**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

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

Raquel da Silva Medeiros

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Programa: Recursos Florestais. Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

**Piracicaba
2016**

Raquel da Silva Medeiros
Engenheira florestal

**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**
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **MÁRIO TOMMASIELLO FILHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Programa: Recursos Florestais. Opção em:
Silvicultura e Manejo Florestal

Piracicaba
2016

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - DIBD/ESALQ/USP**

Medeiros, Raquel da Silva

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 / Raquel da Silva Medeiros. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2016.
189 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Copaíba 2. Oleorresina 3. Anéis de crescimento 4. Densitometria de raios X
5. Produto florestal não madeireiro I. Título

CDD 634.97323
M488e

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

*Pelos ensinios, que trazem Amor ao Coração, Paz de
Espírito e Luz na Consciência...*

Dedico

*Ao Mestre dos Mestres,
Caiano, que de Deus tem
Guarnição.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a DEUS pela sabedoria de poder lidar com as dificuldades da vida, pela capacidade e coragem de superar obstáculos e pela oportunidade de me transformar a cada dia numa pessoa melhor, dentro do símbolo da Luz, da Paz e do Amor.

À minha família pelo amor, compreensão, incentivo e oportunidade que me deram de crescer, em especial à minha mãe Raimunda da Silva Medeiros.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Mário Tommasiello Filho, pela oportunidade de crescimento profissional, pelos conhecimentos passados, paciência e amizade.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia pelo suporte à pesquisa realizada, e por ter me liberado de minhas funções para a obtenção do Doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas, pelo financiamento da pesquisa e pela bolsa concedida.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP pela oportunidade.

Aos técnicos do LAIM, Maria Bermudez e Aparecido Siqueira pela amizade, atenção, carinho e auxílio, e sem os quais este trabalho não teria acontecido.

À Angel Ferreira, Matheus Chagas, Luciana Souza e Danilo Almeida pelo auxílio e contribuições à pesquisa realizada, e aos demais amigos do LAIM: Alisson Rangel, Alceu, Alejandro Venegas, Cláudio Anholetto, Gillis Chaix, Ivanka Oliveira, José Peña, Luiz Santini, Mariana Pires, Nayara Marcon, Roger Legoas, Priscila Gerotto, Samara Franzol e Tassio Trevizor pela amizade e convivência harmoniosa durante estes quatro anos de Doutorado.

À Giovana Oliveira, pelos esclarecimentos, paciência, carinho e por estar sempre disponível em auxiliar.

Ao Dr. Fidel Roig pelo auxílio, contribuições e amizade.

Ao Dr. Gil Vieira pelas contribuições, apoio, incentivo e amizade.

Ao Dr. Valdir Florêncio da Veiga Junior, pelo auxílio, incentivo, amizade, e pela paciência.

Ao Dr. Jochen Shongart por disponibilizar seus alunos para me acompanharem nas coletas de campo e por disponibilizar acervo de artigos científicos referentes ao tema.

À equipe do Laboratório de Química e Produtos Naturais da Universidade Federal do Amazonas, pelo auxílio nas análises químicas do oleorresina.

Ao parobotânico José Edmilson da Costa Souza, que foi fundamental durante todas as atividades de campo realizadas, o qual vem me acompanhando há alguns anos em minhas expedições a campo. Obrigada pelo auxílio, atenção, amizade e respeito.

Ao técnico do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Sr. Lourival Quintiliano Reis, pelo auxílio em campo e conhecimentos tradicionais passados.

Aos amigos que me auxiliaram em campo, em especial aos “brutos” – Priscila Castro de Barros, Galileu Pires e Cyro Assahira; à Caroline Issac Ferreira e Ordilena Miranda, obrigada acima de tudo pela amizade.

À Thais Almeida Lima, pela amizade, apoio e suporte durante minha estadia em Manaus, na coleta de dados.

Aos que estão perto e aos que estão longe, agradeço aos amigos pelo carinho, amizade, incentivo e pelas vibrações positivas emanadas; em especial aos amigos de Piracicaba/Estrela Encantadora por terem sido a base que me sustentou durante esta jornada.

A todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização e sucesso deste trabalho.

Muito Grata!

“O mais importante da vida não é a situação em que estamos, mas a direção para a qual nos movemos”.

Oliver Wendell Holmes

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	15
LISTA DE FIGURAS	17
LISTA DE TABELAS	25
1 INTRODUÇÃO.....	27
2 HIPÓTESES E OBJETIVOS	31
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	31
3.1 O gênero <i>Copaifera</i> L.....	33
3.2 A espécie <i>Copaifera multijuga</i> Hayne	34
3.3 O óleo de copaíba	39
3.4 Manejo do oleorresina de copaíba.....	42
3.4.1 Breve histórico do processo de extração do oleorresina de copaíba.....	42
3.4.2 Sistema de produção (síntese) do oleorresina de copaíba.....	42
3.4.3 Variabilidade de produção do oleorresina de copaíba	46
3.4.4 Fatores que podem influenciar na produção do oleorresina de copaíba	47
3.4.5 Definição dos ciclos de produção de oleorresina de copaíba.....	50
3.5 Dendrocronologia.....	51
3.5.1 Definição	51
3.5.2 Métodos utilizados para estimar a idade das árvores	51
3.5.3 Densitometria de raios X.....	52
3.5.4 Contagem dos anéis de crescimento no lenho do tronco das árvores	54
3.5.5 Formação dos anéis de crescimento no lenho do tronco das árvores.....	55
3.5.6 Formação de anéis de crescimento no lenho do tronco de árvores de espécies tropicais.....	56
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	59

4.1	Caracterização das áreas de estudo	59
4.2	Seleção das árvores para o estudo.....	62
4.2.1	Seleção das árvores de <i>C. multijuga</i> em área de plantação	62
4.2.2	Seleção das árvores de <i>C. multijuga</i> em área de população natural	63
4.3	Extração de oleorresina.....	64
4.3.1	Extração de oleorresina em árvores de <i>C. multijuga</i> de plantação	64
4.3.2	Extração de oleorresina em árvores de <i>C. multijuga</i> de população natural.....	65
4.4	Monitoramento da produção de oleorresina em áreas de população natural	67
4.5	Caracterização das propriedades físico-químicas do oleorresina	70
4.6	Análise da composição química do oleorresina por cromatografia	71
4.7	Coleta de amostras do lenho do tronco das árvores de <i>C. multijuga</i>	72
4.8	Caracterização da estrutura anatômica do lenho e dos anéis de crescimento	74
4.8.1	Caracterização anatômica macroscópica do lenho	74
4.8.2	Caracterização anatômica microscópica do lenho	75
4.9	Densitometria de raios X aplicada no estudo do lenho de árvores de <i>C. multijuga</i>	76
4.9.1	Preparo das amostras para análises de densitometrias de raios X	76
4.9.2	Análise densitométrica do lenho de árvores de <i>C. multijuga</i>	77
4.10	Datação dos anéis de crescimento das árvores de <i>C. multijuga</i> : Dendrocronologia.....	78
4.11	Efeito das variáveis climáticas no crescimento das árvores: Dendroclimatologia	81
4.12	Incremento radial do tronco das árvores de <i>C. multijuga</i>	82
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	83
5.1	Potencial de produtividade das árvores de <i>C. multijuga</i> de plantação.....	83
5.2	Avaliação das árvores de <i>C. multijuga</i> 32 anos após a extração do oleorresina.....	86
5.3	Avaliação da Produção de oleorresina de <i>C. multijuga</i> em população natural.....	89
5.3.1	Sustentabilidade da extração do oleorresina de <i>C. multijuga</i> em função do tempo	89
5.3.2	Produção de oleorresina em função da sazonalidade de coletas	95
5.3.3	Relação diâmetro, % de cerne e produção de oleorresina	98

5.3.4 Avaliação da produção de oleorresina em relação à idade das árvores	104
5.3.5 Observações de campo relevantes ao manejo futuro do oleorresina de <i>C. multijuga</i> ...	108
5.4 Propriedades físico-químicas do oleorresina de <i>C. multijuga</i>	109
5.5 Principais constituintes químicos do oleorresina e relações com a idade das árvores e tipo de solo.....	112
5.6 Caracterização da estrutura anatômica da madeira e sua relação com a produção de oleorresina	115
5.6.1 Caracterização macroscópica	115
5.6.2 Caracterização microscópica.....	121
5.7 Análise densitométrica do lenho de <i>C. multijuga</i>	136
5.8 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento do lenho de árvores de <i>C. multijuga</i> de plantação e população natural.....	145
5.9 Efeito das variáveis climáticas no crescimento radial das árvores.....	148
5.10 Incremento radial do lenho do tronco das árvores de <i>C. multijuga</i> de plantação e população natural.....	157
6 CONCLUSÕES	161
REFERENCIAS	165

RESUMO

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

O presente estudo teve por objetivo avaliar a sustentabilidade da extração do oleorresina de *Copaifera multijuga*, incluindo a análise dos fatores que influenciam na sua produção e a estrutura anatômica do lenho e dos anéis de crescimento. Foram selecionadas árvores de *C. multijuga* produtivas e não produtivas, sendo 60 árvores de população natural na Reserva Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil (com 7 e 32 anos de repouso da extração do oleorresina) e 70 árvores de duas plantações na EEST do INPA, Manaus. As árvores da população natural foram monitoradas para a avaliação da produção de oleorresina por um período de 3 anos, considerando as variáveis: DAP do tronco, % do cerne e idade das árvores, tempo e sazonalidade climática. As árvores de *C. multijuga* das plantações foram avaliadas em relação à produção ou não de oleorresina. Do tronco das árvores produtoras e não produtoras de oleorresina das duas áreas de estudo foram coletadas amostras radiais do lenho para a análise da densidade (densitometria de raios X) e da estrutura anatômica do lenho e dos anéis de crescimento. Os anéis de crescimento foram analisados para determinar o efeito da sazonalidade climática e aplicados na determinação da idade das árvores, do incremento radial acumulado e da taxa de crescimento anual do tronco das árvores. Ainda, os anéis de crescimento foram relacionados com as variáveis climáticas de precipitação e temperatura do período. Os resultados indicaram que as árvores de *C. multijuga* produtivas e não produtivas de oleorresina podem gerar descendentes com os dois fenótipos. A produção do oleorresina mostrou maior relação com o diâmetro e % de cerne do tronco das árvores, em comparação com a sua idade, sofrendo influência direta do intervalo de tempo entre coletas, sendo que a época ideal para realizar a extração é durante o período chuvoso. A coloração do oleorresina variou de incolor ao castanho médio, com densidade de $0,92 \text{ g.cm}^{-3}$ e viscosidade de $37,3 \text{ MPa.s}$, sua composição química não apresentou relação com a idade ou tipo de solo, tendo como constituinte majoritário o β -cariofileno. Árvores consideradas produtivas diferem na anatomia do lenho das não produtivas unicamente pelo maior diâmetro dos vasos (produtivas). Todas as árvores de *C. multijuga* são produtoras de oleorresina, porém, nem todas as árvores são produtivas. O oleorresina sintetizado nas células epiteliais dos canais secretores é transportado e armazenado nos vasos do cerne, pelo parênquima radial. O perfil radial da densidade do lenho das árvores de *C. multijuga*, possibilita a demarcação do limite dos anéis de crescimento, indicando um aumento gradativo no sentido medula-casca e densidade aparente média de $0,74 \text{ g/cm}^3$. A análise dendrocronológica comprovou a anuidade da formação dos anéis de crescimento, indicando árvores de *C. multijuga*, de população natural, com 108 anos; o crescimento das árvores parece sofrer maior influência da precipitação que da temperatura. Ainda, a análise dos anéis de crescimento indicou um incremento médio anual do raio do tronco das árvores de *C. multijuga* de população natural e de plantação, de 0,24 e 0,31 cm, respectivamente.

Palavras-chave: Copaíba; Oleorresina; Anéis de crescimento; Densitometria de raios X; Produto florestal não madeireiro

ABSTRACT

Anatomy study of wood and dendrochronology of *Copaifera multijuga* Hayne trees in the Brazilian Amazon and its relation to the management and extraction of oleoresin

The aiming of this study was to evaluate which factors affect the sustainability of the production of oil resin extraction in *Copaifera multijuga* trees such wood anatomical structure and growth rings. Among productive and non-productive trees, it was selected 60 trees from a natural population in the A. Ducke Forest Reserve in Manaus, Amazonas state, Brazil (two distinct groups were chosen 7 and 32 years interval of extractions). For reforested areas 70 trees were chosen in two stands at Tropical Silviculture Station also near Manaus. The oleoresin extraction was monitored during three years in trees of natural populations. It was taken into account DBH, % heartwood, tree ages, time and seasonality. In plantation systems *C. multijuga* trees were evaluated in relation of their production. From the two study-areas, it was collected radial wood samples in producing and non-producing oilresin trees for wood density (X-ray densitometry), as well anatomical structure of xylem and growth rings. The growth rings were analyzed to study the effect of climatic seasonality, to determine tree ages, the accumulated radial increment and annual rates of tree growth. They also were related to precipitation and temperature of the analyzed period. The results showed that both productive and non-productive trees can generate descendent with these two phenotypes. The oil resin production showed stronger relationship with diameter and % trunk heartwood than age. Interval time between extractions affects directly the production and the best period to collect them is in the rainy season. The oleoresin coloring ranged from colorless to medium brown, with a density of $0,92 \text{ g.cm}^{-3}$ and viscosity of $37,3 \text{ MPa.s}$. Its chemical composition was not associated with age or soil type. β -cariofileno was the major constituent. Trees classified as productive differ to non productive in their wood anatomy only by largest vessel diameters shown in productive trees. All *C. multijuga* trees produce oleoresin, however not all of them are productive. The oleoresin synthesized in the epithelial cells of the secretory channels is transported and stored in the vessels of the heartwood by the radial parenchyma. The radial profile of wood density of *C. multijuga* trees allows the demarcation of growth ring limits, indicating a gradual increase in the pith-bark and $0,74 \text{ g.cm}^{-3}$ mean apparent density. Dendrocronological analysis proved that growth rings has been formed annually. It was observed 108 years-old *C. multijuga* trees in natural population. Precipitation has more influence in tree growth than temperature. Finally, growth ring analysis showed that annual growth increment of trunk radius in natural population and plantations were 0,24 and 0,31 cm, respectively.

Keywords: Copaíba tree; Oleoresin; Growth ring-tree; X-ray densimetry; Non-timber forest product

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Mapa de distribuição do gênero *Copaifera* L. na Amazônia Legal Brasileira. *Este mapa foi construído conforme as informações disponíveis na literatura (Anexo A) 33
- Figura 2 – Características morfológicas de *C. multijuga*. (A) árvore adulta com aproximadamente 25 m de altura, evidenciando o fuste em forma de cone; (B) ramo, mostrando o formato dos folíolos; (C) ritidoma com estrias verticais; (D) floração; (E, F) fruto maduro e aberto, mostrando semente com arilo amarelo e (G e H) germinação da semente – plântula (mostrando emergência reta e cotilédones acima do nível do solo) 35
- Figura 3 – Ilustração botânica de *Copaifera multijuga* Hayne, (a) folíolos, (b) inflorescência, (c) flor aberta em detalhes e (d) início de abertura dos botões florais 36
- Figura 4 – Gradiente de cor de amostras de oleorresina de *C. multijuga*. Fonte (MEDEIROS, 2006) 40
- Figura 5 – Representações esquemáticas do tipo de porosidade da madeira: (A) difusa uniforme; (B) difusa não uniforme; (C) anel semi-poroso; (D) anel poroso. Fonte (BOTOSSO, 2009) 56
- Figura 6 – Mapa de localização da Reserva A. Ducke, em Manaus, Amazonas, Brasil, com detalhamento do sistema de trilhas e relevo. Fonte (Medeiros, 2006) 60
- Figura 7 – Diagrama climático (precipitação e temperatura) da Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil, no período de 1901 a 2012 (Fonte: KNMI Climate Explore) . 60
- Figura 8 – Mapa de localização da Estação Experimental de Silvicultura Tropical – EEST/INPA, com a localização das plantações (plantação I – árvores provenientes de matrizes produtivas e plantação II – árvores provenientes de matrizes sem produção de oleorresina), Manaus, Amazonas, Brasil 61
- Figura 9 – Diagrama climático (precipitação e temperatura) da Estação Experimental de Silvicultura Tropical - EEST/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil, no período de 1980 a 2012 (Fonte: KNMI Climate Explore) 61
- Figura 10 – Plantações de *Copaifera multijuga* Hayne (33 anos de idade): (A, B) Plantação I – mudas provenientes de mães produtivas e (C) Plantação II – mudas provenientes de mães não produtivas. EEST/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil 62
- Figura 11 – Distribuição espacial das árvores de *Copaifera multijuga* Hayne selecionadas para estudo na Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. Copaíba J (árvores com 32 anos de repouso) e Copaíba R (árvores com 7 anos de repouso) 63

- Figura 12 – Produção de oleorresina no tronco de árvores de *C. multijuga* de plantação. EEST/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil: (A, B) árvores com escoamento de oleorresina durante a coleta de amostras do lenho (classificadas como produtivas) e (C) Árvore sem escoamento de oleorresina (não produtiva) 65
- Figura 13 – Extração do oleorresina do tronco de árvores de *C. multijuga*. (A) abertura de orifício no tronco com trado; (B) instalação de calha de aço-inoxidável para a coleta do oleorresina; (C, D) escoamento e coleta do oleorresina (1ª extração); (E) fechamento do orifício do tronco com cano de PVC e tampa de rosca; (F) abertura da tampa de PVC para a coleta do oleorresina após sete anos de repouso; (G, H, I, J) coleta do oleorresina 66
- Figura 14 – Primeira extração de oleorresina realizada nas árvores com 32 anos de repouso. (A, B) árvore com orifício obliterado com madeira, sem o seu corte; (C) cicatrização do orifício do tronco para a extração do oleorresina com a madeira cortada. Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil 67
- Figura 15 – Quantificação do oleorresina produzido/árvore de *Copaifera multijuga* Hayne, Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil 67
- Figura 16 – Coleta de amostras do lenho do tronco de árvores de *C. multijuga* de população natural. (A) alinhamento da sonda de Pressler em relação ao tronco, (B) tradagem para extração das amostras; (C, D) retirada das amostras do lenho 73
- Figura 17 – Coleta de amostras do lenho de árvores de *C. multijuga* de plantação. (A) extração das amostras do lenho abaixo da bifurcação do tronco; (B) coleta da amostra do lenho a 1m do tronco; (C) sonda no tronco da árvore evidenciando coleta diametral do lenho (seta: extremidade da sonda atravessando o tronco); (D) seção transversal do tronco e indicação do alinhamento de extração das amostras do lenho; (E) amostra do lenho retirada pela sonda de Pressler; (F) orifício do tronco obliterado com cavilha de madeira..... 73
- Figura 18 – Corte do tronco das árvores de *C. multijuga* de plantação (33 anos) e retirada de discos do lenho para caracterização dos anéis de crescimento. (A) corte da árvore; (B) seccionamento da base do tronco para retirada de disco; (C, D) disco do lenho cortado da base e a 1 m de altura do tronco. EEST/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil 74
- Figura 19 – Análise da estrutura anatômica macroscópica do lenho em relação à sua posição radial no tronco das árvores de *C. multijuga* Hayne 75
- Figura 20 – Análise da estrutura anatômica microscópica do lenho em relação à sua posição radial no tronco das árvores de *C. multijuga* Hayne de população natural e plantação..... 75

- Figura 21 – Preparo das amostras do lenho das árvores de *C. multijuga* para análise por densitometria de raios X. (A, B) secagem e colagem das amostras do lenho no suporte de madeira; (C) posição das amostras no suporte de madeira, com raios no sentido horizontal (seta vermelha); (D, E) detalhe do seccionamento amostra do lenho em equipamento de dupla serra circular paralela e (F) avaliação da espessura da amostra do lenho com paquímetro77
- Figura 22 – Análise densitométrica do lenho de *C. multijuga*. (A) equipamento de raios X mostrando compartimento interno; (B) processo de varredura da amostra do lenho; (C) seção transversal do lenho e respectivo perfil de sua densidade aparente no monitor e (D) Extração do oleorresina das amostras do lenho no extrator77
- Figura 23 – Polimento das seções transversais do lenho das árvores de *C. multijuga*: (A, B) polimento (baguetas) (C) polimento (discos) e (D) lixas de granulometria crescente79
- Figura 24 – Seção transversal do lenho de *C. multijuga*, com a delimitação dos anéis de crescimento e mensuração de sua largura no software Image-Pro Plus..... 80
- Figura 25 – Percentual de árvores produtivas e não produtivas por matriz de origem. N=70. Plantação de *C. multijuga* (Plantação I – árvores de origem de mães produtivas), EEST/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil 85
- Figura 26 – Percentual de árvores produtivas e não produtivas por matriz de origem. N= 70. Plantação de *C. multijuga* (Plantação II – árvores originadas de mães não produtivas), EEST/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil..... 85
- Figura 27 – Produção anual total de oleorresina de *C. multijuga*, Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. *Produção total (somatório da produção de todas as árvores em cada coleta) 90
- Figura 28 – Variação da produção de oleorresina entre os indivíduos amostrados em cada período de coleta. *Copaifera multijuga* Hayne, Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. *Coletas seguidas de letras diferentes diferem entre si 92
- Figura 29 – Árvore de *C. multijuga*, de população natural, com escoamento de oleorresina por rachaduras no tronco, Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. Setas em vermelho – rachaduras, e setas em verde (A) presença de oleorresina recém exsudado por rachadura localizada acima do ponto de coleta do oleorresina (B) mancha provocada pelo escoamento do oleorresina exsudado por rachaduras localizada acima do ponto de coleta 94
- Figura 30 – Variação da produção de oleorresina entre os indivíduos amostrados, nos diferentes períodos sazonais. S1 – Jul-dez/2012; S2 – Jan-junho/2013; S3 – Julho-dez/20013; S4 – Jan-Jun/2014. Coletas com letras iguais – Produção igual estatisticamente; coletas com letras diferentes – Produção diferente estatisticamente. *Copaifera multijuga* Hayne, Reserva A. Ducke, Manaus-AM, Brasil 96

- Figura 31 – Avaliação da produção total de oleoresina de *C. multijuga* nos diferentes períodos sazonais. S1 – Jul-dez/2012; S2 – Jan-junho/2013; S3 – Julho-dez/20013; S4 – Jan-Jun/2014. Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil 97
- Figura 32 – Relação entre produção de oleorresina e o diâmetro das árvores. *C. multijuga*, Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. * Foi excluído um outlier em ambas as coletas avaliadas 99
- Figura 33 – Avaliação da produção de oleorresina em função da mudança de classe diamétrica das árvores. *Simbolos iguais possuem correspondencia (mesmas árvores) entre as figuras A (primeira extração de oleorresina -1977) e B (Extração pós-reposou - 2012) 100
- Figura 34 – Relação entre o % de cerne no lenho e o diâmetro do tronco das árvores de *C. multijuga* de população natural. Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil 102
- Figura 35 – Relação entre produção de oleorresina e % de cerne no tronco das árvores. Dados referentes coleta de 2012. *Copaifera multijuga* Hayne, Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil 103
- Figura 36 – Avaliação da produção de oleorresina em função da idade das árvores, levando-se em consideração a 1ª extração de oleorresina e suas respectivas idades no ano da coleta: (●) árvores com produção; (◇) árvores sem produção. *C. multijuga*, Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil 104
- Figura 37 – Representação gráfica da produção de oleorresina de *C. multijuga* em função da idade cronológica das árvores, sendo dado ênfase a algumas árvores com comportamentos específicos, onde: ○ árvores que diminuíram o ritmo de produção; ● continuam produzir com regularidade; ○ estão há mais de dois períodos de coleta sem produzir 106
- Figura 38 – Análise das curvas de crescimento radial do lenho das árvores de *C. multijuga*. Nesta figura, utilizamos apenas os dados de algumas árvores específicas: a) árvores que ainda produzem em abundancia e regularmente; b) que diminuíram o ritmo de produção; c) que cessaram a produção, incluindo árvores em diferentes faixas de idade. Linhas com (*) correspondem à árvores cuja as curvas de crescimento começam a apresentar tendencia de estabilização 107
- Figura 39 – Escoamento do oleorresina no tronco das árvores de *C. multijuga*: (A) escoamento pela sonda de Pressler; (B) escoamento após retirada da sonda de Pressler; (C) escoamento simultâneo em 2 locais/regiões do lenho do tronco da árvore. (*seta vermelha indica a região do tronco com escoamento o oleorresina) 108
- Figura 40 – Gradiente de cor dos oleorresina de *C. multijuga*, coletados na Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil: (1) incolor; (2) amarelo claro e (3) castanho médio. * percepção visual 109

