña e barra branca indica ano neutro para eventos ENOS

## DISCUSSÃO

No presente trabalho foram encontrados valores muito próximos de incremento diamétrico médio para as amostras estudadas, de  $4,9 \text{ mm ano}^{-1}$  e  $4,3 \text{ mm ano}^{-1}$ , para indivíduos na floresta densa e próximos da estrada ou ramal, respectivamente. Em florestas nativas ou plantadas, o local onde a vegetação se estabelece, influencia de forma direta no desenvolvimento da população. A esse fator chamamos de índice de sítio. Algumas espécies apresentam crescimento diamétrico muito variado, dependendo do ambiente, com incremento médio diamétrico acima de  $5,0 \text{ mm ano}^{-1}$ , como foi observado em diferentes locais na Amazônia, com variação entre  $1,9 - 7,0 \text{ mm ano}^{-1}$  e na mata Atlântica  $3,2 - 5,6 \text{ mm ano}^{-1}$  (Rosa et al. 2016).

Ao comparar a variação entre as idades mínimas e máximas para que as copaibeiras ingressassem na classe com  $\text{DAP} \geq 10 \text{ cm}$ , observou-se que a variação dentro do grupo onde as copaibeiras estão próximas à estrada foi maior. Isso evidencia que o gradiente de luminosidade, umidade e densidade atua

sobre o desenvolvimento das copaibeiras. Essa diferença discrepante de idade para ingressar na classe diamétrica ( $DAP \geq 10$  cm) também foi observada nas castanheiras *Bertholletia excelsa*, em que foi constatado que as castanheiras tinham entre 13 e 50 anos (Schöngart et al. 2015).

O crescimento diamétrico de espécies secundárias ou de final de sucessão, ocorre de forma mais lenta, pois o dossel fechado dificulta a entrada de radiação nos níveis abaixo das copas. Assim as plantas precisam investir mais energia em crescimento primário, ou em altura, objetivando alcançar o dossel, onde a radiação com potencial fotossintético é mais favorável. Após alcançar luminosidade favorável as árvores passam a investir energia em biomassa de copa para aumentar a superfície fotossintética e em crescimento diamétrico e lignificação de madeira para sustentar o peso da copa.

O conceito de árvore adulta, nos inventários florestais, está atrelado ao seu crescimento diamétrico e não a sua idade ou fases ontogênicas. Podemos perceber por esse trabalho, que a idade varia muito entre as árvores até que atinjam 10 cm de diâmetro. Outros trabalhos com espécies florestais nativas, também descrevem como a idade varia em função do diâmetro, apresentando diferença de décadas para a mesma medida de diâmetro (Brienen et al. 2010, Schöngart et al. 2015). Espécies como *Hymenaea coubaril* e *Handroanthus serratifolius* também apresentaram diferença de idade na passagem entre as classes de 10 cm de diâmetro (Andrade et al. 2019)

Os eventos de supressão e liberação de crescimento, apresentaram-se de forma individual, de acordo com a história de vida de cada árvore e não como evento generalizado para a população de um mesmo local. Os fatores que influenciam na supressão podem estar relacionados ao sítio, ao processo de germinação e sobrevivência nos primeiros anos. Além disso a competição interespecífica por luz, água e nutrientes nas fases jovem e adulta, podem acarretar supressão de crescimento.

Os gráficos da Figura 3 mostram claramente como ocorre o crescimento em copaibeiras com nenhum evento de supressão ou liberação de crescimento. O crescimento para essas árvores ocorre quase que linearmente, enquanto em árvores com eventos de supressão ou liberação, apresentam pulsos com amplitudes bem marcadas. Assim, para entender como determinada espécie se desenvolve ao longo do tempo é necessário analisar o indivíduo como parte de

um sistema complexo moldado por vários fatores ambientais, bióticos intrínsecos da própria árvore como os fatores genéticos e abióticos, como a fertilidade do solo, os eventos climáticos e seus efeitos, a dinâmica da comunidade florestal, como os efeitos de borda em estradas de origem antrópica.