- Figura 41 – Avaliação por meio da análise de regressão da viscosidade do oleorresina de *C. multijuga* em relação ao diâmetro das árvores (A) e idade cronológica das árvores (B). Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil 112
- Figura 42 – Cromatogramas de amostras de oleorresina de *C. multijuga* evidenciando diferenças nas quantidades e tipos de substâncias detectadas (picos) entre as amostras 113
- Figura 43 – Análise dos principais constituintes químicos do oleorresina de *C. multijuga* e número de substâncias detectadas nas amostras analisadas em relação a idade das árvores 114
- Figura 44 – Distinção entre cerne e alburno no lenho de árvores jovens e adultas de *C. multijuga*. (1) amostra de árvore de plantação com 33 anos de idade; (2) árvore de população natural com mais de 90 anos de idade e (C) casca 115
- Figura 45 – Caracterização anatômica macroscópica de *C. multijuga* – Camadas de crescimento: A) árvore de plantação; B) árvore de população natural. Setas em preto indicam parênquima marginal delimitando as camadas de crescimento, e seta em vermelho indica zona fibrosa 116
- Figura 46 – Caracterização de falsos anéis de crescimento em *C. multijuga*. (A e B) parênquima marginal desprovido de canais axiais (seta preta) e anéis falsos dentro uma mesma camada de crescimento (seta cinza); (C) parênquima marginal desprovido de canais axiais, porém, neste caso o anel é verdadeiro; (D e E) parênquima marginal descontínuo e (F) parênquima marginal subdividindo-se 117
- Figura 47 – Caracterização anatômica a nível macroscópico de *C. multijuga* – vasos: (A) vaso solitário - vs, geminado - vg e múltiplo radial - mr; B) vasos racemiformes - vr; C) elemento de vaso obstruído com oleorresina - ev_o; e D) porosidade difusa e disposição em tendência ao arranjo diagonal 118
- Figura 48 – Diâmetro dos vasos observado nas diferentes posições do lenho da árvore de *C. multijuga*: (A) 0%; (B) 50% e (C) 100% - próximo da casca 118
- Figura 49 – Caracterização macroscópica do lenho de *C. multijuga* de população natural, onde: A1, A2, A3 e A4 - seguimento próximo da medula (0%); B1, B2, B3, e B4 – intermediário central (50%); C1, C2, C3, e C4 – Seg. próximo da casca (100%). Retângulo (área de zoom); cs – canal secretor axial desobstruído; cso – canal secretor axial obstruído; ev – elemento de vaso; ev_o – elemento de vaso obstruído com oleorresina; ev_ot – elemento de vaso obstruído com tilo; pm – parênquima axial marginal, e r – raio 120
- Figura 50 – Caracterização macroscópica do lenho de *C. multijuga* de plantação, onde: A1, A2, A3 e A4 - seguimento próximo da medula (0%); B1, B2, B3, e B4 – intermediário central (50%); C1, C2, C3, e C4 – Seg. próximo da casca (100%). Retângulo (área de zoom); cs – canal secretor axial; cso – canal secretor axial obstruído; ev – elemento de vaso; pm – parênquima axial marginal, pv – parênquima paratraqueal vasicêntrico e r – raio 121

- Figura 51 – Caracterização anatômica microscópica de *C. multijuga* Hayne (população natural) em plano transversal, quanto à largura do parênquima axial marginal nas diferentes posições do lenho e entre árvores produtivas e não produtivas (oleorresina) de população natural, onde: A (100% - próximo da casca), B (50% - área de transição) e C (0% - próximo da medula); cs - canais secretores axiais, ev – elementos de vaso; ev_o – elementos de vasos obstruídos com oleorresina; ev_ot – elementos de vaso obstruídos com tilos; p₁ e p₂ – parênquima axial marginal com e sem oleorresina respectivamente; pv - parênquima paratraqueal vasicêntrico. *Lâminas em coloração natural 123
- Figura 52 – Caracterização anatômica microscópica de *C. multijuga* Hayne (plantação) em plano transversal, quanto à largura do parênquima axial marginal nas diferentes posições do lenho e entre árvores produtivas e não produtivas (oleorresina) de plantação, onde: A (100% - próximo da casca), B (50% - área de transição) e C (0% - próximo da medula); cs - canais secretores axiais, ev – elementos de vaso; ev_ot – elementos de vaso obstruídos com tilos; p₁ e p₂ – parênquima axial marginal com e sem oleorresina respectivamente. *Lâminas em coloração natural 124
- Figura 53 – Caracterização anatômica microscópica de *C. multijuga* Hayne em plano transversal (árvore produtiva): (A) camadas de células do parênquima marginal em detalhes, com presença de conteúdo oleoso e (B) Canal axial secretor disposto no parênquima axial marginal. *Lâminas em coloração natural 125
- Figura 54 – Caracterização anatômica microscópica de *C. multijuga*: (A e B) raios uniseriados e multiseriados de 2, 3 e 4 em plano longitudinal tangencial; (C) raios visualizados em plano transversal e (D) raios visualizados em plano longitudinal radial. Em todos os planos de corte é possível visualizar o conteúdo oleoso das células. cp – células procumbentes; cs (canais secretores), ev – elementos de vaso; p – parênquima; r – raios e ru – raios uniseriados. A, C e D – árvores Produtivas; B – árvores não produtivas. *Lâminas em coloração natural 125
- Figura 55 – Elementos vasculares de *C. multijugaga*. A, B, C, E e F (mat. dissoc., corados com safrablau): (A) vasos com placa de perfuração simples (pp), sem apêndice; (B) vasos com apêndices longos em uma das extremidades; (C) vasos com apêndices curtos em ambas as extremidades; (D) elemento vascular irregular, com placa de perfuração em disposição vertical; (E) detalhe da placa em disposição vertical; ap – apêndice, cp – cél. parenquimáticas; pt – pontuação intervascular; (F) detalhe das pontuações intervasculares com aréolas evidentes (a), guarnecidas e abertura inclusa (setas) - plano transversal, (lâmina levemente corada com safranina) 127
- Figura 56 – *Copaifera multijuga* Hayne. (A) Fibras libriformes – mat. dissociado (safrablau), com detalhe de uma fibra com ponta bifurcada (crescimento intrusivo – CI); (B) detalhe de uma fibra com ponta bifurcada (seta) em função de crescimento intrusivo 128

- Figura 57 – *Copaifera multijuga* Hayne. Diferenças quanto a quantidade de células com conteúdo oleoso. Árvores Produtoras: (A) sessão transversal, (B) sessão tangencial; (C) sessão radial; Árvores não produtivas (D sessão transversal, (E) sessão tangencial; (F) sessão radial. ev – elemento de vaso; cr – células de raio * Lâminas em coloração natural..... 133
- Figura 58 – Transporte do oleorresina sendo realizado via células de raio e parênquima em direção aos vasos, em sessão tangencial. (A) vaso com armazenamento de oleorresina, com células de parênquima paratraqueal providas de oleorresina; (B) Células de parênquima com conteúdo oleoso em abundância, podendo ser também um meio de transporte do oleorresina; (C, D) oleorresina sendo transportado até os vasos (setas indicam o transporte) – “veio de óleo”..... 135
- Figura 59 – Relação entre os valores médios de densidade aparente (média, máxima e mínima) e o raio das amostras do lenho de *C. multijuga* de plantação e população natural (N=30)..... 137
- Figura 60 – Perfil radial da densidade aparente do lenho de *Copaifera multijuga* de plantação e sua relação com a estrutura anatômica macro e microscópica 139
- Figura 61 – Perfil radial da densidade aparente do lenho de *Copaifera multijuga* de população natural, evidenciando o aumento da densidade no sentido medula-casca, bem como o aumento do diâmetro dos vasos e espessura da parede celular 140
- Figura 62 – Perfil radial de densidade aparente do lenho de árvores de *C. multijuga*. de plantação, evidenciando a delimitação dos anéis de crescimento e sua correspondência na imagem da respectiva seção transversal 143
- Figura 63 – Perfil radial de densidade aparente do lenho de árvores de *C. multijuga*. de população natural, evidenciando a delimitação dos anéis de crescimento e sua correspondência na imagem da respectiva seção transversal 144
- Figura 64 – Séries cronológicas padronizadas e número de amostras de árvores de *C. multijuga* de plantação e população natural 148
- Figura 65 – Correlação das cronologias dos anéis de crescimento de *C. multijuga* com a precipitação mensal acumulada. Linha pontilhada indica o início da formação do anel de crescimento; (*) correlação significativa 149
- Figura 66 – Relação entre as cronologias (índices de crescimento) de *C. multijuga* de plantação e população natural com a precipitação anual total. Círculos representam locais em que há relação entre o crescimento das árvores e a precipitação (população natural)..... 153
- Figura 67 – Correlação entre precipitação e os índices de crescimento em diferentes períodos de idade de árvores de *C. multijuga* de população natural. Linha pontilhada indica início de formação do anel de crescimento; (*) correlação significativa 154

- Figura 68 – Correlação das cronologias de *C. multijuga* de plantação e população natural com variáveis climáticas locais: temperatura (média, máxima e mínima). Linha pontilhada indica início de formação do anel de crescimento; (*) correlação significativa 156
- Figura 69 – Curvas de crescimento (incremento radial acumulado – IRA) e sua relação com a idade biológica das árvores de *C. multijuga* de população natural 158
- Figura 70 – Curvas de crescimento (incremento radial acumulado – IRA) e sua relação com a idade biológica das árvores de *C. multijuga* de população natural 160

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Proporção de árvores produtivas, não produtivas e ocas de <i>Copaifera</i> spp. em diferentes estudos realizados na Amazônia Brasileira.....	47
Tabela 2 – Calendário das coletas anuais e sazonais do oleorresina de <i>Copaifera multijuga</i> Hayne, e respectivos períodos de produção.....	68
Tabela 3 – Avaliação do potencial produtivo de árvores de <i>C. multijuga</i> Hayne 32 anos após as sucessivas extrações de oleorresina, Reserva Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil	89
Tabela 4 – Comparação das produções anuais de oleorresina através do teste Wilcoxon-Mann-Whitney com correção de Bonferroni. Valores seguidos de (*) apresentaram diferenças significativas entre as coletas. Árvore com 32 anos de repouso (n=14); árvores com sete anos de repouso (n=22)	91
Tabela 5 – Média dos percentuais dos principais constituintes químicos do oleorresina de <i>C. multijuga</i> nos diferentes tipos de solo.....	115
Tabela 6 – Dados quantitativos de elementos celulares (vasos) de <i>C. multijuga</i> nas diferentes posições do lenho	128
Tabela 7 – Comparação de dados quantitativos de elementos celulares (fibras) de cerne e alburno do lenho de <i>C. multijuga</i>	129
Tabela 8 – Comparação dos dados quantitativos dos elementos celulares (fibras e vasos) do lenho de árvores produtoras e não produtoras de oleorresina, de plantação e população natural de <i>C. multijuga</i>	131
Tabela 9 – Comparação dos valores de densidade aparente (média, mínima e máxima) e parâmetros estatísticos (desvio padrão e coeficiente de variação) das amostras de lenho de <i>C. multijuga</i> de plantação e população natural.....	136
Tabela 10 – Comparação dos valores de densidade aparente (média, mínima e máxima) e parâmetros estatísticos (desvio padrão e coeficiente de variação) entre árvores produtoras e não produtoras de oleorresina, de plantação e população natural, bem como um comparativo da densidade do lenho antes e depois de realizada a extração da resina	141
Tabela 11 – Controle de qualidade da sincronização dos anéis de crescimento de <i>C. multijuga</i> de plantação e população natural	146
Tabela 12 – Incremento radial médio anual de árvores de <i>C. multijuga</i> de plantação e população natural	158

1 INTRODUÇÃO

A floresta Amazônica é reconhecida pela significativa riqueza de produtos florestais e, dentre estes, os Produtos Florestais Não Madeireiros (PFNM), com destaque para os óleos vegetais. Neste bioma caracteristicamente tropical, inúmeras espécies vegetais são fontes de óleos essenciais, mencionando-se o óleo de copaíba, o qual é extraído do tronco das árvores (*Copaifera* spp.), como uma das mais importantes. Dados recentes expressam a importância do óleo de copaíba como PFNM, indicando no ano de 2014 a comercialização de 164 toneladas de óleo na região norte do Brasil, gerando uma receita de 3,4 milhões de reais; sendo o estado do Amazonas, o maior produtor, responsável por 75,6% desta produção (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2014).

Na Amazônia, o manejo florestal sustentado é considerado essencial e estratégico para a conservação de sua biodiversidade, sendo as árvores de *Copaifera* spp., a partir de 2005, protegidas de corte por meio do Decreto nº 25.044/2005, publicado pela Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Amazonas, o qual proíbi o licenciamento de corte, transporte e comercialização de madeira dessas espécies. Desta forma, a extração de oleorresina do tronco das árvores de copaíba, constitui-se em importante fonte de renda para os diversos povos tradicionais da Amazônia, sendo esta atividade regulamentada pela legislação vigente. Fazendo-se necessário ainda, o cadastro técnico florestal junto ao órgão estadual licenciador, informando sobre o processo de manejo.

Apesar dos avanços na legislação ambiental, visando normatizar as atividades de manejo e extração do óleo de copaíba, de forma a promover o uso sustentado deste recurso natural, muito ainda precisa ser melhorado e definido. Desta forma, é de extrema relevância o desenvolvimento de pesquisas que resultem em normas e procedimentos aplicáveis para o seu manejo adequado e produção de oleorresina em qualidade e quantidade. Apesar da contribuição que a pesquisa florestal teve no desenvolvimento de métodos e técnicas de manejo florestal visando a produção de madeira, verifica-se que são escassas as informações disponíveis acerca do manejo sustentado dos PFNM e, dentre estes, os conhecimentos científicos e tecnológicos básicos e essenciais para a sustentabilidade da extração de oleorresina das árvores de copaíba.

A literatura científica tem apresentado os resultados de estudos de diversos parâmetros, que influenciam na produção de oleorresina, de árvores de diversas espécies de *Copaifera* spp. como: o seu diâmetro, a altura, a dimensão da copa, o período de coleta e modo de extração da resina no tronco das árvores (ALENCAR, 1982; FERREIRA; BRAZ,

2001; PLOWDEN, 2003; RIGAMONTE-AZEVEDO; WADT, P.; WADT, L., 2006; MEDEIROS; VIEIRA, 2008). Essas pesquisas devem-se, principalmente, a grande importância econômica do óleo de copaíba, o qual é amplamente utilizado na medicina popular, na indústria de cosméticos, na farmacêutica, etc. No Estado do Amazonas, têm sido implementadas políticas governamentais para incentivar a produção e a comercialização dos PFNM, como fonte de geração de renda para a população local e estímulo à implantação de polos industriais, como o de biocosméticos.

Para as árvores de copaíba, no que se refere à extração sustentável do oleorresina nos aspectos econômico, ambiental e social, reconhece-se a importância prioritária da implantação de um sistema de produção estável e contínuo. Nas florestas tropicais naturais existe uma complexidade em relação à densidade populacional (indivíduos.ha⁻¹), variação da idade, das dimensões, etc. das árvores de copaíba e, principalmente, a existência de exemplares com variabilidade na produção de oleorresina e de exemplares não produtivos. Da mesma forma, a estrutura anatômica do lenho destas árvores descrita na literatura indica a presença comum de canais oleíferos, dispostos em anéis concêntricos com o parênquima marginal, e que realizam a biossíntese de oleorresina nas células epiteliais secretoras que os preenchem. No entanto, como o óleo é armazenado no interior da árvore? E o porquê de alguns indivíduos produzirem e outros não? Ainda é uma incógnita. Assim, há a necessidade de estudos anatômicos, qualitativos e quantitativos dos elementos celulares e relações com a idade das árvores, quantidade e qualidade do oleorresina extraído, efeito da sazonalidade climática, etc.

Outra questão importante refere-se à composição química do oleorresina produzido no tronco das árvores de copaíba, cujas variações são relatadas na literatura entre e dentro de árvores, espécies, e entre amostras de oleorresina coletadas em um mesmo indivíduo, e em diferentes épocas do ano (VEIGA JUNIOR; PINTO, 2002). Ainda, alguns autores indicam que a variação na produção está associada à idade das árvores (RIGAMONTE-AZEVEDO, 2004) e à ação de agentes bióticos como fungos e cupins (LANGENHEIM et al., 1986).

De um modo geral, apesar dos esforços para aprimorar as técnicas de extração do óleo de copaíba e melhorar os procedimentos de manejo destas árvores, verifica-se que a sustentabilidade ecológica da extração ainda é complexa. A maioria dos estudos relacionados ao manejo destas árvores avalia a produção de oleorresina em curto período de tempo, demonstrando o seu decréscimo nas sucessivas extrações e com o repouso das árvores de seis a doze meses entre coletas, e que as árvores com diâmetros extremos do tronco não produzem oleorresina, indicativos de idades mínima e máxima (ALENCAR, 1982; PLOWDEN, 2003; MEDEIROS; VIEIRA, 2008). Uma alternativa preconizada é a implantação de florestas com

árvores de copaíba na região amazônica, no entanto, isto ainda é incipiente, devido às baixas taxas de crescimento das árvores da maioria das espécies tropicais, além da incerteza se as árvores de copaíba, plantadas, serão produtivas no futuro, visto que, a característica de produzir oleorresina em quantidades suficientes para o manejo do produto, parece ser um fator genético.

Pelo exposto, o presente trabalho visa pesquisar a anatomia do lenho e dos anéis de crescimento, e avaliar a sustentabilidade da extração e a variação química do oleorresina de árvores de população natural e de plantação, contribuindo para o entendimento do sistema de produção de oleorresina e do manejo florestal das árvores de *Copaifera multijuga* Hayne.

2 HIPÓTESES E OBJETIVOS

As principais **hipóteses** para o desenvolvimento da presente pesquisa foram: (i) a realização de plantações florestais a partir de mudas de matrizes previamente selecionadas, pode contribuir para o manejo sustentável da extração do óleo de copaíba a longo prazo; (ii) a produção de oleorresina de árvores de *C. multijuga* não é sustentável ao longo do tempo; (iii) a produção de oleorresina relaciona-se com a idade da árvore, com um período de início e de cessação; (iv) a composição química e as propriedades físico-químicas do oleorresina estão relacionadas com a idade das árvores; (v) a estrutura anatômica do lenho difere nas árvores de copaíba produtivas e não produtivas.

Os **objetivos** que nortearam a presente pesquisa são:

Objetivo Geral: avaliar a sustentabilidade de extração do oleorresina de *Copaifera multijuga* Hayne, incluindo os fatores que podem influenciar na sua produção, além de estudar a anatomia do lenho e dos anéis de crescimento em árvores de plantação e população natural, contribuindo no entendimento do sistema de produção/armazenamento de oleorresina e no manejo florestal da espécie.

Objetivos específicos: (i) verificar se árvores de plantação de *C. multijuga* com 33 anos de idade produzem oleorresina e se as árvores matrizes não produtivas geram descendentes produtivos e vice-versa; (ii) avaliar a sustentabilidade da extração do oleorresina de *C. multijuga*, em área de população natural ao longo do tempo; (iii) identificar a melhor época (período sazonal) para realizar a extração do oleorresina; (iv) verificar se existe relação entre a idade, diâmetro do tronco (DAP) e percentual de cerne com a produção de oleorresina; (v) avaliar a composição química e as propriedades físico-químicas do oleorresina das árvores de *C. multijuga* de população natural e sua relação com a idade das mesmas; (vi) verificar se a estrutura anatômica do lenho de árvores de *C. multijuga* difere em matrizes produtivas e não produtivas; (vii) avaliar o comportamento do perfil da microdensidade do lenho de árvores *C. multijuga* de plantação e população natural; (viii) realizar estudo dendrocronológico das árvores de *C. multijuga* de plantação e população natural, visando determinar a idade das árvores e a periodicidade da formação de seus anéis de crescimento e sua relação com fatores climáticos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O gênero *Copaifera* L.

O gênero *Copaifera* L. pertencente à família *Fabaceae*, subfamília *Caesalpinoideae*, possui distribuição pantropical, com ocorrência na América Latina (Brasil, Guianas, Colômbia, Bolívia, Peru, Venezuela, Paraguai, Panamá e Costa-Rica), África ocidental e Ásia (Bornéu) (DWYER, 1951; LEWIS, et al., 2005). Atualmente o gênero consta de 38 espécies e 11 variedades (COSTA, 2007). No Brasil são registradas 28 espécies do gênero, sendo 22 endêmicas deste país (COSTA; QUEIROZ, 2007), distribuídas nas regiões centro-oeste, de mata atlântica e amazônica (VEIGA JUNIOR; PINTO, 2002). De acordo com estudos taxonômicos e filogenéticos realizados por Martins-da-Silva (2006) e Costa (2007) e demais estudos com espécies do gênero (DWYER, 1951; RIGAMONTE-AZEVEDO; WADT, P.; WADT, L., 2006; NEWTON et al., 2012; MARTINS et al., 2013) na Amazônia Legal Brasileira são encontradas 11 espécies e duas variedades de *Copaifera* spp., com maior número de registros no estado do Mato Grosso (8 espécies e 1 variedade), seguidos dos estados do Amazonas (7 espécies e 1 variedade), Pará (7 espécies), Rondônia (4 espécies), Acre (3 espécies e 1 variedade), Maranhão (3 espécies), Tocantins (2 espécies e 1 variedade), Roraima (2 espécies) e Amapá (1 espécie) (Figura 1).