Fica nítida a influência dos efeitos de borda no crescimento diamétrico das copaibeiras. As médias de incremento médio anual variaram muito mais entre as árvores que estão até 100 metros de uma clareira ou do leito de uma estrada do que as mais distantes que 100 metros. No entanto, este estudo não avaliou, quantitativamente a influência dos fatores: umidade, luminosidade ou radiação e da densidade de indivíduos ao longo dos respectivos gradientes, seguindo como sugestão para futuros trabalhos.

No modelo de Schöngart (2007), os resíduos foram os menos discrepantes com relação à curva média e o coeficiente de determinação foi o mais alto, além disso o AIC foi um dos menores. Esse modelo tem sido bastante difundido nos últimos anos nos estudos de crescimento diamétrico de espécies tropicais (Schöngart et al. 2007, 2015, Miranda et al. 2017, Andrade et al. 2019). O segundo melhor modelo ajustado aos dados foi o de Von-Bertalanffy. Esse modelo é muito utilizado na silvicultura devido à origem teórica e versatilidade. O mesmo modelo foi utilizado para ajustar os dados de crescimento diamétrico de *Prioria copaifera* e apresentou coeficiente de determinação satisfatório para essa espécie estudada (Giraldo Jiménez and Arango 2011), com valor acima de 0,90 assim como nossos resultados com *C. reticulata*.

Os eventos meteorológicos de variação da temperatura acima ou abaixo das médias normais esperadas, influenciadas pelos fenômenos El Niño e La Niña, explicam apenas parte do crescimento diamétrico. Houve tendência de resposta negativa do crescimento quando foram anos de El Niño, porém com um delay de um a dois anos, como mostrado nos resultados. Quando foram anos de La Niña, houve resposta positiva, mas também observada um ou dois anos depois.

Não parece ser o aumento ou a diminuição da temperatura média na região Amazônica que limita o crescimento, visto que é uma variável de amplitude curta ao longo do ano. No entanto, com as mudanças climáticas, as temperaturas máximas estão aumentando e isso pode ter vários efeitos negativos, como desnaturação de proteínas, na ecofisiologia das árvores.

Trabalhos recentes comprovaram relações negativas significativas da temperatura máxima com a biodiversidade arbórea amazônica (Zhao et al. 2017, Sullivan et al. 2020). Em regiões sub tropicais, onde as estações são bem definidas, com inverno bem marcado por baixas temperaturas, esta variável é o principal fator limitante no crescimento diamétrico, como foi observado na espécie *Cedrela fissilis* em Floresta Ombrófila Mista (Marcon et al. 2019).

Na região amazônica, a precipitação é um fator com variação muito alta ao longo do ano. Os dados de precipitação da estação de Macapá registram valores mínimos de 0 - 130 mm, que podem ocorrer em um dos meses mais secos (setembro – novembro) e valores máximos de 207 - 585 mm que podem ocorrer nos meses mais chuvosos (fevereiro – maio). Essas informações corroboram com os resultados encontrados por Ronchail et al. (2002), os autores encontraram valores significativos para anomalias correlacionadas negativamente na região nordeste da Amazônia. Logo, a precipitação é um fator que pode limitar o crescimento diamétrico das árvores nos meses mais secos na região amazônica, principalmente nos anos sob influência de El Niño.

A correlação do crescimento diamétrico com a precipitação é o objeto de muitos estudos com espécies nativas, visando o manejo e a conservação. Os resultados de muitos trabalhos em florestas tropicais mostram correlação positiva entre essas variáveis. Trabalhos com as espécies como *Bertholletia excelsa* (Schöngart et al. 2015), *Cedrela fissilis* e *Cedrela odorata* (Granato et al. 2018), *Manilkara huberi*, *Caryocar villosum*, *Cariniana micranta* (Worbes and Schöngart 2019). A formação de anéis de crescimento é impulsionada por pequenas variações na precipitação, nas florestas tropicais (Worbes and Schöngart 2019).