Figura 1 – Mapa de distribuição do gênero *Copaifera* L. na Amazônia Legal Brasileira. *Este mapa foi construído conforme as informações disponíveis na literatura (Anexo A)

3.2 A espécie *Copaifera multijuga* Hayne

a) Distribuição geográfica e habitat

As árvores de *C. multijuga* ocorrem no Brasil e na Bolívia. Na Amazônia Brasileira, são encontradas no Oeste do Estado do Pará, nos municípios de Aveiro e Itaituba; em Rondônia, Mato Grosso (Noroeste do município de Aripuanã) e no Amazonas, onde é amplamente distribuída, abrangendo as regiões de Manaus, Parintins e Maués, e nas margens dos Rios Negro, Madeira, Solimões e Tefé (afluente do Solimões) (LOUREIRO; SILVA; 1968; MARTINS-DA-SILVA, 2006). Ocorrem em matas de terra-firme, preferencialmente sobre solo argiloso (platô e de vertente), podendo ser encontrada também, em solos arenosos (baixios), porém com menor desenvolvimento, (LOUREIRO; SILVA, 1968; ALENCAR, 1981; RIBEIRO et al., 1999). Apesar do habitat preferencial ser mata de terra-firme, a espécie pode ser encontrada em outros ambientes como: matas de várzea e campinarana, visto que já foram coletadas amostras de indivíduos da espécie nestas áreas (MARTINS-DA-SILVA, 2006). A distribuição espacial dos indivíduos adultos em área terra-firme é do tipo aleatória (ALENCAR, 1984; BARBOSA; SCUDELLER; ROSA, 2009), embora a espécie possa também apresentar distribuição espacial do tipo agregada, conforme levantamento realizado ao longo do Rio Juruá, no Amazonas (NEWTON et al., 2012).

b) Descrição botânica

As árvores de copaíba são de grande porte, atingem em média até 36 m de altura e 80 cm de diâmetro do tronco, distinguindo-se das demais espécies pela forma especial de seus folíolos e pelo agradável odor de cumarina na madeira (LOUREIRO; SILVA; ALENCAR, 1979; ALENCAR, 1981). A forma do fuste mais frequente é cônica (73%), com ritidoma cinza a cinza-avermelhado, estrias estreitas verticais superficiais, casca viva vermelha, com cerca de um cm de espessura (LOUREIRO; SILVA; ALENCAR, 1979; ALENCAR, 1981, 1982; RIBEIRO et al., 1999; MARTINS-DA-SILVA, 2006; BARBOSA; SCUDELLER, 2009). Do lenho das árvores se extrai um óleo viscoso, de sabor acre e amargo. As folhas são compostas, alternas e paripinadas, com 6-10 pares de folíolos, os quais são alternos, coriáceos, oblongos-lanceolados e assimétricos, com base arredondada e ápice estreito-acuminado. Inflorescência com 5,1-12 cm de comprimento, raque pubescente, 8-12 racemos de segunda ordem, 8-13 flores por racemo. As flores são brancas monoperiantadas, sésseis de cálice vermelho-ferrugíneo; o fruto é unilocular, tornando-se vermelho quando maduro e a

semente é oblongo-globosa, nigrescente, apresentando arilo amarelo. A polinização é feita principalmente por abelhas (LOUREIRO; SILVA, 1968; LOUREIRO; SILVA; ALENCAR, 1979; RIBEIRO et al., 1999; MARTINS-DA-SILVA, 2006; BARBOSA; SCUDELLER, 2009). A Germinação da semente é do tipo fânero-cotiledonar, com rompimento da semente ocorrendo próximo ao hilo, os cotilédones são elevados acima do nível do solo (epígea), a emergência é reta com rápido desenvolvimento do sistema radicular, as plântulas apresentam tonalidades rosadas, que logo se tornam esverdeadas (MARTINS-DA-SILVA, 2006) (Figura 2 e 3).

Figura 2 – Características morfológicas de *C. multijuga*. (A) árvore adulta com aproximadamente 25 m de altura, evidenciando o fuste em forma de cone; (B) ramo, mostrando o formato dos folíolos; (C) ritidoma com estrias verticais; (D) floração; (E, F) fruto maduro e aberto, mostrando semente com arilo amarelo e (G e H) germinação da semente – plântula (mostrando emergência reta e cotilédones acima do nível do solo)

Figura 3 – Ilustração botânica de *Copaifera multijuga* Hayne, (a) folíolos, (b) inflorescência, (c) flor aberta em detalhes e (d) início de abertura dos botões florais

c) Fenologia

Estudo realizado por Alencar (1988) em 82 árvores de *C. multijuga* na Reserva Ducke em Manaus, verificou-se que as árvores florescem na estação chuvosa (dezembro-maio), apresentando plena floração de fevereiro-abril. A frutificação inicia-se ainda no

período chuvoso, durando em média de 6-7 meses, podendo se estender até setembro (auge do período seco), com maior incidência de frutos jovens nos meses de abril-maio e de frutos maduros nos meses de maio-julho, com a dispersão de sementes (frutos caindo) de julho-setembro (período seco). Resultados semelhantes foram encontrados por Garcia, Sousa e Campos (2010) em uma área de floresta primária de terra-firme pertencente a EMBRAPA Amazônia Ocidental, distante 6 km da Reserva Ducke. A espécie apresenta padrão bianual de produção de sementes, frutificação a cada dois anos, podendo ocorrer, em alguns casos, trienal e anual (ALENCAR; ALMEIDA; FERNANDES, 1979; ALENCAR, 1988; GARCIA; SOUSA; CAMPOS, 2010). *C. multijuga* é caracterizada como uma espécie perenifólia (apresentando fase de folhas velhas durante todos os meses do ano), contudo, pode apresentar comportamento semi-caducifolia, com a renovação parcial das folhas no período final da frutificação (ALENCAR; ALMEIDA; FERNANDES, 1979; ALENCAR, 1988).

d) Regeneração natural

As árvores da espécie possuem alto percentual de germinação de sementes, acima de 85%, independentemente do tipo de solo (argiloso ou arenoso), apresentando em média, 14 dias para o início da germinação após a sementeira, sendo uma excelente característica silvicultural para o estabelecimento de plantações (ALENCAR, 1981). A dispersão das sementes é barocórica e as árvores da espécie apresentam alto potencial de regeneração natural, com a distribuição espacial das plântulas do tipo agregado (ALENCAR, 1984). Contudo, a densidade de árvores adulta nas florestas é muito baixa, variando de 0,22 a 2 indivíduos.ha⁻¹ (LOUREIRO; SILVA, 1968; BARBOSA; SCUDELLER; ROSA, 2009; NEWTON, et al., 2012).

e) Características gerais e anatômicas da madeira

Além da importância das árvores da espécie pela biossíntese e aplicação do oleorresina na medicina popular, as características da madeira são muito difundidas na construção civil pela durabilidade e alta resistência ao ataque de microrganismos xilófagos (SAMPAIO, 2000). A madeira apresenta densidade básica de 0,56 g.cm⁻³ e densidade aparente de 0,69 g.cm⁻³ (15% de umidade) (LOUREIRO; SILVA; ALENCAR, 1979; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT, 1989), podendo ser classificada como madeira de densidade média, de acordo com classificação proposta por Melo, Coradin e

Mendes (1990). Cerne de cor castanho-avermelhado, bem demarcado em relação ao alburno mais claro. O parênquima é contrastado e distinto sob lente, marginal, envolvendo canais secretores longitudinais; os vasos são pouco numerosos, pequenos à médios, predominantemente solitários, podendo ser geminados e múltiplos (3-5), apresentando porosidade difusa; as linhas vasculares são visíveis a olho nu, podendo ser obstruídas com resina oleosa da cor do lenho; os raios são numerosos, visíveis somente sob lentes no topo e na face tangencial, finos, com uniformidade na largura e espaçamento; as camadas de crescimento são distintas, demarcadas pelo parênquima marginal e pelos canais intercelulares (pouco distintos mesmo sob lente) presentes no parênquima marginal, e espessamento e achatamento radial das fibras no lenho tardio (LOUREIRO; SILVA; ALENCAR, 1979; IPT, 1989; MARTINS-DA-SILVA, 2006).

A estrutura anatômica da madeira é caracterizada pelo arranjo e quantidade proporcional de diferentes tipos de células (fibra, vasos, raios e parênquima axial) (MARCATI, 1992). O comprimento das fibras é a principal variável para definir o limite entre lenho adulto e juvenil, onde as fibras mais próximas da medula apresentam menor comprimento e diâmetro, e paredes celulares mais finas, e à medida que vão se aproximando da casca, vão aumentando gradativamente em comprimento, diâmetro e espessura da parede celular (ZOBEL, 1980).

Yanez Inzunza (1992) estudando a anatomia do lenho de árvores de nove espécies de *Copaifera* spp., relatou para *C. multijuga*, que os vasos representam 8% do volume da madeira, solitários com seção circular e em múltiplos radiais (até 8 vasos) e racemiformes (até 10 vasos pequenos e grandes), elementos vasculares curtos, com apêndices ausentes ou presentes em uma ou ambas as extremidades, apresentando placa de perfuração simples, ligeiramente inclinadas até horizontal; parênquima axial ocupa 21% do volume, sendo predominantemente, marginal, apresentando também parênquima paratraqueal vasicêntrico e parênquima seriado, com séries de 167-433-850 μ m (2-3-6 células) de altura e com 5-12-33 μ m de largura. O autor observou também um aumento do número de células nas séries mais próximas dos vasos. Presença de muitos canais intercelulares axiais (CIA) dispostos no parênquima marginal, representando 2% do volume da madeira, com uma frequência de 1-3-8/mm linear; raios (14% do volume da madeira) unisseriados e multisseriados, formados por células procumbentes e/ou quadradas; fibras do tipo libriformes, muito curtas com 434-1079-1796 μ m de comprimento, representando 55% do volume total da madeira.

Apesar do estudo realizado por Yanez Inzunza (1992), poucos ainda são os trabalhos de caracterização anatômica, realizados para o gênero *Copaifera* L., e dentre os disponíveis na

literatura, a maioria são voltados para a espécie *C. langsdorffii* (MARCATI; ANGYALOSSY-ALFONSO; BENETATI, 2001; MELO JÚNIOR; CECCANTINI; BONA, 2011; RODRIGUES; TEIXEIRA; MACHADO, 2011; NISGOSKI et al., 2012; RODRIGUES et al., 2014).

3.3 O óleo de copaíba

O nome copaíba é originário do tupi “cupa-yba”, e significa “a árvore de depósito ou a que contém a jazida”, em alusão ao óleo armazenado no interior do seu tronco. Sua utilização pelas comunidades indígenas e tradicionais da Amazônia tem os primeiros registros na época do “Brasil colônia”, sendo, até os dias atuais, amplamente utilizado na medicina popular (VEIGA JUNIOR; PINTO, 2002).

Dentre as propriedades medicinais, a mais estudada é a anti-inflamatória (tratamento de doenças respiratórias e das vias urinárias) e a antitumoral (VEIGA JUNIOR; PINTO, 2002; HECK; VIANA; VICENTINI, 2012; SILVA, D., 2014). Outras aplicações medicinais do oleorresina têm sido reportadas, como bactericida, anti-helmíntica, analgésica, trypanossomicida, leishmaniose, infecções da derme e mucosas, reumatismo e de proteção gástrica (CASCON; GILBERT, 2000; MACIEL; PINTO; VEIGA JUNIOR, 2002; RIGAMONTE-AZEVEDO; WADT, P.; WADT, L., 2004; PIERI; MUSSI; MOREIRA, 2009; SILVA, D., 2014). Além do uso medicinal, possui ampla aplicação na indústria de cosméticos, sendo utilizado na fabricação de xampus/sabonetes e como fixadores de perfume. Pode ser utilizado também na fabricação de vernizes, tintas e papel, e revelação de filmes fotográficos (FERREIRA; BRAZ, 2001; SHANLEY et al., 2005; PIERI; MUSSI; MOREIRA, 2009).

A prática da adulteração do óleo de copaíba é comum na região amazônica, geralmente pela adição de outros óleos vegetais, bem como de óleos minerais (VEIGA JUNIOR; PINTO, 2005). Algumas propriedades físico-químicas do óleo, como a viscosidade, a coloração e o índice de acidez são utilizados como critério da autenticidade do mesmo, no entanto, nem sempre são conclusivos. Tem sido frequentemente classificado como um líquido transparente ou opaco, com coloração variando do incolor ao castanho-escuro (LEITE et al., 2001; RIGAMOMTE-AZEVEDO; WADT, P.; WADT, L., 2004; MEDEIROS, 2006), contudo não há ainda uma norma estabelecida para a padronização de sua coloração (Figura 4).

Figura 4 – Gradiente de cor de amostras de oleorresina de *C. multijuga*. Fonte (MEDEIROS, 2006)

A densidade do óleo de copaíba pode variar 0,910 a 1,050 (g.cm⁻³) dependendo da espécie e procedência (SILVA, et. al., 2011; VARGAS et al., 2011; SILVA et al. 2012; PANTOJA et al., 2015). Testes realizados por Vasconcelos e Godinho (2002) mostraram que o índice de acidez do óleo pode ser utilizado para a detecção de adulterações, em laboratórios com poucos recursos de equipamentos.

A literatura menciona que a designação correta do óleo de copaíba é “oleorresina”, visto ser constituído por uma mistura de hidrocarbonetos sesquiterpênicos (compostos voláteis) e ácidos diterpênicos (ácidos resinosos) (VEIGA JUNIOR; PINTO, 2002).

Sua composição química é descrita em vários trabalhos, utilizando-se metodologias e equipamentos antigos e modernos de isolamento e de identificação, como a Cromatografia Líquida de Eficiência (HPLC), Cromatografia com Fluido Supercrítico com Detector de Infravermelho (SFC-FC- IR) e Cromatografia Gasosa acoplada à Espectrometria de Massa (CG-EM) (VEIGA JUNIOR; PINTO, 2002). Os estudos relacionados à composição química do oleorresina visam, principalmente, a sua aplicação na indústria farmacêutica, sendo também aplicado na indústria de perfumes e cosméticos. Atualmente, os sesquiterpenos são estudados por cromatografia gasosa de alta resolução (CGAR) pela comparação dos índices de retenção das substâncias, conhecido como Índice de Kóvats (VEIGA JUNIOR; PINTO, 2002). A cromatografia gasosa de alta resolução quando a acoplada à espectrometria de massas (CGAR-EM) permite a identificação de quase todos os compostos. A CGAR-EM consta de cromatógrafo em coluna capilar de alta resolução; uma interface para ligação dos dois sistemas; uma câmara de ionização, onde os íons são formados; uma câmara mantida sob vácuo, onde ocorre a separação destes e um sistema para detecção dos íons, acoplado a um sistema de registro com um programa para a interpretação dos dados obtidos (BONATO, 2006).

Os estudos relacionados à composição química do oleorresina visam, principalmente, a sua aplicação na indústria farmacêutica, sendo também aplicado na indústria de perfumes e cosméticos. Estudos da composição química do óleo de copaíba de diferentes procedências no Brasil, indicam haver variação na concentração e na natureza de seus componentes: em árvores dentro de uma mesma espécie e entre espécies (CASCON; GILBERT, 2000; VEIGA JUNIOR; PINTO, 2002; VEIGA JUNIOR et al., 2007; BARBOSA, et al., 2012). Pesquisa referente a atividade anti-inflamatória e a composição química do oleorresina de três espécies de copaíba, verificaram que *C. multijuga* foi mais eficaz que *C. cerarensis* e *C. reticulata*, apresentando também maior quantidade de β -cariofileno, sendo sua ação comparada a do diclofenaco (VEIGA JUNIOR et al., 2007).

A fração sesquiterpênica no oleorresina de copaíba pode variar de 50-90%, tendo como constituintes predominantes o α -copaeno, α -bergamoteno, α -humuleno, δ -cadineno e β -cariofileno (LANGENHEIM, 1981; CASCON; GILBERT, 2000). As análises de cromatografia em fase gasosa de amostras de oleorresina de copaíba das regiões do Baixo Amazonas, da Transamazônica e da Baía de Portel, no Estado do Pará, indicaram que a fração sesquiterpênica é predominante no oleorresina (TAPPIN et al., 2004).

Alguns autores relacionam esta variação na composição química do oleorresina em função de fatores bióticos externos, como injúrias provocadas no tronco das árvores por fungos e insetos (LANGENHEIM et al., 1986). Os terpenos existentes em sua composição química, podem ser responsáveis por conferir às árvores de copaíba, resistência natural ao ataque de micro-organismos (MACEDO; LANGENHEIM, 1989). Um exemplo é a produção de β -cariofileno, particularmente efetivo contra lepidópteros e seu óxido que inibe os fungos (VEIGA JUNIOR; PINTO, 2002). A origem da variação na composição química dos oleorresinas de copaíba, tem sido atribuída também a fatores como diâmetro, idade das árvores, e fatores relacionados ao ambiente; como tipo de solo, onde as árvores se desenvolvem, e sazonalidade climática (VEIGA JUNIOR; PATITUCCI; PINTO, 1997; VEIGA JUNIOR; PINTO, 2002; BARBOSA et al., 2012).

3.4 Manejo do oleorresina de copaíba

3.4.1 Breve histórico do processo de extração do oleorresina de copaíba

Em virtude de suas propriedades medicinais, muito apreciadas pelos índios que o usavam, principalmente, como cicatrizante e anti-inflamatório, dentre outras aplicações, o “óleo de copaíba” foi uma das primeiras descrições realizadas pelos cronistas portugueses na época do “Brasil-colônia” (VEIGA JUNIOR; PINTO, 2002).

O uso do “óleo de copaíba” foi tão difundido pelos portugueses que chegou ao 2º lugar nas exportações brasileiras de produtos medicinais, principalmente para os países da Europa. A Alemanha constituía o principal centro de importação do “óleo de copaíba” - cerca de 50 ton.ano⁻¹, distribuindo para os demais países da Europa, que o utilizavam principalmente para fins medicinais. No período após a primeira guerra mundial, há registro da exportação de 200 ton.ano⁻¹ de óleo de copaíba (VEIGA JUNIOR; PINTO, 2002).

Atualmente, o estado do Amazonas é o maior produtor de óleo de copaíba do Brasil, em 2014 foram comercializadas no Estado, 124 toneladas, movimentando R\$ 2,58 milhões (IBGE, 2014). Contudo, os métodos de extração do oleorresina eram extremamente danosos às árvores. A extração era realizada através de cortes no tronco das árvores com lâmina de machado, propiciando o desperdício de óleo e causando a morte ou inutilizando as árvores para futuras coletas (LE COINTE, 1939). O oleorresina era obtido, da mesma forma, pelo corte do tronco das árvores em grandes derrubadas, visando a sua extração total (LEITE et al., 2001).

Desde a década de 40 (1945), o oleorresina é extraído das árvores através de perfurações do seu tronco, desde a casca até a região da medula, com trado metálico, conhecida como “extração racional”. Este método vem sendo gradativamente melhorado para diminuir os danos nas árvores e facilitar o processo de extração futura, conforme descrito por Leite et al. (2001).

3.4.2 Sistema de produção (síntese) do oleorresina de copaíba

O oleorresina de copaíba é um produto do metabolismo secundário das árvores, sendo sintetizado pelas células do parênquima (células epiteliais), que delimitam as cavidades ou canais secretores (ALENCAR, 1982; LANGENHEIM, 2003).

Durante muito tempo alguns autores acreditavam que o oleorresina ficava armazenado em bolsas compridas (chamadas “bolsões de óleo”) e que os canais (bolsas) presente em diferentes zonas do lenho não se comunicavam entre si (PIO CORRÊA, 1984). Contudo, até o presente momento, nenhum estudo anatômico já realizado em diferentes espécies do gênero evidenciou a existência de tais bolsões de óleo, mas sim a presença de canais secretores, os quais estão dispostos no parênquima marginal (MARCATI; ANGYALOSSY-ALFONSO; BENETATI, 2001; MARTINS-DA-SILVA, 2006; RODRIGUES; TEIXEIRA; MACHADO, 2011; MILANI; ROCHA; TEIXEIRA, 2012). Observações de campo feitas por Alencar (1982) indicam, segundo o autor, haver intercomunicação entre os canais.

Estruturas secretoras são tecidos especializados na síntese de substâncias específicas, podendo ser uni ou multicelulares, sendo o material secretado, normalmente eliminado para superfície externa da planta ou armazenado dentro de espaços intercelulares (FAHN, 1988; CASTRO; MACHADO, 2012). Estruturas secretoras estão presentes na maioria das plantas vasculares, sendo que as mesmas diferem quanto à estrutura, a posição que ocupam no corpo vegetal, e quanto ao tipo de substância que secretam (FAHN, 1979; 1988).

Vários tipos de classificação das estruturas secretoras já foram propostos (CASTRO; MACHADO, 2012). Levando em consideração a posição dessas estruturas na planta, Esau (1974) às classificou como estruturas secretoras externas e internas; Luttge (1971) baseou sua classificação de acordo com a natureza química da substância secretada, por exemplo: (1) enzimas proteolíticas (glândulas digestivas de plantas carnívoras); (2) açúcares (nectários); (3) produtos do metabolismo secundário, como fenóis e terpenos (canais resiníferos e células oleíferas); (4) sais orgânicos (glândulas de sal). Considerando o trabalho celular envolvido no processo secretor, Fahn (1979) subdivide as estruturas secretoras em dois grupos principais: (1) estruturas que secretam substâncias não modificadas ou pouco modificadas, as quais são supridas direta ou indiretamente pelo sistema vascular (hidatódios, glândulas de sal e nectários) e (2) tecidos secretores que sintetizam as substâncias secretadas (tecidos secretores de mucilagem, glândulas de plantas carnívoras, tecidos secretores de substâncias lipofílicas e laticíferos).

Partindo das classificações acima, podemos dizer que as estruturas secretoras presentes nas espécies de *Copaifera* spp. são estruturas internas, que sintetizam e secretam compostos de natureza lipofílica, mais precisamente; terpenos e ácidos graxos livres. Tais estruturas são denominadas cavidades ou canais, as quais são formadas por espaços

intercelulares (lume) delimitados por células secretoras especializadas, que constituem o epitélio. A secreção produzida nas células do epitélio é transportada para o lume, onde fica armazenada (FAHN, 1979). Cavidades e canais secretores se distinguem pela forma que exibem em cortes longitudinais, sendo os canais caracterizados como dutos alongados e com lume estreito, enquanto as cavidades possuem lume esférico ou ovóide, ou ainda, apresentam lume ampliado e de forma irregular (FAHN, 1979; LANGENHEIM, 2003).

Estudos realizados em plântulas e indivíduos adultos de *C. langsdorffii* demonstraram que em seção transversal, glândulas secretoras adultas, são constituídas por um epitélio secretor, que delimita um amplo lume de forma arredondada, onde a secreção se acumula, no entanto, apresentam formas diferentes em seção longitudinal, sendo assim, caracterizadas como glândulas secretoras esféricas (cavidades) ou canais secretores alongados (RODRIGUES; TEIXEIRA; MACHADO, 2011).

Pesquisas realizadas em diferentes espécies de *Copaifera* spp. evidenciam que cavidades e canais secretores estão presentes em todo o eixo da planta, em todos os estágios de crescimento, desde a fase de plântula até o indivíduo adulto (RODRIGUES; TEIXEIRA; MACHADO, 2011; MILANI; ROCHA; TEIXEIRA, 2012; BUARQUE, 2013).

Quanto à origem, os canais secretores podem ser: lisígenos – quando são originados pela dissolução de células parenquimáticas (processo lisígeno), ou esquizógenos – quando são resultantes da separação destas células (processo esquizógeno). No processo lisígeno, células parcialmente desintegradas, aparecem ao longo da periferia do lume, enquanto que no processo esquizógeno, o lume é delimitado por células intactas. Os processos lisígeno e esquizógeno podem ainda combinar-se para formar cavidades/canais secretores, num processo denominado esquizo-lisígeno, onde a formação da cavidade/canal inicia-se com a separação das células, mas durante o desenvolvimento, estas sofrem autólise, após a ampliação do lume (LANGENHEIM, 1973; ESAU, 1974; LANGENHEIM, 2003; MILANI, 2009).

Em *C. langsdorffii* foi observado que os canais secretores presentes no parênquima marginal, originam-se a partir do afastamento das células do parênquima (processo esquizógeno), onde, estas inicialmente encontram-se justapostas. O processo de separação das células do parênquima é evidenciado pela formação de uma pequena cavidade, que ao progredir dá origem à espaços intercelulares grandes e longos, caracterizando um canal axial secretor, cujas células de parede primária, que delimitam o canal secretor, correspondem às células epiteliais que são principalmente, axiais, podendo ser eventualmente radiais. (MARCATI; ANGYALOSSY-ALFONSO; BENETATI, 2001). Estudos realizados por Rodrigues, Teixeira e Machado (2011) com *C. langsdorffii* também indicam que as estruturas

secretoras internas se originam esquizogenamente, embora os autores ressaltarem que processos esquizo-lisígenos possam ocorrer ao longo de seu desenvolvimento.