O microclima modelado pela umidade na floresta amazônica parece favorecer o crescimento em diâmetro pela disponibilidade de nutrientes minerais dissolvidos na água na maior parte do ano (dezembro – agosto). Por outro lado, quando a água evapora ou evapotranspira com maior velocidade (setembro – novembro), há nutrientes no solo, porém não estão disponíveis enquanto não haja um veículo que os transporte pelas raízes, que nesse caso é a água. A biomassa acumulada, formando a serapilheira na superfície do solo detém grande parte de nutrientes que são disponibilizados aos poucos à medida que a biomassa degrada e a matéria orgânica é incorporada ao solo da floresta. Os

principais nutrientes estão concentrados nas folhas que compõem a serapilheira (Vitousek and Sonford 2007), mas a ciclagem desses nutrientes depende da umidade na floresta e no solo.

A correlação entre a precipitação e o incremento dos anéis anuais de crescimento foram apresentadas na Figura 8. Essa correlação positiva entre a precipitação e o crescimento diamétrico, também foi observada em vários estudos em florestas tropicais. *Cedrela* sp. respondeu positivamente à essa variável ambiental nas florestas da bacia do rio Paru e na Bolívia, onde a estação chuvosa dura mais meses do que a estação seca (Brienen et al. 2010, Granato et al. 2018). Em comparação com as florestas no México, onde a estação mais seca perdura por seis meses, a correlação com a precipitação foi menor (Brienen et al. 2010).

Nossos resultados comparando a temperatura com o crescimento diamétrico estão de acordo com outros trabalhos com espécies tropicais. Como já foi mencionado anteriormente, a *C. reticulata* é uma espécie de copa emergente no dossel da floresta. Esta informação se torna importante porque uma vez alcançado o dossel o sombreamento deixa de ser um fator limitante para o crescimento diamétrico e a variação na radiação pouco terá efeito em uma região onde o fotoperíodo quase não se altera durante o ano. A exposição da copa da árvore à luminosidade favorece o crescimento diamétrico (Brienen et al. 2010)

## CONCLUSÕES

*Copaifera reticulata* apresentou padrões de crescimento distintos entre os ambientes onde estão estabelecidas. O padrão foi muito semelhante de crescimento até próximo de 50 anos, mas após esse período, algumas árvores continuam em crescimento ascendente mais acentuado, e outras com taxas menores de incremento. As copaibeiras próximas de estradas apresentam crescimento mais heterogêneo quando comparadas àquelas mais distantes, da floresta com dossel mais adensado.

Os modelos de Schöngart (2007) e Von-Bertalanffy são os mais recomendados para ajustar a curva média de crescimento diamétrico para *C.*

*reticulata*. Copaibeiras com 50 cm de diâmetro, podem ter idade variando entre 69 e 139 anos.

As copaibeiras apresentam como respostas aos estímulos ambientais, eventos de supressão ou de liberação de crescimento diamétrico. Mas, são eventos pontuais e não generalizados, provavelmente, mais relacionados ao regime de precipitação pluviométrica.