A formação de cavidades secretoras em *C. trapezifolia*, também se dá por meio de processo esquizógeno e segundo o autor, as cavidades secretoras nesta espécie, originam-se de células do meristema fundamental, onde uma célula se divide repetidas vezes, sendo a primeira divisão periclinal e as demais (células filhas) anticlinais. Após três divisões consecutivas, ocorre a formação do lume por meio de separação das células. À medida que o lume aumenta em diâmetro, as células continuam a se dividir, formando um epitélio unisseriado (cavidade adulta). Nesta fase, inicia-se o processo de síntese dos metabólitos (MILANI, 2009).

Durante este processo, as células epiteliais apresentam-se polarizadas, com núcleo próximo à parede periclinal interna, que delimita o lume, e citoplasma próximo à parede periclinal externa. O Citoplasma é abundante em mitocôndrias e retículos endoplasmáticos - RE (lisos e rugosos), estes (RE) formam círculos ao redor das vesículas e plastídios. Vesículas de conteúdos distintos (elétron-densos/elétron-opacos) são produzidas nos RE, estas se unem formando vesículas maiores, as quais penetram as paredes celulares anticlinal e periclinal interna, através de invaginação da membrana plasmática, ocorrendo a fusão de membranas, sendo então transportadas em direção ao lume, caracterizando secreção do tipo granulócrina (MILANI, 2009). Em *C. langsdorffii*, a secreção foi considerada do tipo halócrina - quando há desintegração de células para liberação da secreção no lume (RODRIGUES; TEIXEIRA; MACHADO, 2011).

Baseando-se no estudo ultraestrutural associado à histolocalização do oleorresina nas cavidades secretoras de *C. trapezifolia*, Milani (2009) supõe que o constituinte resinoso da secreção, seja produzido nos RE e plastídios, e transportado pelas vesículas produzidas por estas organelas, enquanto que o componente oleoso deve ser produzido nos RE lisos.

A produção e secreção de terpenos pelas células epiteliais podem estar associadas com características ultraestruturais. A presença de gotículas de óleo no interior do vacúolo, e dispersas no citoplasma das células epiteliais que delimitam as cavidades secretoras, pode estar relacionada com a elevada atividade metabólica das células, uma vez que muitas mitocôndrias são observadas nas células meristemáticas, que originam as epiteliais; e nas epiteliais em todas as fases de desenvolvimento das cavidades secretoras (RODRIGUES; TEIXEIRA; MACHADO, 2011; MILANI; ROCHA; TEIXEIRA, 2012; BUARQUE, 2013), sendo esta organela comumente encontrada em células com elevada atividade metabólica, que requerem muita energia, como divisão celular e síntese e secreção de substâncias (FAHN,

1988). Além disso, a presença de conteúdo elétron-denso nos plastídios, vacúolos e RE liso, sugere que estas organelas estejam envolvidas no processo de síntese e no transporte de terpenos (RODRIGUES; TEIXEIRA; MACHADO, 2011; BUARQUE, 2013).

Ainda não há registros na literatura de estudos ultraestruturais, com detalhamento do processo de formação de cavidades secretoras e síntese dos metabólitos constituintes do oleorresina para a espécie *C. multijuga*.

3.4.3 Variabilidade de produção do oleorresina de copaíba

Diversos trabalhos incluindo diferentes espécies de *Copaifera* spp. têm demonstrado grandes variações na quantidade de oleorresina produzido, variando não só entre espécies, mas entre indivíduos de uma mesma espécie e população natural, incluindo desde indivíduos altamente produtivos a não produtivos (ALENCAR, 1982; PLOWDEN, 2001; RIGAMONTE-AZEVEDO, 2004; MEDEIROS; VIEIRA, 2008; NEWTON; WATKISON; PERES, 2011; MARTINS et al., 2013).

Rigamonte-Azevedo, Wadt, P. e Wadt, L. (2006) avaliando a produção de oleorresina de diferentes morfotipos de *Copaifera* spp. no Acre, verificaram diferenças significativas entre os mesmos, com produção média variando de 1,57 a 3,84 litros. Dentre as espécies estudadas por Souza (2010) no Estado de Rondônia, *C. multijuga* e *C. piresii* foram as que tiveram maior produtividade, variando de 0,01 a 3,6 litros e de 0,01 a 5,0 litros, respectivamente. Estudo realizado em Manaus, Amazonas observou grande variação na produção com amplitudes de 0,001 a 7,2 litros de oleorresina produzido, sendo que árvores de maior diâmetro produziram 16 vezes mais que árvores menores (MEDEIROS; VIEIRA, 2008). Dentre as espécies avaliadas no Médio Juruá (Amazonas), *C. multijuga*, apresentou maior produção que as demais espécies estudadas, com média de 0,5 litro.árvore⁻¹, sendo a árvore de maior produção com 4,24 litros (NEWTON; WATKINSON; PERES, 2011). Além da produção por árvore, outro fator que afeta a produção total de oleorresina em uma determinada área, é a proporção de árvores produtivas (árvores com produção > 1 ml), não produtivas e ocas (RIGAMONTE-AZEVEDO, WADT, P.; WADT, L., 2006). Muitos autores têm registrado grande percentual de árvores não produtivas dentro de uma mesma população natural (Tabela 1).

Tabela 1– Proporção de árvores produtivas, não produtivas e ocas de *Copaifera* spp. em diferentes estudos realizados na Amazônia Brasileira

Autor	Localidade	Espécie	Árvores			
			Drenadas (nº)	Prod. (%)	Não Prod. (%)	Ocas (%)
Alencar (1982)	Reserva Ducke (Amazonas)	<i>C. multijuga</i>	82	48,78	34,1 5	17,07
Plowden (2001)	RI - Auto Rio Guamá (Pará)	<i>Copaifera</i> spp.	70	25,72	55,71	18,57
Rigamonte-Azevedo, Wadt, P. e Wadt, L. (2006)	Tarauacá	<i>Copaifera</i> spp.	115	40	50,4	9,6
	Xapuri (Acre)	<i>Copaifera</i> spp.	273	28,94	58,24	12,82
Medeiros e Vieira (2008)	Reserva Ducke (Amazonas)	<i>C. multijuga</i>	43	63	37	...
Newton, Watkinson e Peres (2011)	RESEX Médio Juruá	<i>C. multijuga</i>	60	63,3	26,7	10
	RDS Uacari (Amazonas)	<i>Copaifera</i> spp.	119	29,32	63,86	6,72
Azeredo e Sampaio (2010)	Província petrolífera de Urucu (Amazonas)	<i>Copaifera</i> spp.	83	61,45	25,3	13,25
Souza (2010)	RI - Igarapé do Lourdes (Rondônia)	<i>Copaifera</i> spp.	200	40,5	59,5	...

* Os percentuais de árvores produtivas, não produtivas e ocas foram calculados conforme as informações fornecidas por cada autor

3.4.4 Fatores que podem influenciar na produção do oleorresina de copaíba

Vários fatores como ciclo de produção, diâmetro e altura das árvores, período de coleta (sazonalidade), tipo de solo, competição e ataque de pragas, dentre outros, têm sido estudados no sentido de entender estas variações na produção de oleorresina, principalmente entre indivíduos de uma mesma espécie, e população natural (ALENCAR, 1982; FERREIRA; BRAZ, 2001; PLOWDEN, 2003; OLIVEIRA; LAMEIRA; ZOGHBI, 2006; RIGAMONTE-AZEVEDO; WADT, P.; WADT, L., 2006; MEDEIROS; VIEIRA, 2008; NEWTON; WATKINSON; PERES, 2011; MARTINS et al., 2013; KLAUBERG et al., 2014).

O diâmetro do tronco das árvores de copaíba é considerado por alguns autores como importante, influenciando diretamente na produção do oleorresina. Medeiros e Vieira (2008)

estudando a produção de *C. multijuga* encontram uma correlação positiva e significativa entre o diâmetro do tronco das árvores e a produção do óleo, indicando que o diâmetro ideal para a extração de óleo (em quantidade) é acima de 40 cm. Tendências significativas de aumento da produção de oleorresina com o aumento do diâmetro foram observadas em *C. multijuga* e *C. guyanensis* (NEWTON; WATKINSON; PERES, 2011). Resultados obtidos por Alencar (1982) para *C. multijuga* indicaram correlação positiva da produção de oleorresina com o DAP do tronco e a altura das árvores, todavia, não significativa estatisticamente.

Em estudos realizados em diferentes espécies e localidades da Amazônia, apesar de não terem encontrado uma correlação linear entre o diâmetro (DAP) das árvores com a produção, verificou-se maior produção em árvores com amplitude de DAP de 50-90 cm (PLOWDEN, 2003; RIGAMONTE-AZEVEDO; WADT, P.; WADT, L., 2006; SOUZA, 2010; SILVA, C., 2014). Um senso comum entre alguns autores é que árvores de diâmetro do tronco extremo (muito pequeno ou muito grande) não produzem oleorresina (ALENCAR, 1982; PLOWDEN, 2003; MEDEIROS; VIEIRA, 2008).

Segundo estudo realizado por Plowden (2003), as dimensões relativas das sessões de alburno, cerne, e ocos no fuste da árvore é que determinam os limites das zonas de produção e armazenamento de oleorresina e que tais zonas de produção se encontram próximas à medula (cerne). O autor verificou ainda, uma tendência de aumento do diâmetro do cerne com o diâmetro total da árvore, evidenciando assim, a influência do diâmetro na produção de oleorresina.

Além do diâmetro das árvores, o período sazonal de execução da coleta do oleorresina, em função da disponibilidade de água, tem sido apontado como um fator importante para a condução do manejo desse recurso natural, sendo sua influência na produção de oleorresina amplamente estudada ao longo da Amazônia Brasileira (ALENCAR, 1982; FERREIRA; BRAZ, 2001; PLOWDEN, 2003; OLIVEIRA; LAMEIRA; ZOGHBI, 2006; MEDEIROS; VIEIRA, 2008; BARBOSA; SCUDELLER; ROSA, 2009; MARTINS, et al., 2013). De acordo com o conhecimento empírico das comunidades tradicionais da Amazônia, a época ideal para se coletar o óleo de copaíba é durante a estação chuvosa, pois segundo os extratores “as copaibeiras ficam secas durante o verão (período seco)” (comunicação pessoal).

Estudos realizados com *C. multijuga* no Estado do Amazonas observaram maior produção de oleorresina durante a estação chuvosa, porém não significativos estatisticamente (ALENCAR, 1982; MEDEIROS; VIEIRA, 2008; BARBOSA; SCUDELLER; ROSA, 2009). Resultados semelhantes foram encontrados por Plowden (2003) para *Copaifera* spp. no Pará.

Martins et al. (2013) estudando quatro espécies de *Copaifera* spp., em quatro estados da Amazônia Brasileira verificou maior percentual de árvores produtivas durante a estação chuvosa. Estes resultados corroboram o conhecimento tradicional e há muito tempo utilizado pelas comunidades amazônicas. Por outro lado, resultados contrários têm sido obtidos, com maior produção de oleorresina ocorrendo no período seco (FERREIRA; BRAZ, 2001; OLIVEIRA; LAMEIRA; ZOGHBI, 2006). Contudo, é válido ressaltar que independentemente dos resultados obtidos, a maioria destes estudos utilizam conjuntos de árvores diferentes para avaliar as diferenças de produção entre as estações climáticas (FERREIRA; BRAZ, 2001; PLOWDEN, 2003; BARBOSA; SCUDELLER; ROSA, 2009; MARTINS, et al., 2013), com alguns deles utilizando até mesmo localidades e/ou espécies distintas, analisando como um único conjunto de dados (FERREIRA; BRAZ, 2001; MARTINS, et al., 2013), o que se leva a supor que outros fatores como diversidade genética, espécie, DAP, tipo de solo e agentes bióticos, dentre outros, possam estar contribuindo para esta divergência de resultados.

A variação na produção de oleorresina entre árvores localizadas em diferentes ambientes tem sido relatada na literatura, onde se tem verificado maior percentual de árvores produtivas sobre solos argilosos em comparação aos arenosos, ao passo que árvores localizadas em ambientes de terra-firme apresentam maior produção de oleorresina que aquelas situadas em ambientes de áreas alagadas (várzea) (ALENCAR, 1982; FERREIRA, 1999; NEWTON; WATKISON; PERES, 2011). Contudo, avaliando-se a produção média de oleorresina em diferentes ambientes de terra-firme (baixio – solo mais arenoso e platô – solo argiloso; floresta aberta e densa; e teor (%) de argila no solo), esta parece ser independente dos tipos de ambientes acima citados (RIGAMONTE-AZEVEDO; WADT, P.; WADT, L., 2006; MEDEIROS; VIEIRA, 2008).

De acordo com o modelo de probabilidade gerado por Silva, C. (2014), as variáveis independentes; presença/ausência de pragas, e diâmetro da árvore (DAP), foram as que apresentaram maior probabilidade de uma determinada árvore produzir oleorresina em uma primeira extração. A autora relata ainda, que com a presença de pragas, há 8,97 vezes mais chances de encontrar óleo do que em árvores sem praga.

A presença de uma determinada praga, agiria como um estímulo à produção de oleorresina, como um mecanismo de defesa da planta, uma vez que muitos terpenos presentes na composição química desses óleos, são responsáveis pela resistência da planta a ataques microbianos e pela proteção contra predadores, principalmente herbívoros e patógenos (LANGENHEIM et al., 1986; ARRHENIUS; LANGENHEIM, 1983).

Medeiros e Vieira (2008) verificaram que a maioria das árvores que produziram oleorresina estava infestada com cupins, havendo diferenças significativas entre árvores produtivas e não produtivas com a presença/ausência de cupins. Alguns autores têm relacionado a produção de oleorresina, como uma resposta de reação das árvores aos agentes bióticos, como fungos e insetos (principalmente o cupim, considerado o inimigo natural da copaíba, assim como o ataque de herbívoros) (LANGENHEIM et al., 1986; MACEDO; LANGENHEIM, 1989).

Ataques microbióticos, como fungos e outros agentes causadores de doenças, bem como a herbívora podem atuar em conjunto com a disponibilidade de água durante a estação chuvosa, na indução de produção de oleorresina pelas copaibeiras, uma vez que, o aumento da umidade relativa do ar nesta estação pode favorecer a infestação de fungos e a herbívora (MARTINS et al., 2013).

3.4.5 Definição dos ciclos de produção de oleorresina de copaíba

O tempo de repouso entre coletas sucessivas numa mesma árvore, ou ciclo de produção é um ponto crucial para as recomendações do manejo do oleorresina de copaíba, e apesar de muitos estudos abordarem o tema, ainda não há um consenso quanto ao ciclo de produção ideal a ser adotado, tendo em vista, que cada autor adota um ciclo de produção, de acordo com seus objetivos e recursos disponíveis (ALENCAR, 1982; PLOWDEN, 2001; MEDEIROS; VIEIRA, 2008; NEWTON; WATKINSON; PERES, 2011; MARTINS et al., 2013).

Vários estudos têm demonstrado declínio da produção de oleorresina após a 1ª extração no tronco das árvores (ALENCAR, 1982; PLOWDEN, 2003; MEDEIROS; VIEIRA, 2008, NEWTON; WATKINSON; PERES, 2011; MARTINS et al., 2013) explicado pela retirada total do oleorresina sintetizado pela árvore, durante sua vida até aquele momento (PLOWDEN, 2003). No entanto, após a segunda extração, espera-se que a sua produção se mantenha constante.

O tempo necessário para que a árvore de copaíba sintetize e acumule o oleorresina em quantidade comercial suficiente em uma nova coleta, ainda, não é bem definido. Plowden (2003) recomenda um intervalo de 6-24 meses para nova extração, enquanto que Leite et al. (2001) recomendam um período mínimo de três anos, entre coletas sucessivas de oleorresina de copaíba. Muitas comunidades tradicionais na Amazônia, adotam um período de dois anos

de descanso das árvores de copaíba entre as extrações do óleo, aplicando um sistema de rodízio entre árvores.

Klauber et al. (2014) estudando diferentes ciclos de produção de oleorresina, os quais variaram de um a cinco anos de intervalo entre coletas sucessivas, verificaram que o ciclo de três anos foi o mais satisfatório em termos de produção de oleorresina. Através de modelos de probabilidade, os autores constataram ainda, que a variável ciclo de produção foi a mais significativa em relação à maior probabilidade de presença de oleorresina, para uma segunda ou terceira extração no mesmo indivíduo.

3.5 Dendrocronologia

3.5.1 Definição

A partir do estudo dos anéis de crescimento do lenho das árvores e arbustos, desenvolveu-se uma ciência chamada dendrocronologia. A palavra dendrocronologia provém do grego “*dendron*”, que significa árvore, “*Kronos*” (tempo) e “*logos*” (ciência), definida como um campo das ciências florestais e ambientais que se dedica ao estudo dos anéis, ou camadas de crescimento do lenho e a sua relação com a idade das árvores (TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001; ALVARADO, 2009). É definida também, como a ciência que estuda a datação e a reconstrução de eventos tais como: clima, incêndios florestais, atividades vulcânicas, dentre outros, a partir das características dos anéis de crescimento (FRITTS, 1976).

Através da dendrocronologia é possível determinar a idade e a taxa de crescimento das árvores, bem como o efeito das variações ecológicas e ambientais sobre a formação dos anéis de crescimento, sejam elas naturais ou advindas de ações antrópicas (TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001). O estudo dendrocronológico permite ainda, a identificação e a reconstrução de eventos climáticos do passado, assim como, das alterações ambientais naturais, da dinâmica de populações florestais e dos recursos hídricos (BOTOSSO; MATOS, 2002).

3.5.2 Métodos utilizados para estimar a idade das árvores

Na dendrocronologia são utilizados vários métodos para se determinar a taxa de crescimento radial e a idade de uma árvore, podendo ser dinâmicos ou estáticos (VETTER, 2000; PALERMO; LATORRACA; ABREU, 2002). Dos métodos dinâmicos, podem ser

citados: as análises fenológicas, que são de grande utilidade para identificar períodos de sazonalidade do crescimento, que induz características anatômicas, da dormência ou a diminuição do ritmo de crescimento (VETTER, 2000; BOTOSSO; MATOS, 2002; PALERMO; LATORRACA; ABREU, 2002); a avaliação da taxa de crescimento por medições contínuas do crescimento em diâmetro do tronco das árvores, através de faixas dendrometrias; ferimento ou marcação cambial, que consiste em provocar ferimentos no câmbio vascular em período predeterminado ocasionando uma cicatriz no lenho de datação conhecida (VETTER, 2000; MARIA, 2002; PALERMO; LATORRACA; ABREU, 2002). Dos métodos estáticos citam-se: datação por isotópicos radioativos, como medições por radiocarbono (C^{14}); densitometria de raios X, contagem direta dos anéis de crescimento anuais a partir da identificação anatômica, etc. (WORBES, 1995; ROIG, 2000; BOTOSSO; MATOS, 2002; PALERMO; LATORRACA; ABREU, 2002; CASTRO, 2011).

3.5.3 Densitometria de raios X

A determinação da densidade do lenho através de técnicas que utilizam a radiação, como a microdensitometria de raios X, teve início na década de 1960. A técnica consistia em comparar as cunhas de calibração com as amostras do lenho dispostas sobre filmes radiográficos e, em seguida, sob uma fonte de raios X. Após a revelação, os filmes eram analisados em microdensitômetro, com os valores de densidade ótica transformados em densidade aparente do lenho (POLGE, 1965). Uma das principais vantagens desta técnica era o registro radiográfico permanente das amostras do lenho utilizadas, e a alta sensibilidade e a resolução aliadas à velocidade no processamento dos dados e sua interpretação através dos perfis radiais da densidade (SILVA; LOUZADA, 2001).

Com o avanço das pesquisas, a técnica de densitometria de raios X foi aprimorada. Atualmente, utilizados equipamentos como o QTRS-01X (Quintek Measurement Systems, Inc.) determinando-se a densidade aparente do lenho e dos anéis de crescimento pela passagem de um feixe colimado de raios X pela amostra, dispensando o uso dos filmes radiográficos (CASTRO, 2011).

Diversos trabalhos com espécies de clima temperado, tropicais e subtropicais vêm utilizando a técnica de densitometria de raios X para a demarcação e mensuração da largura dos anéis de crescimento, determinação da periodicidade da formação dos anéis de crescimento, determinação da variação de densidade inter e intra-anéis de crescimento,

correlação entre a densidade e precipitação, etc. (ALVARADO et al., 2010; CASTRO, 2011; CHAGAS, 2013).

A densitometria de raios X foi originalmente aplicada em espécies tropicais, no sentido de identificar o limite dos anéis de crescimento, quando os mesmos eram de difícil visualização (microscopicamente), através da diferença de densidade entre lenho inicial e tardio (PALERMO; LATORRACA; ABREU, 2002). Embora a densitometria de raios X auxilie na identificação do limite dos anéis de crescimento, em estudos realizados por Gourlay (1995), o método não conseguiu produzir imagens que possibilitassem a determinação exata da idade em árvores *Acacia* sp.

A aplicação da técnica de densitometria de raios X em amostras de espécies arbóreas de terra-firme na Amazônia brasileira, não apresentou resultados satisfatórios quando comparado à anatomia da madeira e mensuração dendrométrica na delimitação dos anéis de crescimento (VETTER; BOTOSSO, 1989). Os autores atribuem estes resultados à complexa estrutura anatômica das madeiras com alta densidade, com presença de zonas fibrosas alternadas com parênquimas e vasos, causando oscilações rápidas nas variações da densidade inter-anelar, que são muitas vezes, não distinguíveis das variações da densidade no limite do anel.

Contudo, a demarcação dos anéis de crescimento através do perfil radial de densidade, pode apresentar maior precisão, quando comparada com a imagem da respectiva sessão transversal polida, pela visualização e correspondência dos anéis de crescimento, podendo ser uma importante ferramenta para a determinação exata dos limites dos anéis de crescimento e na identificação de falsos anéis (ALVARADO, et al., 2010).

No que se refere à densidade da madeira, esta pode variar entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie, em diferentes partes de uma árvore e sentidos do tronco (FERREIRA, 2013). Existe mais variabilidade nas características do lenho no tronco de uma mesma árvore, do que entre árvores crescendo em um mesmo sítio ou em sítios diferentes, com maior variação de densidade dentro de um mesmo anel de crescimento, devido à formação de lenho inicial (largo e de baixa densidade) e tardio (mais estreito e de maior densidade). Há também um padrão de densidade do lenho nos sentidos medula-casca, da base para o topo, e em diferentes lados do tronco (ALVARADO, 2009; FERREIRA, 2013).

A variação da densidade do lenho nos sentidos radial e longitudinal do tronco das árvores é de natureza anatômico-fisiológica (ALVARADO, 2009), como a dimensão das células e espessura da parede celular, que por sua vez são influenciadas pela natureza e teor de auxinas produzidas e exportadas pelas gemas terminais e vigorosas porções da copa das

árvores, durante a estação de crescimento (HAYGREEN; BOWYER, 1982; NUGROHO et al., 2012).