## REFERÊNCIAS

- Andrade, V. H. F., S. do A. Machado, A. F. Filho, P. C. Botosso, B. P. Miranda, and J. Schöngart. 2019. Forest Ecology and Management Growth models for two commercial tree species in upland forests of the Southern Brazilian Amazon. *Forest Ecology and Management* 438:215–223.
- Bardají, D. K. R., J. J. M. da Silva, T. C. Bianchi, D. de Souza Eugênio, P. F. de Oliveira, L. F. Leandro, H. L. G. Rogez, R. C. S. Venezianni, S. R. Ambrosio, D. C. Tavares, J. K. Bastos, and C. H. G. Martins. 2016. Copaifera reticulata oleoresin: Chemical characterization and antibacterial properties against oral pathogens. *Anaerobe* 40:18–27.
- Brienen, R. J. W., P. A. Zuidema, and M. Martínez-ramos. 2010. Attaining the canopy in dry and moist tropical forests: strong differences in tree growth trajectories reflect variation in growing conditions. *Oecologia*:485–496.
- Castro Ghizoni, C. V., A. P. Arssufi Ames, O. A. Lameira, C. A. Bersani Amado, A. B. Sá Nakanishi, L. Bracht, M. R. Marçal Natali, R. M. Peralta, A. Bracht, and J. F. Comar. 2017. Anti-Inflammatory and Antioxidant Actions of Copaiba Oil Are Related to Liver Cell Modifications in Arthritic Rats. *Journal of Cellular Biochemistry* 118.
- Coelho, C. A. S., I. A. F. Cavalcanti, S. M. S. Costa, S. R. Freitas, E. R. Ito, G. Luz, A. F. Santos, C. A. Nobre, A. Marengo, and A. B. Pezza. 2012. Climate diagnostics of three major drought events in the Amazon and illustrations of their seasonal precipitation predictions. *Meteorological Applications* 19:237–255.
- Fritts, H. C. 1976. *Dendrochronology and Dendroclimatology*. Pages 1–54 *The Rings and Climates*. London: Academic Press, Londres.
- Giraldo Jiménez, J. A., and J. I. del V. Arango. 2011. Estudio del crecimiento de *Prioria copaifera* (Caesalpinaceae) mediante técnicas dendrocronológicas. *Revista Biología Tropical* 59:1813–1831.
- Granato, D., S. David, W. S. Ana, C. Barbosa, S. Feng, M. C. A. Torbenson, G. De Assis, P. Jochen, S. Joao, P. Barbosa, and D. Griffin. 2018. Tree rings and rainfall in the equatorial Amazon. *Climate Dynamics* 0:0.
- Holmes, R. L. 1983. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurements.

- Limberger, L., and M. E. S. Silva. 1997. Precipitação na bacia amazônica e sua associação à variabilidade da temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico: uma revisão. *GEOUSP: Espaço e Tempo* (Online) 20:657–675.
- Marcon, A. K., T. Longhi-Santos, F. Galvão, K. G. Martins, P. C. Botosso, and C. T. Blum. 2019. Climatic response of *Cedrela fissilis* radial growth in the ombrophilous mixed forest, Parana, Brazil. *Floresta e Ambiente* 26.
- Medeiros, R. da S. 2016. Estudo da anatomia do lenho e dendrocronologia de árvores de *Copaifera multijuga* Hayne na Amazônia brasileira e sua relação com o manejo e extração de oleorresina. Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- Miranda, Z. P., M. C. Guedes, S. A. Rosa, and J. Schöngart. 2017. Volume increment modeling and subsidies for the management of the tree *Mora paraensis* ( Ducke ) Ducke based on the study of growth rings. *Trees* 0:0.
- Nowacki, G. J., and M. D. Abrams. 1997. Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presentment-origin oaks. *Ecological Monographs* 67:225–249.
- Oliveira, J. M. 2007. Anéis De Crescimento De *Araucaria Angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze: Bases De Dendroecologia Em Ecossistemas Subtropicais Montanos No Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Pfeifer Barbosa, A. L., A. Wenzel-Storjohann, J. D. Barbosa, C. Zidorn, C. Peifer, D. Tasdemir, and S. S. Çiçek. 2019. Antimicrobial and cytotoxic effects of the *Copaifera reticulata* oleoresin and its main diterpene acids. *Journal of Ethnopharmacology* 233:94–100.
- Rigamonte-Azevedo, O. C., P. G. S. Wadt, and L. H. O. Wadt. 2004. Copaíba : Ecologia e Produção de Óleo-Resina.
- Rigamonte-Azevedo, O. C., P. G. S. Wadt, and L. H. O. Wadt. 2006. Potencial de produção de óleo-resina de copaíba (*Copaifera* spp ) de populações naturais do Sudoeste da Amazônia. *R. Árvore* 30:583–591.
- Ronchail, J., G. Cochonneau, M. Molinier, J.-L. Guyot, A. G. de M. Chaves, V. Guimarães, and E. Oliveira. 2002. Interannual rainfall variability in the Amazon Basin and sea-surface temperatures in the Equatorial Pacific and the Tropical Atlantic oceans. *International Journal of Climatology* 22:1663–1686.
- Rosa, S. A., A. C. M. C. Barbosa, W. J. Junk, C. Nunes-da-Cunha, M. T. F. Piedade, A. B. Scabin, G. C. T. Ceccantin, and J. Schöngart. 2016. Growth models based on tree-ring data for the Neotropical tree species *Calophyllum brasiliense* across different Brazilian wetlands: implications for conservation and management. *Trees*.
- Schöngart, J., R. Gribel, S. F. Fonseca-Junior, and T. Haugaasen. 2015. Age and Growth Patterns of Brazil Nut Trees ( *Bertholletia excelsa* Bonpl .) in Amazonia , Brazil. *Biotropica* 47:550–558.