3.5.4 Contagem dos anéis de crescimento no lenho do tronco das árvores

A contagem dos anéis de crescimento é a metodologia mais precisa para determinar a idade de uma árvore. O estudo anatômico do lenho é necessário para a definição da estrutura das camadas de crescimento e o limite dos anéis de crescimento. Uma datação absoluta é possível quando conhecida a atividade cambial, considerando que a existência dos anéis de crescimento não indica, necessariamente, que sejam anuais ou formados com periodicidade (ROIG, 2000). Quando são analisados anéis de crescimento do lenho de árvores de plantações, com idade conhecida, a comparação do número de anéis e a idade da árvore possibilita comprovar a anuidade de formação dos anéis de crescimento (PALERMO; LATORRACA; ABREU, 2002).

A determinação da idade das árvores pela contagem dos anéis de crescimento anuais pode ser feita em amostras do lenho, obtidas por métodos destrutivos e não destrutivos. Nos métodos destrutivos, a árvore é cortada e retirado um disco do lenho, geralmente próximo da base, o qual é preparado para a datação. O método não destrutivo consiste na extração de amostras do lenho das árvores vivas com auxílio de sonda de incremento, que são submetidas à secagem e polimento para a visualização dos anéis de crescimento e posterior datação. Além da contagem, mensura-se a largura dos anéis de crescimento em mesa de medição ou programas específicos de análise de imagens, gerando informações importantes sobre o ritmo de crescimento das árvores (PALERMO; LATORRACA; ABREU, 2002).

O procedimento de marcação dos padrões anuais de variação na largura dos anéis de crescimento entre amostras do lenho de uma mesma árvore e entre árvores de uma mesma população é denominado co-datação. Este consiste em demarcar os padrões dos anéis de crescimento, identificando os anéis pouco conspícuos e/ou falsos, formados em resposta à influência ambiental. Condições ambientais extremas ocorrentes nas estações de crescimento podem induzir as árvores a formar anéis de crescimento falsos, confundidos, eventualmente, com o lenho tardio (RAUBER, 2010).

Para a identificação de anéis de crescimento faltantes ou anéis de crescimento falsos e obtenção de uma cronologia precisa é necessário coletar várias amostras do lenho/árvore, obedecendo ao “Princípio da repetição”, o qual, estabelece que “um sinal ou fator ambiental analisado, pode ser maximizado e a quantidade de ruído minimizada pela amostragem de mais

de um raio por árvore e várias árvores por sítio”. Quando se tem uma ampla amostragem de árvores em um mesmo sítio, assegura-se que a quantidade de ruído (normalmente, um fator ambiental, que não se está estudando), seja minimizada. Enquanto, a retirada de mais de uma amostra/tronco (árvore), diminui a quantidade da variabilidade dentro de uma mesma árvore, ou seja, o valor de um sinal ambiental não desejável, característico presente em uma única árvore é reduzido (TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001).

3.5.5 Formação dos anéis de crescimento no lenho do tronco das árvores

Os anéis ou camadas de crescimento correspondem ao crescimento secundário das árvores, ou seja, crescimento diametral, constituídos pelo lenho inicial e tardio. O lenho inicial corresponde à porção de lenho formado no período com condições ambientais favoráveis e elevada atividade fisiológica da árvore. À medida que as condições ambientais/climáticas da estação de crescimento alteram-se, a camada cambial diminui gradativamente a sua atividade fisiológica, com os elementos do xilema, formando parede espessa e menor lume, característico de lenho tardio, mais escuro em relação ao inicial (ESAU, 1974; BOTOSSO; MATOS, 2002).

A atividade cambial que resulta na formação dos anéis de crescimento, sofre influência de fatores como genótipo da árvore (crescimento, forma, longevidade, sensibilidade dos anéis de crescimento e da estrutura anatômica); fatores bióticos e abióticos (luz, temperatura, disponibilidade de água e nutrientes, vento, poluição do solo e do ar, fogo, competição intra e interespecífica, etc.) (TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2001).

Os anéis de crescimento com periodicidade de formação são induzidos por uma alternância da sazonalidade dos fatores ambientais. Geralmente estes fatores de estímulo e de estresse sazonais, são relacionados às condições climáticas. Em zonas temperadas, o fator de estresse é a baixa temperatura (inverno) e nas tropicais, as estações de seca e inundações (WORBES, 1995).

A International Association of Wood Anatomists – IAWA COMMITTEE (1989) classifica os anéis de crescimento em: (i) anéis de crescimento com limite distinto com transição abrupta, incluindo mudança na espessura da parede e/ou no diâmetro da fibra ou traqueíde, ou com parede grossa (lenho tardio) em contraste com fina (lenho inicial); diferença no diâmetro dos vasos do lenho tardio e inicial; presença de parênquima marginal; traqueídes vasculares e elementos vasculares muito estreitos e numerosos, formando o lenho tardio e ausência do lenho inicial; diminuição da frequência das faixas de parênquima em

direção ao lenho tardio, resultando em zonas fibrosas distintas e (ii) anéis de crescimento com limites indistintos ou ausentes, sendo marcados por mudanças estruturais mais ou menos gradativas.

Os anéis de crescimento podem ser classificados em semi-porosos ou porosos. A porosidade refere-se ao tipo de dispersão dos vasos na seção transversal do lenho. Considerando como porosidade difusa, quando os poros estão dispersos de forma uniforme no lenho, independente do limite dos anéis de crescimento. A porosidade em anéis indica que os poros (vasos) de maior diâmetro estão dispostos de forma concêntrica no tronco, com os de maior diâmetro no lenho inicial. No anel semi-poroso, os poros com maiores diâmetros no lenho inicial têm gradativa diminuição no diâmetro no lenho tardio, e no anel poroso observa-se a presença dos poros de maior diâmetro no lenho inicial, porém, com brusca transição do diâmetro dos poros no lenho tardio (Figura 5) (BOTOSSO, 2009).

Figura 5 – Representações esquemáticas do tipo de porosidade da madeira: (A) difusa uniforme; (B) difusa não uniforme; (C) anel semi-poroso; (D) anel poroso. Fonte (BOTOSSO, 2009)

3.5.6 Formação de anéis de crescimento no lenho do tronco de árvores de espécies tropicais

Durante muito tempo acreditou-se que apenas as árvores das espécies de clima temperado formavam anéis de crescimento anuais, enquanto que as das espécies de clima tropical e subtropical não apresentavam sazonalidade cambial, pelas condições climáticas praticamente constantes ao longo do ano. Contudo, a existência de anéis de crescimento em árvores ocorrentes em regiões tropicais tem sido registrada em mais de 20 países (WORBES, 2002).

Muitos trabalhos têm enfatizado problemas relacionados à formação de anéis de crescimento anuais em árvores de espécies tropicais, isto porque, em muitas espécies tropicais e subtropicais, os anéis de crescimento correspondem ao período de chuva e de seca, de

inundação, queda das folhas, dormência, etc., podendo ocorrer mais de um ciclo por ano, logo, não são necessariamente anuais (BOTOSSO; MATOS, 2002). Observações fenológicas também possibilitam avaliar as alterações no ritmo cambial, auxiliando nos estudos de formação dos anéis de crescimento, bem como, das estratégias de crescimento das espécies para produzir uma característica anatômica, marcando a dormência do crescimento radial (JACOBY, 1989).

A formação de mais de um anel de crescimento por ano tem sido registrada em amostras de lenho de diversas espécies tropicais, sendo geralmente a formação desses anéis atribuída à ocorrência de padrões irregulares de distribuição de chuvas, com mais de um período seco por ano (GOURLAY, 1995; BORCHERT; RIVER; HAGNAUER, 2002). Jacoby (1989) estudando amostras do lenho de árvores de espécies provenientes do leste da África registrou a formação de dois anéis de crescimento/ano, sendo um anel correspondente a um curto período de chuva no meio do ano e outro, a um longo período de chuva no final do ano.

Apesar destes registros, muitos trabalhos em dendrocronologia têm reportado a formação de um anel de crescimento por ano (RAUBER, 2010). Um período de seca anual de dois a três meses e precipitação mensal inferior a 60 mm são suficientes para induzir a formação de anéis de crescimento anuais no lenho de árvores de espécies tropicais (WORBES, 1995).

Padrões anuais na formação do lenho têm sido encontrados em amostras de árvores de espécies tropicais nativas das florestas de inundação da Amazônia (florestas de várzea), causados por longos períodos de inundação (regime de cheia dos rios) (SCHONGART et al., 2002). Estudos realizados na Reserva Ducke (Manaus-AM) identificaram padrões estruturais no lenho de *Cedrella odorata* em resposta a mudanças climáticas cíclicas, com formação de anéis de crescimento anuais (BOTOSSO; VETTER; TOMAZELLO FILHO, 2000).

Em árvores de *Cedrella fissilis*, localizadas em uma área de floresta sub-tropical do Estado de São Paulo, foi observado que os períodos de atividade e dormência cambial coincidem com os períodos de chuva e de seca, respectivamente, com formação de camada de crescimento anual (MARCATI; ANGYALOSSY; EVERT, 2006).

Estudos preliminares com *Copaifera langsdorffii* mostraram um sinal comum nas séries cronológicas dos indivíduos estudados, indicando um ciclo sazonal de crescimento, com camadas de crescimento anuais (CHRISTIANO, 2010).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização das áreas de estudo

As pesquisas foram desenvolvidas na (i) Reserva Florestal Adolpho Ducke, em uma população natural de árvores de *C. multijuga* e na (ii) Estação Experimental de Silvicultura Tropical – EEST/INPA, em duas plantações de árvores de *C. multijuga* de um teste de progênies, de sementes coletadas de árvores nativas da espécie na Reserva Ducke.

Reserva Florestal Adolpho Ducke

Abrange uma área de 10 mil ha de florestas contínuas, localizada no Km 26 da rodovia AM-10, no município de Manaus, Amazonas, Brasil, nas coordenadas geográficas de 2° 57' 43" Sul e 59° 55' 38" Oeste, com o clima classificado como Af_i (Koppen), relevo ondulado e variação altitudinal de 100 metros entre os platôs e as partes mais baixas. A vegetação é constituída de floresta de terra-firme, com quatro habitats definidos de acordo com o relevo e tipo de solo, sendo (i) floresta de platô, (ii) de vertente, (iii) de campinarana e (iv) de baixio. O solo é argiloso (latossolo amarelo-álco) nos platôs (habitat preferencial das árvores de *C. multijuga*) e arenoso (podzóis e areias quartizosas) nas partes mais baixas (RIBEIRO et al., 1999) (Figura 6 e 7).

Estação Experimental de Silvicultura Tropical – EEST/INPA

Está localizada no Distrito Agropecuário da Suframa, com sede no km 43 da rodovia BR-174, no município de Manaus, Amazonas, nas coordenadas geográficas de 2°35'51,28'' Sul e 60°02'10,57'' Oeste, com o clima classificado como Af_i (Koppen) e variação altitudinal do platô de 100 - 150 m; temperatura média anual de 26,6°C, umidade relativa de 75-86% e precipitação anual de 1.750-2.500 mm (média 2.440 mm.ano⁻¹) (RIBEIRO; ADIS, 1984). A vegetação primária é classificada em (i) campina, (ii) campinarana, (iii) floresta de terra-firme sobre solo argiloso e (iv) floresta de terra terra-firme sobre solo arenoso. Os solos variam de Argissolos Vermelho-Amarelo a Latossolo Amarelo (RANZANI, 1980) (Figura 8 e 9).

Figura 6 – Mapa de localização da Reserva A. Ducke, em Manaus, Amazonas, Brasil, com detalhamento do sistema de trilhas e relevo. Fonte (Medeiros, 2006)

Figura 7 – Diagrama climático (precipitação e temperatura) da Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil, no período de 1901 a 2012 (Fonte: KNMI Climate Explore)

Figura 8 – Mapa de localização da Estação Experimental de Silvicultura Tropical – EEST/INPA, com a localização das plantações (plantação I – árvores provenientes de matrizes produtivas e plantação II – árvores provenientes de matrizes sem produção de oleorresina), Manaus, Amazonas, Brasil

Figura 9 – Diagrama climático (precipitação e temperatura) da Estação Experimental de Silvicultura Tropical - EEST/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil, no período de 1980 a 2012 (Fonte: KNMI Climate Explore)

Histórico das plantações

A partir de 14 matrizes de *C. multijuga*, selecionadas na Reserva Ducke, sendo sete matrizes com produção de oleorresina e sete matrizes sem produção de oleorresina, foi realizado um teste de progênies, onde, a partir das sementes coletadas das árvores matrizes foram produzidas e selecionadas 840 mudas, sendo (i) 420 mudas de matrizes produtivas (60 mudas/matriz) e (ii) 420 mudas de matrizes não produtivas (60 mudas/matriz). As mudas de *C. multijuga* foram plantadas em duas parcelas, no espaçamento de 3 x 4 m, sendo (i) Plantação I – com mudas provenientes de árvores produtivas e (ii) Plantação II – com mudas provenientes das árvores não produtivas. As plantações foram realizadas em 1980, na Estação Experimental de Silvicultura de Tropical - EEST/INPA, pelo Pesq. Jurandyr da Cruz Alencar, visando estudar a produção de oleorresina, analisando a variação genética, a idade ideal das árvores para a sua coleta, a sua composição química, a produção anual/árvore, a seleção de árvores porta-sementes e melhoramento genético para a produção de oleorresina (HIGUCHI, 1981) (Figura 10).

Figura 10 – Plantações de *Copaifera multijuga* Hayne (33 anos de idade): (A, B) Plantação I – mudas provenientes de mães produtivas e (C) Plantação II – mudas provenientes de mães não produtivas. EEST/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil

4.2 Seleção das árvores para o estudo

4.2.1 Seleção das árvores de *C. multijuga* em área de plantação

Nas duas plantações de *C. multijuga* da Estação Experimental de Silvicultura Tropical foram selecionadas 10 árvores/progênie em um total de 70 árvores/plantação, com base na avaliação do DAP (selecionadas as 10 árvores de maior DAP/progênie) e da qualidade do tronco (sem bifurcação ou com bifurcação o mais alto possível em relação à base do tronco, mínimo de 50 cm de distância da base).

4.2.2 Seleção das árvores de *C. multijuga* em área de população natural

Nas populações naturais da Reserva Ducke foram inicialmente selecionadas 60 árvores de *C. multijuga* analisando o DAP (> 30 cm) e o estado de fitossanidade do tronco (externamente) e da copa. Estas árvores apresentam diferentes históricos de extração de oleorresina, sendo que 30 árvores foram selecionadas de um grupo de 82 árvores, estudadas na década de 70. Inicialmente, foi realizado um inventário em abril de 2012, para identificar as árvores, verificar se estavam vivas e seu estado fitossanitário. A última extração de oleorresina nessas árvores ocorreu em 1980, sendo que as árvores permaneceram 32 anos em repouso (sem realização de extração de oleorresina). Outras 30 árvores foram selecionadas de um grupo de 43 árvores estudadas em 2004/2005, que permaneceram sete anos em repouso. Todas as árvores de *C. multijuga* selecionadas foram identificadas, numeradas (de acordo com o grupo de origem) e georeferenciadas (Figura 11).

Figura 11– Distribuição espacial das árvores de *Copaifera multijuga* Hayne selecionadas para estudo na Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. Copaíba J (árvores com 32 anos de repouso) e Copaíba R (árvores com 7 anos de repouso)

Histórico das árvores de *C. multijuga* selecionadas

As árvores com sete anos de repouso sofreram três extrações de oleorresina, a 1ª em novembro/2004, a 2ª em maio/2005 e a 3ª em novembro/2005, permanecendo em repouso até junho/2012. As árvores com 32 anos de repouso sofreram seis extrações de oleorresina, a 1ª em março-junho/1977, a 2ª de dezembro/1977 a janeiro/1978, a 3ª de setembro-novembro/1978, a 4ª de setembro-novembro/1979, a 5ª de maio-junho/1980 a 6ª em dezembro/1980, permanecendo em repouso até junho/2012.

Coleta de material botânico para identificação/confirmação da espécie

Durante o período de floração (fevereiro) do ano de 2013, foi realizada coleta de material botânico fértil de 18 árvores das 60 selecionadas para o estudo, tendo como critério de seleção, árvores com floração, incluindo árvores com e sem produção de oleorresina. O material coletado foi prensado e encaminhado ao herbário do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, onde foram devidamente identificados botanicamente como *Copaifera multijuga* Hayne e suas excisas catalogadas e depositadas no referido herbário (Anexo B).

4.3 Extração de oleorresina

4.3.1 Extração de oleorresina em árvores de *C. multijuga* de plantação

Em virtude do menor diâmetro do tronco das árvores das plantações, no processo de extração da oleorresina, utilizou-se a sonda de Pressler para a perfuração do tronco, retirando-se as amostras do lenho do tronco das árvores para serem utilizadas nos estudos dendrocronológicos (vide item 4.7). As árvores de *C. multijuga* foram classificadas em (i) produtoras de oleorresina, quando houve escoamento pelo orifício do tronco e/ou presença de oleorresina no lenho extraído com a sonda e (ii) não produtoras de oleorresina, sem escoamento e/ou presença nas amostras do lenho (Figura 12). Para verificar diferenças entre árvores produtoras e não produtoras de oleorresina, em relação à matriz de origem foi realizada estatística descritiva dos dados.

Figura 12 – Produção de oleorresina no tronco de árvores de *C. multijuga* de plantação. EEST/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil: (A, B) árvores com escoamento de oleorresina durante a coleta de amostras do lenho (classificadas como produtivas) e (C) Árvore sem escoamento de oleorresina (não produtiva)

4.3.2 Extração de oleorresina em árvores de *C. multijuga* de população natural

No processo de extração do oleorresina das árvores com sete anos de repouso, foi aplicado o método “tradicional” perfurando-se o seu tronco (aproximadamente 1 m de altura do solo) com trado metálico ($\frac{1}{4}$ de polegada de diâmetro) até atingir a região da medula. Em seguida, procedeu-se à coleta do oleorresina até o final, pelo esgotamento total, utilizando calhas de aço-inoxidável.

As árvores de *C. multijuga* apresentam diferentes velocidades/tempos de escoamento total do oleorresina, variando de algumas horas até 2-3 dias. Em função disso, durante a coleta do oleorresina, todas as árvores perfuradas foram monitoradas a cada 24 h após a perfuração do tronco, até que o fluxo do oleorresina cessasse, sendo monitorado por um período máximo de 72 h, fechando-se o orifício com tubo de PVC, tampa de rosca ($\frac{1}{2}$ polegada). Em junho de 2012 (sete anos após a última coleta, realizada em 2005), procedeu-se uma nova coleta do oleorresina produzido e armazenado pelas árvores durante este período, sem a necessidade de nova perfuração do tronco das árvores. Pela retirada da tampa-rosca de PVC (instalada em 2004), foi realizada nova coleta, aplicando o monitoramento do escoamento do oleorresina por 72 h e fechando o tubo de PVC, conforme descrito (Figura 13).

Figura 13 – Extração do oleorresina do tronco de árvores de *C. multijuga*. (A) abertura de orifício no tronco com trado; (B) instalação de calha de aço-inoxidável para a coleta do oleorresina; (C, D) escoamento e coleta do oleorresina (1ª extração); (E) fechamento do orifício do tronco com cano de PVC e tampa de rosca; (F) abertura da tampa de PVC para a coleta do oleorresina após sete anos de repouso; (G, H, I, J) coleta do oleorresina

Nas árvores de *C. multijuga* mantidas em repouso por um período de 32 anos, na 1ª extração do oleorresina (1977) utilizou-se trado de uma polegada, sendo o orifício fechado com cilindro de madeira. Em 2012, procedeu-se uma nova coleta de oleorresina nestas árvores, sendo que as mesmas foram novamente perfuradas (pelo mesmo método aplicado para as árvores com sete anos de repouso). Este procedimento (nova perfuração) foi aplicado, considerando (i) a impossibilidade da retirada do cilindro de madeira pela sua incorporação no tronco das árvores, ocasionado pelo processo de cicatrização; (ii) o maior diâmetro do trado da 1ª extração causando danos muito severos ao tronco das árvores e (iii) a padronização do processo da abertura do orifício no tronco e de coleta do oleorresina (Figura 14).

Figura 14 – Primeira extração de oleorresina realizada nas árvores com 32 anos de repouso. (A, B) árvore com orifício obliterado com madeira, sem o seu corte; (C) cicatrização do orifício do tronco para a extração do oleorresina com a madeira cortada. Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brsail

4.4 Monitoramento da produção de oleorresina em áreas de população natural

A 1ª coleta de oleorresina das 60 árvores matrizes de *C. multijuga*, após o período de repouso, foi realizada em junho/2012, no final da estação chuvosa, seguindo-se o monitoramento periódico da sua produção. Das 60 árvores, 20 foram selecionadas para a avaliação do efeito da sazonalidade na produção de oleorresina, pelo seu monitoramento a cada seis meses, por um período de dois anos. Nas demais 40 árvores foram realizadas coletas anuais por igual período (dois anos).

Para a determinação da produção anual de oleorresina das 20 árvores selecionadas para a avaliação do efeito sazonal, foi considerado o oleorresina extraído de duas coletas sazonais consecutivas, realizadas na 1ª semana de julho e 3ª semana de dezembro, a exceção da coleta inicial, que foi realizada na 2ª quinzena de junho (Tabela 2). O volume de oleorresina coletado do tronco das árvores foi quantificado (ml), armazenado em vidro âmbar e conservado (18° C) para as análises químicas (Figura15).

Figura 15 – Quantificação do oleorresina produzido/árvore de *Copaifera multijuga* Hayne, Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil

Tabela 2 – Calendário das coletas anuais e sazonais do oleorresina de *Copaifera multijuga* Hayne, e respectivos períodos de produção

Coleta inicial		Anual (1ª)		Anual (2ª)	
Coleta anual	Junho 2012	Período de produção		Período de produção	
		Jul/2012 a Jun/2013		Jul/2013 a Jun/2014	
		Coleta: Jul/13		Coleta: Jul/14	
Coleta sazonal	Junho 2012	Sazonal 1ª Jul/12 a Dez/12	Sazonal 2ª Jan/13 a Jun/13	Sazonal 3ª Jul/13 a Dez/13	Sazonal 4ª Jan/14 a Jun/14
		Coleta: Dez/12	Coleta: Jul/13	Coleta: Dez/13	Coleta: Jul/14
		Sazonal 1ª + Sazonal 2ª		Sazonal 3ª + Sazonal 4ª	

Avaliou-se a produção de oleorresina em função do (i) tempo (coletas); (ii) sazonalidade das coletas; (iii) diâmetro do tronco das árvores e (iv) % de cerne e (v) idade das árvores.

(i) Produção em função do tempo (Sustentabilidade da extração de oleorresina): na avaliação da produção em função do tempo, foram analisadas as produções anuais de oleorresina de cada grupo separadamente, de acordo com o tempo de repouso (ciclo de produção), sendo incluídas todas as árvores sadias, consideradas como produtivas em ambos os grupos. Foi realizada estatística descritiva dos dados comparando as produções anuais total de cada grupo. Para verificar a normalidade e homocedasticidade dos dados foram aplicados os testes de Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente. Para verificar a existência de diferenças significativas na produção de oleorresina entre coletas (tempo), foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido de teste de Wilcoxon-Mann-Whitney com a correção de Bonferroni.