- Schöngart, J., F. Wittman, M. Worbes, M. T. F. Piedade, H.-J. Krambeck, and W. J. Junk. 2007. Original article Management *criteria for Ficus insipida* Willd . ( Moraceae ) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. *Annals of Forest Science* 64:657–664.
- Senedese, J. M., F. Rinaldi-Neto, R. A. Furtado, H. D. Nicollela, L. D. R. de Souza, A. B. Ribeiro, L. S. Ferreira, G. M. Magalhães, I. Z. Carlos, J. J. M. da Silva, D. C. Tavares, and J. Kenupp Bastos. 2019. Chemopreventive role of *Copaifera reticulata* Ducke oleoresin in colon carcinogenesis. *Biomedicine and Pharmacotherapy* 111:331–337.
- Sullivan, M. J. P., S. L. Lewis, K. Affum-Baffoe, C. Castilho, and F. Costa. 2020. Long-term thermal sensitivity of Earth's tropical forests. *Science Tropical Forest* 368:1–6.
- Teixeira, F. B., R. de B. Silva, O. A. Lameira, L. P. Webber, R. S. D. A. Couto, M. D. Martins, and R. R. Lima. 2017. Copaiba oil-resin (*Copaifera reticulata* Ducke) modulates the inflammation in a model of injury to rats' tongues. *BMC Complementary and Alternative Medicine* 17.
- Vitousek, P. M., and J. R. L. Sonford. 2007. Nutrient Cycling Moist Tropical Forest. *Annual Review of Ecology and Systematics* 17:137–167.
- Wadt, L. H. D. O. 2008. Manejo Sustentável de Produtos Florestais Não-madeireiros na Amazônia. Page Seminário do Projeto Kamukaia.
- Worbes, M., and J. Scho. 2019. Measures for sustainable forest management in the tropics – A tree-ring based case study on tree growth and forest dynamics in a Central Amazonian lowland moist forest.
- Yanez-Inzunza, O. de L. N. 1992. Anatomia da madeira de nove espécies do gênero *Copaifera* (Leguminosae - Caesalpinioideae). Universidade Federal do Paraná.
- Zeng, N. 1999. Seasonal cycle and interannual variability in the Amazon hydrologic cycle. *Journal fo Geophysical Research* 104:9097–9106.
- Zhao, W., X. Zhao, T. Zhou, D. Wu, and B. Tang. 2017. Climatic factors driving vegetation declines in the 2005 and 2010 Amazon droughts. *Plos one*:1–19.