(ii) Avaliação da produção de oleorresina em função da sazonalidade de coletas: na avaliação da produção em função da sazonalidade foi considerada a produção de oleorresina a cada seis meses, a partir de 2012, considerando as coletas no mês de dezembro (oleorresina produzido no período seco, de menor precipitação: julho-dezembro) e na 1ª semana de julho (oleorresina produzido no período chuvoso, de maior precipitação: janeiro-junho), não sendo incluída a 1ª coleta de oleorresina realizada logo após o período de repouso das árvores

(junho/2012) por representar o oleorresina produzido e armazenado no tronco das árvores por vários anos, incluindo os dois períodos sazonais. Foi realizada uma estatística descritiva comparando a produção total (somatório da produção de todas as árvores) em cada período sazonal, e as respectivas quantidades de chuva precipitada (média do período) em cada período sazonal avaliado, e com a precipitação total mensal do mês que foi realizada a coleta (precipitação pontual). Na análise da produção em função da precipitação pontual, para as coletas realizadas na primeira semana do mês de julho, foi considerada a precipitação total mensal do mês de junho. Para as coletas realizadas no mês de dezembro foi considerada a precipitação total mensal do referido mês. Em função da ausência de normalidade e homocedasticidade dos dados (Shapiro-Wilk e Bartlett, respectivamente), foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis, seguido do teste de Wilcoxon-Mann-Whitney, com a correção de Bonferroni para verificar possíveis diferenças significativas na produção de oleorresina entre os períodos sazonais.

(iii) Análise da produção de oleorresina em função do diâmetro do tronco das árvores:

para avaliar a produção em função do diâmetro das árvores foram utilizados os dados da produção inicial (primeira extração) de cada árvore e seus respectivos DAP's no ano da referida extração, avaliando todas as árvores como um único grupo, bem como, os dados referentes à coleta de 2012. Foram incluídas na análise todas as árvores sadias (sem oco) no momento da primeira extração, e que produziram oleorresina em pelo menos uma das coletas ao longo do monitoramento da produção, realizando-se análise de correlação de Pearson. Para melhor entendermos a influência do diâmetro das árvores na produção de oleorresina, também analisamos a relação produção x DAP, através da mudança de classe diamétrica das árvores ao longo do tempo. Para isto, foram utilizados os dados das árvores que permaneceram 32 anos sem extração, sendo aplicados os dados da primeira extração (1977) e os dados após o período de repouso (2012), onde a mudança de classe diamétrica, em função do crescimento radial do tronco das árvores, foi mais evidente.

(iv) Produção e percentual de cerne em relação ao incremento radial do tronco acumulado: para calcular o percentual de cerne foram utilizadas as amostras radiais do lenho do tronco das árvores retiradas com trado de incremento (ver item 4.7). Após o polimento das amostras (ver item 4.10) foi mensurada (cm) a distância entre a medula e o limite entre cerne/alburno de todas as amostras radiais de cada árvore, obtendo-se uma média por árvore.

Com os dados do incremento radial acumulado (IRA) de cada árvore (obtidos através dos dados de mensuração da largura dos anéis de crescimento - ver item 4.10) foi calculado o % de cerne de cada árvore. Foi realizada ainda, uma análise de regressão linear para verificar a existência de relação entre o percentual (%) de cerne e o diâmetro total do tronco das árvores de população natural. Para verificar a influência da quantidade de cerne na produção de oleorresina foi aplicada análise de correlação de Pearson, sendo utilizados os dados de produção referentes à coleta de 2012, ano de correspondência (idade) para o % de cerne. Nas análises foram incluídas todas as árvores sadias (sem oco) no momento da coleta (2012) e que apresentavam amostras de lenho com qualidade suficiente para determinar o limite cerne/alburno, visualizados através de microscópio estereoscópico.

(v) Avaliação da produção de oleorresina em função da idade das árvores: pelas análises dendrocronológicas prévias (ver item 4.10), foi estimada a idade das árvores, sendo confeccionada uma planilha, identificando a idade das árvores em cada coleta de oleorresina (Anexo C). Foram incluídas todas as árvores de ambos os grupos (32 e 7 anos de repouso), consideradas sadias na primeira coleta e cuja idade pode ser estimada. Foram ainda, realizadas análises de correlação de Pearson, considerando a produção da primeira extração e suas respectivas idades no ano da coleta. Foi verificado também em que momento (idade) as árvores diminuem o ritmo de produção e cessam a mesma, sendo ainda utilizadas as curvas de crescimento radial acumulado (IRA) para identificar o estágio de vida em que se encontra cada árvore no momento em que cessam a produção de oleorresina. Os cálculos de incremento radial acumulado são descritos no item (4.12). Foi avaliada também a relação diâmetro/idade e percentual de cerne/idade, sendo realizadas análises de correlação de Pearson.

Todas as análises estatísticas descritas nos itens (i, ii, iii, iv e v) foram realizadas no Software R 3.2.2.

4.5 Caracterização das propriedades físico-químicas do oleorresina

O oleorresina de *C. multijuga* foi caracterizado quanto à coloração, densidade e viscosidade:

(i) Coloração: a classificação da coloração das amostras de oleorresina, baseou-se na classificação de cores utilizada por Rigamonte-Azevedo, Wadt, P. e Wadt, L. (2004).

Contudo, ressalta-se que as classificações de coloração dos oleorresina existentes na literatura são subjetivas para cada autor (visual), inexistindo uma norma de padronização de cor.

(ii) Densidade: utilizou-se um densímetro digital de bancada (modelo dma 4500m, norma da ABNT NBR: 14065). As análises foram realizadas em temperatura de 15° C e 20°C, sendo injetado no densímetro 1 ml de oleorresina por repetição, com média de três repetições, sendo calculados a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação.

(iii) Viscosidade: utilizou-se um viscosímetro rotacional com princípio de funcionamento: velocidade de rotação de eixos metálicos ou “spindles” imersos em 40 ml de oleorresina, avaliando o torque requerido para rodar o sensor imerso, com “spindle” de referência L1, configurado a 100 rpm. As amostras de oleorresina foram analisadas a 24-25°C, com média de três repetições, sendo realizada análise descritiva dos dados (média, desvio padrão e coeficiente de variação). Verificaram-se as relações da viscosidade do oleorresina com o diâmetro do tronco e idade das árvores, sendo aplicado teste de Shapiro-Wilk e realizadas análises de regressão linear (software R 3.2.2.).

4.6 Análise da composição química do oleorresina por cromatografia

Nas análises cromatográficas do oleorresina foram utilizadas amostras da coleta de junho de 2012 (pós período de repouso), sendo que inicialmente, as amostras foram esterificadas com TMSD (solução de trimetilsilildiazometano 2 M, em hexano, Sigma-Aldrich) para derivatização dos ácidos carboxílicos aos seus ésteres metílicos correspondentes. No processo de derivatização das amostras foram utilizados 5 mg de oleorresina, sendo adicionados 220 µL de uma solução de metanol 10% em acetona e 30 µL do reagente de esterificação (TMSD). As amostras foram deixadas em repouso por 20 minutos e em seguida foram adicionados 750 µL de hexano. As amostras de oleorresina esterificadas foram injetadas em cromatógrafo a gás (Thermo Scientific-trace 1310) com detector de ionização de chamas (CG-DIC) e modulo de injeção com razão de divisão (Split) 1:2. Como gás de arraste foi utilizado He a uma vazão de 2 mL por minuto. A programação da temperatura do forno foi de 120 a 160 °C com uma taxa de variação de 2,5 °C por minuto e de 160 a 290 °C com uma taxa de variação de 10 °C por minuto e uma isoterma de 2 minutos ao final da corrida. As temperaturas do injetor e detector foram de 270 °C e 300 °C, respectivamente. Todas as análises foram realizadas utilizando uma coluna capilar VF-1ms

(100% dimetilpolisiloxano) de 25 m de comprimento e 0,25 mm de diâmetro interno, 0,25 μ m de espessura de fase.

Ao final da análise cromatográfica foi gerado um cromatograma para cada amostra de oleorresina analisada, onde cada pico do cromatograma representa uma substância química, estas são identificadas através de seus tempos de retenção e quantificados através de suas respectivas porcentagens de área. No presente trabalho analisamos a variação nas concentrações dos principais constituintes químicos do oleorresina de *C. multijuga* ocorrida entre as amostras analisadas, assim como a variação do número de substâncias detectadas nas análises cromatográficas em relação a idade cronológica das árvores e o tipo de solo. A partir da tabulação dos dados, foram aplicados testes de Shapiro-Wilk (teste de normalidade dos dados). Para verificar a existência de correlação entre a concentração dos constituintes químicos avaliados e quantidade de substâncias detectadas com a idade das árvores, foram aplicadas análises de regressão linear. Para verificar a existência de diferenças significativas entre os diferentes tipos de solo analisados (arenoso e argiloso) foram realizadas análises de variância ou teste de Kruskal-Wallis (no caso de dados com distribuição não normal) – Software R 3.2.2.

4.7 Coleta de amostras do lenho do tronco das árvores de *C. multijuga*

Para o estudo dendrocronológico e densitométrico foram inicialmente coletadas amostras do lenho das 60 árvores de população natural da Reserva Ducke e das 70 árvores da plantação I (progênies de mães produtoras de oleorresina) da EEST/INPA. As árvores das plantações foram utilizadas: (i) na análise da periodicidade de formação dos anéis de crescimento (considerando que suas idades são conhecidas) e (ii) como referência para a análise das árvores de população natural da Reserva Ducke (idade não conhecida). As amostras do lenho foram extraídas a 1-1,3 m do solo com sonda de Pressler (4 amostras radiais de 5 mm de diâmetro do lenho/árvore) das árvores da população natural. Do tronco das árvores de plantação, foram coletadas amostras diametrais do lenho (2 amostras do lenho/árvore, correspondendo a 4 raios) abaixo da altura da bifurcação do tronco (geralmente próximo da base) ou 1-1,3 m de altura do solo (árvores sem bifurcação do tronco). Os orifícios do tronco foram obliterados com cavilhas de madeira e as amostras do lenho foram colocadas em tubo plástico e armazenadas em tubo de PVC para a sua proteção no transporte (Figura 16 e 17).

Figura 16 – Coleta de amostras do lenho do tronco de árvores de *C. multijuga* de população natural. (A) alinhamento da sonda de Pressler em relação ao tronco, (B) tradagem para extração das amostras; (C, D) retirada das amostras do lenho

Figura 17 – Coleta de amostras do lenho de árvores de *C. multijuga* de plantação. (A) extração das amostras do lenho abaixo da bifurcação do tronco; (B) coleta da amostra do lenho a 1m do tronco; (C) sonda no tronco da árvore evidenciando coleta diametral do lenho (seta: extremidade da sonda atravessando o tronco); (D) seção transversal do tronco e indicação do alinhamento de extração das amostras do lenho; (E) amostra do lenho retirada pela sonda de Pressler; (F) orifício do tronco obliterado com cavilha de madeira

Nas plantações de *C. multijuga* foram selecionadas seis árvores, considerando a ausência de bifurcação e retidão do fuste. Da base e a 1,0 m de altura do tronco das árvores foram seccionadas amostras transversais do lenho (discos), pelo método destrutivo, para a caracterização da estrutura anatômica macroscópica e do padrão de formação dos anéis de crescimento, visando determinar a periodicidade de sua formação (plantações com idades conhecidas). Os discos do lenho das árvores foram mantidos em condições naturais de secagem ao ar livre para posterior caracterização anatômica macroscópica, marcação e contagem dos anéis de crescimento (Figura 18).

Figura 18 – Corte do tronco das árvores de *C. multijuga* de plantação (33 anos) e retirada de discos do lenho para caracterização dos anéis de crescimento. (A) corte da árvore; (B) seccionamento da base do tronco para retirada de disco; (C, D) disco do lenho cortado da base e a 1 m de altura do tronco. EEST/IMPA, Manaus, Amazonas, Brasil

4.8 Caracterização da estrutura anatômica do lenho e dos anéis de crescimento

4.8.1 Caracterização anatômica macroscópica do lenho

Para análise macroscópica dos anéis de crescimento foi analisada a seção transversal do lenho obtido pelo método não destrutivo (baguetas) e destrutivo (discos de lenho) sendo analisadas 27 árvores, sendo 15 árvores de plantação (3 discos e 12 baguetas de lenho) e 12 árvores de população natural (baguetas de lenho), incluindo árvores produtivas e não produtivas. Das amostras de discos de lenho, foram cortados blocos de madeira orientados (1,5 x 1,0 x 1,5 cm), em seguida procedeu-se o polimento de sua superfície transversal dos blocos de madeira em micrótomo de deslize (40, 20, 10 e finalizando com 5µm) e pela abrasão em pedra de afiação de granulação fina umedecida em água. As sessões transversais foram examinadas em microscópio estereoscópico acoplado a uma câmera digital e coletadas as imagens digitais, seguindo-se a descrição anatômica macroscópica. A análise anatômica macroscópica do lenho foi realizada em três posições do lenho das amostras de baguetas e de discos (Figura 19). Foi realizada a comparação da estrutura anatômica macroscópica nas três posições do lenho, em árvores produtivas e não produtivas de oleorresina, de plantação e de população natural, e caracterizadas de acordo com Coradin et al. (2010) e Zenid e Ceccantini (2007).

Figura 19 – Análise da estrutura anatômica macroscópica do lenho em relação à sua posição radial no tronco das árvores de *C. multijuga* Hayne

4.8.2 Caracterização anatômica microscópica do lenho

Foram selecionadas 12 árvores (7 produtivas; 5 não produtivas) de população natural (Reserva Ducke), e 12 árvores (6 produtivas; 6 não produtivas) de plantação (Estação Experimental de Silvicultura Tropical), independente da matriz de origem. As amostras do lenho foram coletadas do tronco das árvores utilizando o método não destrutivo (sonda de Pressler), sendo retirada uma amostra radial do lenho/árvore, na altura do tronco abaixo do ponto de coleta do oleorresina. Em condições de campo, foram cortados segmentos do lenho (2,5 cm de comprimento) em cinco posições da amostra (árvores - população natural). Nas árvores de plantação, devido ao menor diâmetro do tronco, as amostras foram seccionadas em três posições (Figura 20). Os segmentos do lenho foram fixados em solução fixadora AFA (ácido acético, formol e álcool etílico) em tubo Eppendorf e mantidos refrigerados.

Figura 20 – Análise da estrutura anatômica microscópica do lenho em relação à sua posição radial no tronco das árvores de *C. multijuga* Hayne de população natural e plantação

Confecção de lâminas histológicas do lenho: Para confecção das lâminas histológicas foram utilizados os seguimentos das posições 0, 50 e 100%. As amostras do lenho foram inicialmente hidratadas em água por 24h e fixadas em micrótomo de deslizamento e cortadas (15µm de espessura) nos planos transversal, longitudinal tangencial e radial. Foi analisada a frequência e diâmetro dos vasos (plano transversal); largura – contagem de células e altura (plano tangencial) e tipo de células dos raios (plano radial) e frequência dos canais secretores axiais (plano transversal).

Confecção de lâminas com lenho macerado: Para as árvores de população natural, foram utilizados os seguimentos das posições 25% (cerne) e 75% (alburno), enquanto que nas amostras de plantação, foi utilizado o lenho obtido nos cortes histológicos do segmento 50% (alburno). As amostras do lenho foram fragmentadas e transferidas para tubos de ensaio (capacidade de 20 ml) com 10 ml de solução de ácido acético + peróxido de hidrogênio (1:1), os tubos de ensaio foram fechados e colocados em estufa (60°C, 48h) para dissociação dos elementos celulares, conforme o método de Franklin (JOHANSEN, 1940). A solução macerante e extrativos foram descartados e o material dissociado foi lavado repetidas vezes em água e adicionado ao final uma gota de formol. O material dissociado foi corado com safrablau (azul de alcian + safranina, 7:3) e montadas lâminas histológicas semipermanentes (glicerina) separando as fibras e os vasos. As células do lenho foram examinadas sob microscopia de luz (10x), e tomadas imagens digitais para sua biometria: mensuração do comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular das fibras) e para caracterização dos vasos. As medições biométricas foram realizadas com o software Image-Pro Plus seguindo as normas da IAWA (IAWA COMMITTEE, 1989). Para verificar a existência de diferenças na estrutura anatômica microscópica do lenho de árvores produtivas e não produtivas de oleorresina foi aplicado o teste de normalidade (Shapiro-Wilk), seguidos de análises de variância ou teste de Kruskal-Wallis (dados não normais) com software R. 2.2.2.

4.9 Densitometria de raios X aplicada no estudo do lenho de árvores de *C. multijuga*

4.9.1 Preparo das amostras para análises de densitometrias de raios X

Em condições de laboratório, as amostras do lenho (baguetas, retiradas com sonda de Pressler) das árvores foram submetidas à secagem ao ar livre, fixadas em suporte de madeira para evitar sua torção e empenamento. Em seguida, foram coladas com os raios no sentido horizontal, em dois suportes de madeira e estes em um suporte-base de madeira. As amostras do lenho foram seccionadas transversalmente em aparelho de dupla-serra circular paralela (1,6 mm de espessura) e acondicionadas em sala de climatização (20°C, 60% UR, 24 h, 12-15% umidade da madeira) conforme descrito por Castro (2011) e Chagas (2013), para posterior análise por densitometria de raios X (Figura 21).

Figura 21 – Preparo das amostras do lenho das árvores de *C. multijuga* para análise por densitometria de raios X. (A, B) secagem e colagem das amostras do lenho no suporte de madeira; (C) posição das amostras no suporte de madeira, com raios no sentido horizontal (seta vermelha); (D, E) detalhe do seccionamento amostra do lenho em equipamento de dupla serra circular paralela e (F) avaliação da espessura da amostra do lenho com paquímetro

4.9.2 Análise densitométrica do lenho de árvores de *C. multijuga*

A densidade aparente do lenho foi determinada no equipamento densitômetro de raios X (QTRS-01X, Quintek Measurement Systems), no sentido medula-casca. No compartimento interno blindado do equipamento, as amostras são scaneadas em um feixe colimado de raios X, determinando a densidade aparente do lenho a cada 0,008 mm. No processo de varredura da amostra do lenho são mostrados os valores pontuais da densidade aparente e a respectiva imagem da seção transversal da amostra na tela do monitor do computador. Os valores radiais de densidade aparente do lenho, gerados pelo software QMS, originam um arquivo DAT (relatório de dados), o qual é lido pelo software Microsoft Office Excel (QMS, 1999) (Figura 22).

Figura 22 – Análise densitométrica do lenho de *C. multijuga*. (A) equipamento de raios X mostrando compartimento interno; (B) processo de varredura da amostra do lenho; (C) seção transversal do lenho e respectivo perfil de sua densidade aparente no monitor e (D) Extração do oleorresina das amostras do lenho no extrator

Para verificar a influência do oleorresina na densidade aparente do lenho, foram selecionadas 10 amostras de lenho (uma amostra/árvore) de árvores produtoras de oleorresina de população natural e plantação (total de 20 amostras). Após a sua varredura pelo equipamento de raios X (QTRS-01X), foram submetidas a um processo de extração de resina em equipamento Soxhlet (8 horas, em solução de álcool-toluol 1:2) (vide figura 22). Em seguida as amostras foram secas em temperatura ambiente e acondicionadas em sala de climatização (20°C, 60% UR, 24 h), sendo novamente escaneadas no equipamento de raios X. Para garantir a completa eliminação do oleorresina contido nas amostras de lenho repetiu-se o processo de extração, com posterior varredura no QTRS-01X.

Para avaliar a aplicação da técnica na identificação do limite dos anéis de crescimento e determinação do valor de densidade aparente média, máxima e mínima, foram construídos os perfis de variação radial da densidade aparente do lenho. Foram ainda comparados os perfis de densidade das árvores de população natural e de plantação, bem como de árvores produtoras e não produtoras de oleorresina. Para verificar a diferença entre os valores de densidade (média, máxima e mínima) entre árvores produtivas/não produtivas, de plantação e de população natural, bem como verificar se a extração da resina exercia alguma influência sobre a densidade do lenho, os dados foram submetidos a análises de variância (ANOVA), sendo precedidos de teste de normalidade (Shapiro-Wilk) (software R. 2.2.2).

4.10 Datação dos anéis de crescimento das árvores de *C. multijuga*: Dendrocronologia

Das 60 árvores inicialmente selecionadas para o estudo em população natural, apenas 40 foram utilizadas para a datação e a sincronização dos anéis de crescimento. A diminuição do número de árvores ocorreu em função: (i) árvores com o lenho do tronco oco e/ou com grande área do lenho comprometida, impossibilitando a análise dos anéis de crescimento; (ii) árvores com o lenho deteriorado, apesar de não estarem ocas, quebrando em segmentos na tráfegem com a sonda de pressler; (iii) árvores com tortuosidades do tronco, não sendo possível retirar quatro amostras/árvore inicialmente previstas e (iv) perdas com sua quebra no processo de colagem e seccionamento das amostras na dupla serra circular. Assim, foram selecionadas para a datação dos anéis de crescimento, as árvores com no mínimo três amostras do lenho/árvore, facilitando a demarcação dos anéis de crescimento e a identificação dos anéis de crescimento falsos. Na plantação em virtude de muitas árvores apresentarem bifurcação muito próxima da base do tronco, não foi possível retirar amostras com uma única medula, sendo

excluídas amostras com mais de uma medula, além da perda de amostras no processo de corte no equipamento de dupla serra circular. Deste modo, foram selecionadas 40 árvores com o mínimo de três amostras/árvore.

Para a determinação da largura e contagem do número de anéis de crescimento, as amostras de discos e de baguetas (seccionadas na dupla-serra circular paralela – vide item 4.9.1) de plantação e população natural, foram polidas em lixadeira orbital (Mirka DEROS 650), em sequência de lixas granulométricas (180, 240, 320, 500 e 800 grãos/mm²), com aplicação de ar comprimido (troca de lixa) para desobstrução dos vasos, e para evidenciar e contrastar os anéis de crescimento (Figura 23). A seção transversal do lenho foi examinada sob microscópio estereoscópico, para a visualização e delimitação dos anéis de crescimento, e posteriormente, digitalizadas (scanner Epson V750 PRO, em resolução 1200 dpi), com escala de referência (mm). Nas imagens digitais das seções transversais do lenho foi realizada a demarcação, contagem e mensuração da largura dos anéis de crescimento pelo software Image-Pro Plus, (Figura 24).

Figura 23 – Polimento das seções transversais do lenho das árvores de *C. multijuga*: (A, B) polimento (baguetas) (C) polimento (discos) e (D) lixas de granulometria crescente

Figura 24 – Seção transversal do lenho de *C. multijuga*, com a delimitação dos anéis de crescimento e mensuração de sua largura no software Image-Pro Plus

Os dados gerados pela mensuração da largura dos anéis de crescimento foram exportados e processados pelo software Microsoft Office Excel, sendo construídas as séries cronológicas dos anéis de crescimento. Em seguida, foi realizada a datação cruzada das árvores (“cross dating”), que consiste em identificar padrões de crescimento que possam ser sincronizados, tanto entre amostras de uma mesma árvore como entre árvores, possibilitando, a construção de uma série cronológica com anéis de crescimento datados no ano exato de sua formação (GONZÁLES, 2013).

O controle de qualidade e a verificação da sincronização dos anéis de crescimento foram feitos pelo programa COFECHA (HOLMES et al., 1986). Este programa remove as tendências observadas para as séries de anéis de crescimento, pelo ajuste de uma curva polinomial de baixa frequência, seguidos da divisão dos valores da largura dos anéis de crescimento pela curva ajustada, de modo que, o sinal comum das séries seja maximizado, originando uma série “máster”, a qual representa as séries individuais que a compõe (CHAGAS, 2013). Este procedimento verifica estatisticamente a datação dos anéis de crescimento, pela correlação de Pearson, identificando as amostras ou segmentos de amostras do lenho das árvores com problemas na demarcação ou na mensuração da largura dos anéis de crescimento, indicando possíveis anéis de crescimento falsos ou ausentes. As séries de anéis de crescimento que não apresentaram bom ajuste à série “máster” foram excluídas da análise, afim de que a sincronização final atingisse valor mais próximo possível do nível de significância calculado para o conjunto de dados (Pearson 99%).

A série “máster” gerada pelo programa COFECHA para as árvores de plantação foi utilizada como referência para construção das séries cronológicas das árvores de população natural. Com base nas séries dos anéis de crescimento do lenho foi estimada a idade das árvores de *C. multijuga* de população natural. Cada série dos anéis de crescimento foi padronizada, retirando-se as tendências dos dados de largura dos anéis de crescimento, assumindo que estas são em funções do tamanho e da idade das árvores, bem como das perturbações endógenas e exógenas (ALVARADO, 2009; CHAGAS, 2013). Com o objetivo de evitar que a cronologia final apresente problemas de tendências de crescimento relacionadas a fatores não climáticos ou outras flutuações singulares ao crescimento, foi estimada a padronização do crescimento, através do ajuste dos dados originais da largura dos anéis de crescimento, conforme recomendações de Cook (1989). A padronização foi feita com o auxílio do software TURBO ARSTAN 2.07, este, ajusta uma função de regressão aos dados da largura dos anéis de crescimento, transformando-os em índices cronológicos (COOK; HOLMES, 1984). A padronização tem dois objetivos: (i) remover tendências, não climáticas, relacionadas com a idade das árvores e (ii) permitir que os valores padronizados de árvores individuais, com diferentes taxas anuais de crescimento, sejam calculados juntos, em uma função média. A padronização possibilita ainda corrigir a heterogeneidade da variância dos dados de largura do anel de crescimento, uma vez que o desvio padrão dos índices deixa de ser em função da média, como ocorria antes da padronização (ALVARADO, 2009; CHAGAS, 2013). Neste método, utilizou-se a opção do ARSTAN, que realiza um ajuste das curvas da largura dos anéis de crescimento, aplicando-se uma função Spline, com 60 % de resposta – frequência.

4.11 Efeito das variáveis climáticas no crescimento das árvores: Dendroclimatologia

Para verificar o efeito das variáveis climáticas (precipitação, temperatura máxima, média e mínima) no crescimento das árvores de *C. multijuga*, os índices da cronologia dos anéis de crescimento gerados pelo ARSTAN foram comparados com os valores mensais das variáveis climáticas, através de correlações de Pearson, realizando uma regressão entre os índices cronológicos e os parâmetros climáticos, o que resulta em uma função de resposta para cada cronologia (BLASING; SOLOMON; DUNVICK, 1984). A estação de crescimento foi considerada para os meses com precipitação acima de 60 mm (WORBES, 1995). Ressaltamos que o ano biológico (ano de crescimento das árvores) não coincide com o ano calendário (ano civil), no hemisfério Sul as plantas iniciam seu crescimento/desenvolvimento

ainda no ano anterior, geralmente no início da primavera, estendendo-se até o ano seguinte. Para esta análise utilizou-se uma série climática de 108 anos e 33 anos para as árvores de população natural e plantação, respectivamente, abrangendo 100% das duas cronologias.

4.12 Incremento radial do tronco das árvores de *C. multijuga*

Pela sincronização dos valores de largura dos anéis de crescimento anuais, realizou-se a análise do crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *C. multijuga* de plantação e de população natural, sendo determinado o incremento radial acumulado (IRA) e o incremento radial médio anual (IRMA). O IRA representa o incremento total do tronco das árvores, sendo determinado pela soma dos valores da largura dos anéis de crescimento anuais de cada série. Enquanto que o IRMA expressa o crescimento médio do tronco por ano, sendo calculado a partir dos valores do IRA, dividido pelo número de anos de sua respectiva série cronológica. Para verificar a existência de diferenças significativas entre o IRMA das árvores de plantação e população natural foi realizada análise de variância (Anova). A partir do IRA foram construídas as curvas de crescimento para as árvores dos dois sítios.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Potencial de produtividade das árvores de *C. multijuga* de plantação

Das 70 árvores selecionadas na plantação I (árvores provenientes de mães produtivas), apenas 30 árvores (42,8%) apresentaram indícios de produção de oleorresina, expressando em princípio, o mesmo genótipo de suas progenitoras, enquanto que na plantação II das 70 árvores avaliadas (árvores provenientes de mães não produtivas), 49 árvores (70%) apresentaram escoamento de oleorresina ou amostras do lenho com vestígios de óleo, sendo consideradas como árvores produtoras de oleorresina. Isto evidencia que tanto árvores produtoras como não produtoras de oleorresina são capazes de gerar descendentes com ambos os fenótipos, o que sugere troca de material genético entre matrizes durante a polinização (polinização cruzada). Contudo, a variação fenotípica é resultante da ação conjunta do genótipo, do ambiente e da interação entre eles (ALLARD, 1971).

A interação entre genótipo e ambiente pode ser evidenciada em estudos sobre adaptabilidade fenotípica – capacidade que um determinado genótipo possui de aproveitar vantajosamente os efeitos ambientais, assegurando altos níveis de produtividade, e estabilidade fenotípica – relacionada com a manutenção da produtividade ou de sua previsibilidade em ambientes diversos (ROCHA, 2002). Estudos envolvendo adaptabilidade e estabilidade fenotípica permite identificar a contribuição relativa de cada um (genótipo e ambiente) na interação (manifestação do fenótipo), sendo que esta interação pode ainda estar relacionada a fatores fisiológicos e bioquímicos de cada genótipo (indivíduo) (CRUZ; REGAZZI, 1994; ROCHA, 2002).

Pesquisas realizadas com populações genéticas de espécies de *Copaifera* sp têm demonstrado grande variabilidade genética dentro de uma mesma população natural (MARTINS, et al., 2008a; CARVALHO et al., 2010; SILVA, et al., 2012). A grande diversidade genética dentro de populações está relacionada com a ampla distribuição geográfica, alta densidade populacional, ciclos de vida longos e sistema de reprodução com predominância de cruzamento (TARAZI, 2009). Embora uma certa taxa de autofecundação (8%) e de cruzamentos entre parentes (4%) tenha sido detectadas em populações naturais para *Copaifera langsdorffii*, ela é uma espécie predominantemente de cruzamento (OLIVEIRA; CARVALHO; ROSADO, 2002).

Estudo realizado por Vastano Junior (1984) utilizando o mesmo experimento de progênies, do presente trabalho, quando os mesmos apresentavam quatro anos e seis meses de

idade, indicaram que a espécie (*C. multijuga*), apresenta hábito reprodutivo do tipo autógamo, além de terem encontrado altos coeficientes de herdabilidade para as características estudadas (diâmetro do colo e altura das mudas) entre as progênies e suas respectivas árvores mães. Em plantas autógamas, a autofecundação predomina os cruzamentos, o que favorece a endogamia, diminuindo a heterozigose e variabilidade genética dentro da população natural (TARAZI, 2009). Os resultados obtidos por Vastano Junior (1984) contradizem a hipótese deste trabalho, que atribui a variação na produção de oleorresina, em parte, à variabilidade genética entre matrizes. Contudo, deve-se ressaltar que o autor se baseou na análise de modelos estatísticos, utilizando a distância espacial entre árvores matrizes, o qual sofre influência direta do tamanho da amostragem e das interações do genótipo com o ambiente, não realizando a amostragem de material genético (extração de DNA), como utilização de marcadores moleculares, frequência de alelos, número de loci, ou fluxo gênico.

Desta forma, a realização de um estudo genético (com extração de DNA), entre as árvores mães e suas respectivas árvores filhas, bem como um estudo de fluxo gênico dentro da população natural, objeto desta pesquisa, são necessários para se conhecer o quanto de carga genética está sendo passada de mãe para filha (herdabilidade) e melhor entender as variações de produção de oleorresina entre árvores de uma mesma população.

Foram verificadas também grande flutuação quanto ao percentual de progênies produtoras e não produtoras de oleorresina entre as árvores matrizes (progenitoras) em ambas as plantações. Na plantação I (árvores provenientes de mães produtivas), a M29 foi a que mais originou descendentes produtivos, com 70% das árvores apresentando escoamento de oleorresina; enquanto que a matriz-progenitora M77 originou menor número de descendentes produtivos, sendo apenas de 10% (Figura 25). Na plantação II, a matriz-progenitora M20 originou maior número de descendentes produtivos (90%) (Figura 26).

Figura 25 – Percentual de árvores produtivas e não produtivas por matriz de origem. N=70. Plantação de *C. multijuga* (Plantação I – árvores de origem de mães produtivas), EEST/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil

Figura 26 – Percentual de árvores produtivas e não produtivas por matriz de origem. N= 70. Plantação de *C. multijuga* (Plantação II – árvores originadas de mães não produtivas), EEST/INPA, Manaus, Amazonas, Brasil

Langenheim (2003) com o objetivo de obter plantios com o máximo de árvores produtivas sugere a seleção de sementes oriundas de árvores com alto rendimento na produção. Entretanto, os resultados obtidos mostram que somente a seleção de sementes não garante que as mesmas serão árvores produtivas. Contudo, deve-se considerar que essas árvores ainda são jovens (33 anos) e com o diâmetro do tronco ainda pouco desenvolvido, em geral, menor do que 30 cm. Assim, existe a possibilidade de que as árvores que não apresentaram produção de oleorresina, ainda não se desenvolveram o suficiente (diâmetro) para iniciar o processo de biossíntese e/ou armazenar o mesmo, o que pode estar relacionado à fisiologia de cada indivíduo e a interação de seu genótipo com o ambiente, como já mencionado.

Árvores de *Copaifera* spp., com diâmetro do tronco inferior a 30 cm ainda não possuem cerne desenvolvido ou possuem em pequenas quantidades (PLOWDEN, 2003), sendo, o % de cerne, alburno e presença de ocos no tronco, determinantes para a produção e armazenamento de oleorresina. A forma como estes plantios foram conduzidos pode ter afetado o desenvolvimento em diâmetro das árvores, como: (i) o fato das mudas terem sido plantadas a pleno sol, fez com que a maioria das árvores bifurcasse muito próximo da base do tronco, podendo este ser um fator que está contribuindo para que muitas destas árvores não tenha apresentado ainda, produção de oleorresina, como verificado na plantação I. Ao passo que na plantação II, além do número de árvores com tronco bifurcado ter sido menor, a bifurcação quando presente ocorreu mais distante da base, não prejudicando tanto o seu desenvolvimento, como nas árvores da plantação I, fato este, que pode explicar porque a plantação II apresentou maior número de árvores produtivas que a plantação I. (ii) após os primeiros cinco anos, estes plantios não receberam nenhuma intervenção silvicultural, como desbaste, ficando muito adensado, aumentando a competição entre os indivíduos pelos recursos necessários ao seu desenvolvimento. Desta forma, há a necessidade do monitoramento dessas árvores para análises em idades mais avançadas, bem como, intervenção com uso de tratos silviculturais, de modo a favorecer o desenvolvimento em diâmetro dessas árvores.

5.2 Avaliação das árvores de *C. multijuga* 32 anos após a extração do oleorresina

O resultado do inventário das árvores de *C. multijuga*, realizado em 2012, indicou a existência de 30 (36,58%) árvores vivas, 34 (41,46%) árvores mortas e 18 (21,95%) árvores não localizadas, em relação às estudadas no período de 1977-1980 por Alencar (1982). No

que se refere as 18 árvores não localizadas na população natural, pode indicar que, em um período de 32 anos: (i) ocorreu a sua morte e a decomposição do tronco e/ou (ii) não foi possível a sua localização, em virtude da mudança das trilhas existentes na área da reserva, nesta época. Em relação às árvores mortas, Plowden (2003) preconiza que o oleorresina pode contribuir para que a árvore se mantenha saudável, assim, a rotina de extrações pode diminuir o tempo de vida dessas árvores. Todavia, não se pode afirmar que esta alta mortalidade observada, ocorreu exclusivamente pelas ações de extração do oleorresina, visto que é comum nestas áreas a queda de árvores por ação de ventos e chuvas fortes. Contudo, as sucessivas extrações sofridas por estas árvores em curtos períodos de tempo podem ter provocado o enfraquecimento do seu tronco, ocasionando o aparecimento de ocos, deixando-as mais susceptíveis à ação dos ventos e das fortes chuvas, uma vez que, os extrativos de um modo geral são responsáveis por conferir à madeira resistência ao ataque de patógenos (WIEDENHOEFT, 2005).

Ainda não está claro se a formação de ocos no tronco das copaibeiras ocorre porque a produção e armazenamento de oleorresina diminuem com o envelhecimento das árvores, ou se a formação destes se inicia primeiramente em locais onde a produção foi insuficiente para evitar a deterioração, causada por agentes patógenos: como fungos, térmitas e outros insetos, que podem ser responsáveis pelo apodrecimento do cerne, e consequente formação de oco no interior do tronco (LINDENMAYER, et al. 2000; PLOWDEM, 2003), uma vez que, muitos autores acreditam que a produção de oleorresina ocorra em função de pressões defensivas contra ataques microbianos (PHILIPS; CROTEAU, 1999; LANGENHEIM, 2003, MEDEIROS; VIEIRA, 2008; MARTINS et al., 2013).

A metodologia de extração do oleorresina utilizada na época, com um trado de maior diâmetro e a obliteração do orifício do tronco com segmento de galho, pode também ter contribuído para a mortalidade das árvores – o apodrecimento da madeira de vedação do orifício, propicia o acesso para o interior do lenho, de agentes degradadores da madeira (térmitas e fungos). Há a necessidade da substituição regular da madeira de vedação dos orifícios do tronco das árvores, o que não ocorreu. A maior frequência da sua perfuração também pode ter contribuído para a paralisação da produção de oleorresina. Por exemplo, no inventário constatou-se que uma árvore, inicialmente produtora de oleorresina, com sete orifícios no seu tronco, perdeu a capacidade de produzir.

Estudos realizados com diferentes espécies e morfotipos de copaíba ocorrentes em várias regiões da Amazônia brasileira demonstraram elevada frequência de árvores não

produtivas dentro de uma mesma população natural, bem como a presença de árvores ocas (PLOWDEM, 2003; MARTINS et al., 2008b; SOUSA, 2010; NEWTON et al., 2011; MARTINS et al., 2013; ROQUETTE, 2014). No caso específico de *C. multijuga*, verificamos que a maioria dos estudos tem reportado um percentual de árvores sem produção, inferior a 40% (ALENCAR, 1982; MEDEIROS; VIEIRA, 2008; NEWTON et al., 2011), embora Sousa (2010) e Martins et al. (2013) tenham encontrado percentuais superiores a 50%. Contudo, para se afirmar que uma determinada árvore não produz oleorresina é necessário um monitoramento por longos períodos de tempo, visto que, muitas árvores que não produzem oleorresina num dado momento, passam a produzir em coletas futuras (MEDEIROS; VIEIRA, 2008).

O levantamento de campo indicou que cinco árvores (16,67%) que inicialmente não produziam oleorresina (período de 1977-1980), quando tiveram o tronco perfurado 32 anos após o manejo (2012), mostraram-se produtivas. Isto pode ter ocorrido pelo fato destas árvores ainda não terem alcançado o desenvolvimento ideal para iniciar sua produção e/ou armazenamento, no momento da primeira extração (1977), ou a produção pode ter sido induzida pelo estresse físico/mecânico causado pelo processo de extração, uma vez que a literatura reporta que estresses mecânicos podem induzir a produção de oleorresina (PLOWDEN, 2001). Por outro lado, quatro (13%) das árvores vivas, e que anteriormente produziam oleorresina, interromperam a produção. Esta ocorrência indica que as árvores iniciam a produção/armazenamento de oleorresina em um determinado estágio de desenvolvimento (diâmetro do tronco e/ou idade), se mantendo altamente produtivas até certo período de vida, quando a produção entra em declínio e cessa, provavelmente, na sua senescência. Ainda, seis (20%) árvores vivas de *C. multijuga* produtoras e não produtoras de oleorresina apresentaram, atualmente, o seu caule oco e biodegradado pela presença de cupins, o que também leva ao declínio e cessamento da produção (PLOWDEN, 2003; RIGAMONTE-AZEVEDO; WADT, P.; WADT, L., 2006; NEWTON et al., 2011; MARTINS, et al., 2013) (Tabela 3). Estas informações referentes ao percentual de árvores produtivas, não produtivas e ocas associadas às informações de distribuição diamétrica e densidade de árvores.ha⁻¹ são de extrema importância na hora de se planejar o manejo de uma determinada área, principalmente para se determinar o tamanho da UPA (unidade de produção anual), baseado na meta de produção a ser alcançada.

Tabela 3 – Avaliação do potencial produtivo de árvores de *C. multijuga* Hayne 32 anos após as sucessivas extrações de oleorresina, Reserva Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil

Árvores vivas de <i>C. multijuga</i>					
Com Produção de Oleorresina (Período de 1977 a 1980)			Sem Produção de Oleorresina (Período de 1977 a 1980)		
(16) 53,33 %			(14) 46,67 %		
2012			2012		
Continuam com produção	Não produzem mais	Ocas	Não Produz	Passaram a produzir	Ocas
(9) 30,00%	(4) 13,33%	(3) 10,00%	(6) 20,00%	(5) 16,67%	(3) 10,00%

5.3 Avaliação da Produção de oleorresina de *C. multijuga* em população natural

5.3.1 Sustentabilidade da extração do oleorresina de *C. multijuga* em função do tempo

A avaliação da produção do oleorresina no tronco das árvores de *C. multijuga* indica um declínio na produção após sucessivas extrações. Inicialmente (1977) as árvores apresentaram uma produção total de 7,22 L, com média de 363 ml/árvore. Após três anos sofrendo sucessivas extrações em curto período de tempo, a produção total decresceu 84% (1980), apresentando média de 82 ml/árvore. Este declínio da produção, da primeira coleta para as demais extrações é esperado, uma vez que, a primeira coleta representa todo o oleorresina produzido/armazenado pela árvore durante toda sua vida até o momento da primeira extração. Assim, como as demais extrações propiciam um curto tempo para nova síntese de oleorresina – intervalos de um ano entre as coletas, a árvore não consegue sintetizar a mesma quantidade da primeira extração. Contudo, nas coletas seguintes, onde o período de repouso é igual entre as coletas, a produção de oleorresina não sofre grandes oscilações, como podemos observar na Figura 27, entre os anos de 1978-1980. Resultados semelhantes foram encontrados por Plowden (2003), que observou diminuição da produção após a primeira extração, mantendo-se constante nas extrações seguintes, cujo intervalo entre coletas variou de 6-14 meses. Estudos mais recentes realizados com diferentes espécies de copaíba também verificaram o mesmo comportamento da produção ao longo do tempo, independente da espécie (SOUZA, 2010; NEWTON et al, 2011; MARTINS et al., 2013; KLAUBERG et al., 2014). A produção total de oleorresina das árvores após o 32º ano sem extração (2012) foi expressiva, de 11,26 L (média de 804 ml/árvore), acima da produção média inicial do ano 1977, com a resultante diminuição da produção de oleorresina, nas extrações posteriores.

O grupo de árvores que permaneceu sete anos sem extração de oleorresina, apresentou produção inicial total de 25,63 L (média de 1663 ml/árvore), sendo também observado declínio da produção inicial (2004) para a extração seguinte (2005) – 68,23%. Contudo, após o período de repouso (sete anos), ocorreu um aumento na produção (2012), porém, não foi suficiente para se igualar à produção inicial, e nos anos seguintes voltou a declinar, mantendo o mesmo padrão de produção do grupo de árvores com 32 anos de repouso (Figura 27).

Figura 27 – Produção anual total de oleorresina de *C. multijuga*, Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil.
*Produção total (somatório da produção de todas as árvores em cada coleta)

Foram encontradas diferenças significativas entre as coletas para os dois grupos de árvores avaliados (Kruskal-Wallis – $p\text{-valor} < 0,001$). Toda via, no grupo de árvores que ficaram 32 anos sem extração de oleorresina, somente as coletas realizadas em 2012 e 2013 foram estatisticamente diferentes das demais, enquanto que no grupo de árvores com sete anos de repouso apenas a coleta realizada em 2014 foi diferente estatisticamente pelo teste Wilcoxon-Mann-Whitney (Tabela 4).

Tabela 4 – Comparação das produções anuais de oleorresina através do teste Wilcoxon-Mann-Whitney com correção de Bonferroni. Valores seguidos de (*) apresentaram diferenças significativas entre as coletas. Árvore com 32 anos de repouso (n=14); árvores com sete anos de repouso (n=22)

Árvores com 32 anos de repouso				Árvores com 7 anos de repouso	
Coletas	p. valor	Coletas	p. valor	Coletas	p. valor
1977 - 1978	0,1694	1979 - 1980	0,9490	2004 - 2005	0,4800
1977 - 1979	0,0446	1979 - 2012	< 0,001*	2004 - 2012	0,9812
1977 - 1980	0,0505	1979 - 2013	< 0,001*	2004 - 2013	0,5105
1977 - 2012	0,1206	1979 - 2014	0,0506	2004 - 2014	< 0,001*
1977 - 2013	0,2376	1980 - 2012	< 0,001*	2005 - 2012	0,2354
1977 - 2014	0,6841	1980 - 2013	< 0,001*	2005 - 2013	0,0346
1978 - 1979	0,4539	1980 - 2014	0,0641	2005 - 2014	< 0,001*
1978 - 1980	0,5645	2012 - 2013	0,2701	2012 - 2013	0,3415
1978 - 2012	< 0,001*	2012 - 2014	0,0116	2012 - 2014	< 0,001*
1978 - 2013	0,001*	2013 - 2014	0,0909	2013 - 2014	< 0,001*
1978 - 2014	0,1697				

Ao analisarmos a Figura 27, para o grupo de árvores com 32 anos de repouso, o esperado era que houvesse diferenças significativas entre as coletas realizadas nos anos de 1977-1978 e 2012 em relação as demais coletas, enquanto que no grupo com sete anos de repouso, o esperado era que pelo menos a coleta de 2004 fosse diferente de todas as outras. Entretanto, o teste Wilcoxon-Mann-Whitney é um teste de comparação de medianas, no qual o efeito dos “out liers” é minimizado na análise, o que explica a ausência de diferenças estatísticas significativas entre a maioria das coletas. A inexistência de significância estatística entre coletas sucessivas são constantemente reportada em estudos realizados com diferentes espécies de *Copaifera* spp. (PLOWDEN, 2003; NEWTON et al., 2011; MARTINS et al., 2013), isto ocorre principalmente pela grande variabilidade de produção entre os indivíduos avaliados, variando desde indivíduos com produção inferior a 50 ml à indivíduos que produzem acima de três litros, independente da espécie estudada (RIGAMONTE-AZEVEDO; WADT, P.; WADT, L., 2006; MARTINS et al., 2008b; MEDEIROS; VIEIRA, 2008; SOUZA, 2010; NEWTON et al., 2011; MARTINS et al., 2013; ROQUETTE, 2014).

A grande dificuldade em planejar ações de manejo visando um determinado rendimento na produção de oleorresina para uma determinada área, está justamente na grande variabilidade de produção, não somente entre coletas (fator tempo), mas, principalmente, entre indivíduos (RIGAMONTE-AZEVEDO; WADT, P.; WADT, L., 2006) e suas respectivas capacidades de produzir (biossintetizar) e armazenar oleorresina num dado período de tempo. A capacidade de algumas árvores em produzir significativo volume de

oleorresina, mantendo a produção por longo período, é explicada como mecanismo de defesa aos organismos xilófagos (LANGENHEIM, 2003).

A amplitude de variação na produção de oleorresina entre os indivíduos numa mesma coleta, bem como a presença de “out liers” podem ser visualizadas na Figura 28. Nas árvores com sete anos de repouso, verifica-se a presença de “out liers” expressivos na coleta realizada em 2004, onde duas árvores em conjunto produziram cerca 12 litros de oleorresina (quase 50% da produção total do período – 25,63 litros), o que contribuiu para que a produção total neste ano, fosse muito superior aos anos seguintes. Além disso, nem sempre são as mesmas árvores que produzem o oleorresina dentro de cada grupo no decorrer do tempo (diferentes extrações). É comumente observado, árvores que produzem oleorresina em um período e cessam nos anos seguintes; há, ainda, árvores que permanecem períodos sem produção, e posteriormente começam a produzir, eventualmente em quantidades superiores às das árvores que produzem com regularidade. Cita-se como exemplo a árvore (69) sem produção de oleorresina até 1980 e em 2012 produziu um litro de óleo e quantidade similar no ano seguinte, provavelmente em função do aumento do diâmetro (ver item 5.3.3); enquanto que a árvore (18) produziu na 1ª coleta (2004) 7,325 litros e após os sete anos de repouso apenas 130 ml de oleorresina, bem como árvores que inicialmente produziram, nos anos seguintes deixaram de produzir, e após longo período de repouso produziram novamente.

Figura 28 – Variação da produção de oleorresina entre os indivíduos amostrados em cada período de coleta. *Copaifera multijuga* Hayne, Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. *Coletas seguidas de letras diferentes diferem entre si

Os resultados evidenciam a importância do intervalo de tempo entre coletas sucessivas para se estabelecer um sistema de manejo sustentável ao longo dos anos. Modelos de predição para verificar a probabilidade de árvores produzirem oleorresina após a primeira extração, foram desenvolvidos por Klauberg et al. (2014), que verificaram que a variável “ciclo de produção” (tempo) foi significativa para ambos os modelos testados, evidenciando que o intervalo de tempo entre as extrações pode afetar a quantidade de oleorresina a ser produzido. Martins et al. (2013) também atribuem o declínio da produção após a primeira extração aos curtos períodos de tempo entre as coletas. Ainda que, Newton et al. (2011) sugerem que a produção de oleorresina seja um processo anual.

Apesar do processo de renovação (nova síntese) de oleorresina levar muitos anos até que se produza um volume próximo ao obtido na primeira extração (MARTINS et al., 2013), o que é confirmado pelos resultados encontrados neste trabalho, pode-se estimar um intervalo mínimo entre coletas sucessivas, de modo que se obtenha um volume de oleorresina satisfatório comercialmente. Klauberg et al. (2014) estudando diferentes ciclos de produção, envolvendo diferentes espécies de copaíba concluíram que um ciclo de três anos (intervalo entre as coletas) é o mais viável, tanto em termos de produção de oleorresina quanto ao VPL (valor presente líquido). Leite et al. (2001) e Pinto et al. (2010) também recomendam um ciclo de três anos (estudos empíricos), enquanto que, para Martins et al. (2013) não se pode determinar um intervalo de tempo específico entre coletas, visto que, em populações naturais há uma grande diversidade de indivíduos em diferentes idades e estágios fisiológicos, e diversidade genética também.

Levando-se em consideração a grande variabilidade existente entre os indivíduos de uma mesma população natural, principalmente, no que se refere às características individuais de cada árvore (capacidade fisiológica de síntese e armazenamento de oleorresina), o ideal seria separar estes indivíduos por classe de produção (capacidade de reposição do oleorresina extraído) e estabelecer ciclos de produção de acordo com a capacidade produtiva dos mesmos. Como exemplo, podemos citar a árvore CR30 que produziu 3,380 litros em 2004 e superou sua própria produção inicial em 2012, produzindo 4,130 litros de oleorresina. Esta árvore produziu tanto óleo durante estes sete anos, que superou sua capacidade de armazenamento, visto que em vários pontos do tronco foram observadas rachaduras (fendas), por onde exsudavam quantidades significativas de oleorresina (Figura 29), logo um ciclo inferior a sete anos (3-4 anos) seria suficiente para extrair quantidades satisfatórias de oleorresina para esta árvore, além de evitar o desperdício do mesmo. É comum encontrar árvores com fendas no fuste por onde exsuda oleorresina, sendo um indicativo de que estas possuem óleo em

abundância, sendo excelentes produtoras (observações de campo e comunicação interpessoal, com extratores de óleo de copaíba de comunidades tradicionais da Amazônia brasileira). Além disto, estes resultados mostram que é possível que uma determinada árvore produza novamente quantidades de oleorresina equivalentes à produção da primeira extração, contradizendo Newton et al. (2011), que sugere que árvores podem nunca voltar a produzir a mesma quantidade de oleorresina da produção inicial, entretanto, ressalta-se que isto está diretamente relacionado com a capacidade fisiológica de cada árvore em sintetizar e armazenar o oleorresina, bem como seu estado fitossanitário e as condições de microambiente, onde está localizada cada árvore.

Figura 29 – Árvore de *C. multijuga*, de população natural, com escoamento de oleorresina por rachaduras no tronco, Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. Setas em vermelho – rachaduras, e setas em verde (A) presença de oleorresina recém exsudado por rachadura localizada acima do ponto de coleta do oleorresina (B) mancha provocada pelo escoamento do oleorresina exsudado por rachaduras localizada acima do ponto de coleta

A grande variação na produção de oleorresina entre indivíduos de uma mesma espécie tem sido atribuída a fatores de natureza genética (ALENCAR, 1982; LANGENHEIM, 2003) e ambiental (ALENCAR, 1982; FERREIRA, 1999; LANGENHEIM, 2003; MEDEIROS; VIEIRA, 2008; NEWTON et al., 2011; ROQUETTE, 2014), bem como às características dendrométricas dos indivíduos, dentre outros (PLOWDEN, 2003; HERRERO-JÁUREGUI, 2009; ROQUETTE, 2014; SILVA, C., 2014).

A produção de oleorresina tem sido frequentemente relacionada com o tipo de ambiente (tipos de florestas e edáfico), onde estudos demonstram que indivíduos localizados em áreas de terra-firme apresentam maior produção que indivíduos situados em áreas de inundação – várzea (FERREIRA, 1999; NEWTON et al., 2011) e dentre os indivíduos de área de terra-firme, aqueles localizados sobre solos argilosos (platô e vertente) são mais produtivos que os de solo arenoso (baixio) (ALENCAR, 1982).

Estudos realizados por Roquette (2014) evidenciaram correlação positiva e significativa entre a produção e altura do fuste das árvores. A produção de oleorresina também está diretamente correlacionada com a dominância das árvores (MEDEIROS; VIEIRA, 2008). Árvores dominantes e com boa formação de copa, estariam mais expostas à luminosidade (SILVA, C., 2014), que segundo Langenheim (1981) e Feibert e Langeheim (1988) é um fator ambiental que pode influenciar na quantidade de oleorresina produzido. Outros autores verificam relação direta entre produção e DAP (ver item 5.3.3). Assim, árvores maiores, tanto em diâmetro como em altura, teriam maior número de células responsáveis pela síntese do oleorresina (ROQUETTE, 2014), além de terem maior capacidade de armazenamento.

Características como idade, atividade fisiológica, e o estado fitossanitário da árvore (incidência de pragas) também têm sido relacionadas à variabilidade de produção (MARTINS et al., 2013; KLAUBERG et al., 2014; ROQUETTE, 2014). Árvores com infestação de pragas, como cupins, apresentam 8,97 vezes mais chances de se encontrar oleorresina do que em árvores sem pragas numa primeira extração (KLAUBERG et al., 2014). Medeiros (2006) verificou em *C. multijuga* uma relação entre a produção de oleorresina e infestação por cupins, onde a maioria das árvores com produção de oleorresina apresentavam infestação, enquanto que nenhuma das árvores sem produção de oleorresina tinham infestação de cupins.

5.3.2 Produção de oleorresina em função da sazonalidade de coletas

A produção de oleorresina variou entre os períodos sazonais, contudo, apenas as coletas S1-S4 e S2-S4 foram diferentes estatisticamente pelo teste Wilcoxon-Mann-Whitney (S1-S4, $p = 0,002$; S2-S4, $p = 0,001$; Kruskal-Wallis, $p = 0,006$), havendo grande variabilidade na produção entre os indivíduos, em cada período sazonal (Figura 30).

Figura 30 – Variação da produção de oleorresina entre os indivíduos amostrados, nos diferentes períodos sazonais. S1 – Jul-dez/2012; S2 – Jan-junho/2013; S3 – Julho-dez/20013; S4 – Jan-Jun/2014. Coletas com letras iguais – Produção igual estatisticamente; coletas com letras diferentes – Produção diferente estatisticamente. *Copaifera multijuga* Hayne, Reserva A. Ducke, Manaus-AM, Brasil

Esta variabilidade na produção entre os indivíduos numa mesma coleta, como já discutido no item anterior é esperada, no entanto, no caso específico das coletas sazonais, onde o intervalo entre as coletas é de apenas seis meses, o tempo de reação (resposta fisiológica) da árvore na renovação do oleorresina extraído (nova síntese), o qual pode estar relacionado a diversos fatores, como: variabilidade genética e principalmente, com a idade cronológica das árvores, parece ser a principal causa desta variação na produção entre os indivíduos amostrados, bem como, a disponibilidade dos recursos necessários para o máximo desempenho do metabolismo da planta.

A produção total de oleorresina (somatório da produção de todos os indivíduos amostrados em cada período sazonal) foi maior no 1º período seco (julho-dezembro/2012), diminuindo nos períodos subsequentes (Figura31).

Figura 31 – Avaliação da produção total de oleoresina de *C. multijuga* nos diferentes períodos sazonais. S1 – Jul-dez/2012; S2 – Jan-junho/2013; S3 – Julho-dez/2013; S4 – Jan-Jun/2014. Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil

Quando analisamos o comportamento da produção em função da precipitação média de cada período avaliado, não observamos uma tendência de maior produção em um período sazonal específico (seco/chuvoso). Por outro lado, ao analisarmos a produção, considerando apenas a precipitação (total mensal) do mês em que as coletas de oleorresina foram realizadas, verifica-se uma tendência de diminuição da produção, com a diminuição da quantidade de chuva precipitada. Isto sugere que a quantidade de oleorresina disponibilizado pela árvore, durante uma determinada coleta está mais relacionada com a disponibilidade de água no solo, e conseqüentemente; para árvore no momento da coleta, do que, com a quantidade de chuvas precipitada ao longo de cada período sazonal avaliado (tempo em que mesma ficou sintetizando o oleorresina). Baima et al. (1999) estudando a produção de oleorresina de *C. multijuga* na região do Tapajós (Pará), observou que em uma árvore perfurada durante a estação seca foi coletado apenas 300 ml de oleorresina, e nesta mesma árvore 30 dias após o início das chuvas foi coletado 3000 ml. Segundo relatos de extrativistas de algumas localidades no Estado do Amazonas, “durante a seca, não se coleta óleo de copaíba, pois as árvores estão secas” (comunicação pessoal). Isto pode ser um indicativo de que a disponibilidade de água influencia diretamente na quantidade de óleo coletado, porém, isso não significa que a árvore não contenha oleorresina no interior de seu tronco. Provavelmente, algum mecanismo interno, de natureza fisiológica, retém o oleorresina na árvore durante a

estação seca, impedindo que o mesmo seja liberado no momento da coleta. Segundo Rodrigues (2008), em *C. langsdorffii*, o oleorresina contido nos canais e cavidades secretoras são importantes para evitar a desidratação da planta, em condições adversas. Logo, nas árvores estudadas pode acontecer algo semelhante durante a estação seca.

Por outro lado, devemos levar em consideração que a elevada produção ocorrida no primeiro período seco (S1), em relação às demais coletas, pode estar relacionada ao fato de que em algumas árvores, o oleorresina produzido durante o período de repouso (32 ou 7 anos), pode não ter sido completamente exaurido na coleta anterior (Junho/2012), devido ao comportamento diferenciado das árvores quanto ao tempo de escoamento do oleorresina. Como o prazo máximo adotado para aguardar o completo cessamento do escoamento do óleo foi de 72 horas, algumas árvores podem ter sido obliteradas antes da completa exaustão (escoamento) do oleorresina armazenado durante o período de repouso (32 ou 7 anos), visto que, na literatura há relatos de que o tempo de escoamento pode levar até cinco dias (BARBOSA; SCUDELLER; ROSA, 2009). Além disto, o declínio ocorrido nas coletas subsequentes (S2, S3 e S4), pode ser um efeito do estresse sofrido pela árvore em função da rotina de coletas em curtos períodos de tempo, bem como do fator “tempo”, o qual influencia na quantidade de oleorresina produzido, como discutido no item 5.3.1.

Ainda, não há um consenso a respeito da melhor época para se extrair o oleorresina de *Copaifera* spp., visto que a literatura tem mostrado dados bastante contraditórios, incluindo diferentes pontos de coleta ao longo da Amazônia brasileira, diferentes espécies e metodologias. Alguns autores, por exemplo, utilizam somente a primeira extração para fazer a análise, utilizando grupos de árvores distintos, algumas vezes até de sítios diferentes para comparar a produção entre as estações sazonais (ALENCAR, 1982; BAIMA, et al., 1999; FERREIRA; BRAZ, 2001; PLOWDEN, 2003; OLIVEIRA; LAMEIRA; ZOGHBI, 2006; MARTINS et al., 2013), aumentando assim, a quantidade de fatores ambientais que podem estar influenciando na produção do oleorresina e não somente a variação sazonal. Contudo, para a espécie *C. multijuga*, a maioria dos trabalhos relatam maior produção durante o período chuvoso (ALENCAR, 1982; BAIMA, et al., 1999; MEDEIROS; VIEIRA, 2008).

5.3.3 Relação diâmetro, % de cerne e produção de oleorresina

A produção de oleorresina apresentou variação em relação ao diâmetro do tronco das árvores, com a maioria das árvores produtoras na faixa de 35-55 cm de diâmetro do tronco, independente da coleta; variando mesmo entre árvores pertencentes a uma mesma faixa de

diâmetro. Ao analisarmos a primeira extração de oleorresina (coleta inicial), verificamos uma correlação positiva e altamente significativa entre a produção e o diâmetro do tronco das árvores, sendo que a maioria das árvores que apresentaram produção superior ou igual 500 ml (produção comercial) encontra-se na faixa de diâmetro entre 45 e 55 cm. Na coleta realizada em 2012 (após longos períodos de repouso entre coletas), apesar de ainda se verificar correlação entre a produção de oleorresina e o diâmetro do tronco das árvores, esta correlação foi considerada baixa. Contudo, ainda observamos a maioria das árvores com produção comercial (≥ 500 ml) na faixa acima de 45 cm de diâmetro (Figura 32).

Figura 32 – Relação entre produção de oleorresina e o diâmetro das árvores. *C. multijuga*, Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil. * Foi excluído um outlier em ambas as coletas avaliadas

Estes resultados sugerem que o diâmetro do tronco das árvores influencia diretamente na quantidade de oleorresina produzido (extraído) em uma determinada coleta, sendo esta influência mais evidente na primeira extração de oleorresina, uma vez que nas extrações seguintes outras variáveis têm influência direta na produção, sendo determinantes na quantidade de oleorresina a ser extraído, como por exemplo, o intervalo de tempo entre as coletas, como já comprovado neste trabalho (item 5.3.1). Klauberg et al. (2014) gerando modelos de probabilidades, verificaram que o DAP (diâmetro à altura do peito) foi uma das variáveis independentes com maior probabilidade de se encontrar oleorresina em uma árvore numa primeira extração, sendo que o aumento de uma unidade de diâmetro aumenta em 0,96 vezes as chances de ocorrência de oleorresina. Vários autores têm encontrado correlação

positiva entre a produção de oleorresina e o diâmetro das árvores, embora nem sempre estas correlações tenham sido significativas estatisticamente (ALENCAR, 1982; MEDEIROS; VIEIRA, 2008; NEWTON et al., 2011; MARTINS et al., 2013).

Para melhor entendermos como o diâmetro do tronco influencia na quantidade de oleorresina extraído, avaliamos o comportamento da árvores em relação à mudança de classe diamétrica sofrida pelas mesmas em função de seu crescimento radial ao longo tempo. Onde, observamos que na primeira extração (1977) a maioria das árvores com diâmetro (DAP) inferior a 40 cm (♦) e que não produziam oleorresina; em 2012, com o aumento do diâmetro (crescimento radial do lenho), estas árvores passaram a produzir. Enquanto que, outras árvores passaram a produzir quantidades ainda maiores com o aumento do diâmetro, associado também ao longo período sem extração de oleorresina. Duas árvores com diâmetro acima de 60 cm (2012) perderam a capacidade de produzir e armazenar oleorresina em função do aparecimento de ocos. Contudo, nas duas extrações (1977 e 2012) podemos observar que as maiores produções de oleorresina (≥ 500 ml) ocorreram em árvores com diâmetro acima de 45 cm (Figura 33).

Figura 33 – Avaliação da produção de oleorresina em função da mudança de classe diamétrica das árvores.
*Símbolos iguais possuem correspondência (mesmas árvores) entre as figuras A (primeira extração de oleorresina -1977) e B (Extração pós-reposou - 2012)

Embora, diversos trabalhos demonstrem tendência de aumento da produção com o aumento do diâmetro das árvores, há divergências quanto a classe de diâmetro ideal para realizar a extração do oleorresina de forma a maximizar o volume de óleo a ser extraído. Estas divergências ocorrem principalmente em função das diferentes espécies de copaíba estudadas. Estudos realizados com *C. multijuga* têm demonstrado que o diâmetro ideal para se iniciar o

manejo e extração do oleorresina é acima de 40 cm (ALENCAR, 1982; MEDEIROS; VIEIRA, 2008; SOUZA, 2010; NEWTON et al., 2011). Para *C. piresii* o diâmetro ideal é acima de 50 cm (SOUZA, 2010), *C. guyanensis* (> 45 cm) (NEWTON et al., 2011), enquanto que Rigamonte-Azevedo, Wadt, P. e Wadt, L. (2006) estudando diferentes morfotipos de *C. reticulata* verificaram que o diâmetro ideal para se fazer a extração é entre 85-135 cm.

Apesar destas diferenças entre as espécies, tem sido consenso entre alguns autores que árvores com diâmetros extremos (muito pequenos ou muito grandes) não produzem oleorresina (ALENCAR, 1982; PLOWDEN, 2003; ROQUETTE, 2014), isto, pelo fato de que árvores com diâmetro pequeno (< 40 cm), como demonstrado neste trabalho (vide Figura 32, pág. 94), ainda não se desenvolveram o suficiente para iniciar a produção e/ou armazenamento do oleorresina, provavelmente em função da quantidade de cerne ainda ser muito pequena ou ausente. Enquanto que em árvores com diâmetros muito grandes (> 75 cm), no caso de *C. multijuga*, a probabilidade de existir ocos no interior do tronco é alta (PLOWDEN, 2003). De acordo com Martins et al. (2013) há uma correlação positiva entre diâmetro e presença de ocos, afetando negativamente a produção de oleorresina. Contudo, devemos ressaltar que a presença de ocos irá depender da capacidade fisiológica da árvore em responder aos ataques microbióticos responsáveis pelo apodrecimento do cerne, sendo possível encontrar árvores com diâmetro superior a 75 cm sadias e com grande volume de oleorresina acumulado no cerne, porém com menor frequência.

Apesar de termos encontrado uma baixa correlação entre porcentagem de cerne e o diâmetro das árvores ($r^2 = 0,1518$; $p = 0,03$), podemos verificar uma leve tendência de aumento do percentual de cerne com o aumento do diâmetro (Figura 34). Correlações positivas entre o diâmetro do cerne e o diâmetro de árvores de *Copaifera* spp., nativas do Estado do Pará, foram observadas por Plowden (2003), o qual verificou ainda, que em árvores com DAP entre 25-35 cm, a área de cerne representa apenas 5% da área total do tronco, enquanto que em árvores com diâmetros maiores (75 cm) a área de cerne foi maior que 40%. Os percentuais de cerne encontrados neste trabalho para *C. multijuga* foram superiores aos relatados pelo autor, com algumas árvores chegando a ultrapassar 80%. Contudo, em árvores com DAP < 40 cm, a área de cerne variou entre 20-40%.

Figura 34 – Relação entre o % de cerne no lenho e o diâmetro do tronco das árvores de *C. multijuga* de população natural. Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil

Embora, a proporção de cerne e alburno possa variar dentro da própria árvore e depender tanto da espécie, quanto da idade da árvore, tipo de solo, clima e sítio (BURGER; RICHTER, 1991), a estreita relação encontrada neste trabalho entre a área de cerne e a dimensão da árvore (DAP) de copaíba é comum em muitas espécies (HILLIS, 1987). O processo de formação do cerne inicia-se com a transformação de células vivas do alburno em células lignificadas (não vivas), à medida que a árvore cresce, as partes internas do lenho distanciam-se do câmbio, perdendo gradativamente suas atividades fisiológicas, e adquirindo, geralmente, coloração mais escura em função da deposição de extrativos como taninos, resinas, etc. (HILLIS, 1987; BURGER; RICHTER, 1991).

Através de medições realizadas durante o processo de extração do oleorresina de *Copaifera* spp., foi observado que a origem dos fluxos substanciais de oleorresina ocorreu sempre dentro dos limites do cerne (Plowden, 2001). Estas observações feitas pelo autor, e os resultados referentes à quantidade relativa de cerne em relação ao diâmetro das árvores avaliadas neste trabalho, ajudam a entender porque árvores com $\text{DAP} < 40$ cm, não produzem ou produzem quantidades insignificantes de oleorresina.

Ao avaliarmos a produção de oleorresina em função do percentual de cerne, verificamos que a maioria das árvores que produziram oleorresina possui uma área de cerne superior a 50%, sendo que as duas árvores mais produtivas possuem mais de 75% de sua área total do tronco composta por cerne, havendo uma correlação positiva entre a produção de oleorresina e a quantidade relativa de cerne, porém, apesar de ser significativa, esta correlação

foi baixa (Figura 35). Ressaltamos que nesta análise utilizamos os dados da coleta de 2012, em virtude da quantidade de cerne ter sido calculado para este ano, visto que, o mesmo foi calculado através das amostras de lenho retiradas em 2013, logo, outros fatores podem estar influenciando na produção de oleorresina como a idade mais avançada de algumas árvores e menor atividade fisiológica, além da inclusão de árvores com diferentes tempos de repouso (32 e 7 anos) em relação à coleta anterior, o que pode estar contribuindo para esta baixa correlação, além do fato de que algumas árvores têm diminuído o ritmo de produção tendendo ao cessamento, provavelmente por estarem atingindo o estágio de senescência.

Figura 35 – Relação entre produção de oleorresina e % de cerne no tronco das árvores. Dados referentes coleta de 2012. *Copaifera multijuga* Hayne, Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil

É um consenso na literatura existente que para se conseguir extrair o oleorresina de copaíba é necessário que as incisões no tronco para a extração do mesmo, sejam feitas até os limites mais internos do cerne, preferencialmente até a medula (ALENCAR, 1982; LEITE et al., 2001; MEDEIROS; VIEIRA, 2008; MARTINS et al., 2013; KLAUBERG, et al, 2014). Isto reforça a hipótese de que as áreas de produção e armazenamento de oleorresina ocorrem sempre dentro dos limites do cerne e próximo da medula. Correlações positivas entre a profundidade das incisões no tronco das árvores para extração do oleorresina e o diâmetro dos mesmos foram observadas em árvores de diferentes morfotipos (SOUSA, 2010) e segundo a autora isto corrobora as informações disponíveis na literatura a respeito das zonas de armazenamento do oleorresina (no cerne e próximo da medula).

5.3.4 Avaliação da produção de oleorresina em relação à idade das árvores

A idade das árvores no momento da primeira extração de oleorresina variou de 43-112 anos, com a maioria das árvores que produziram algum volume de oleorresina com idade superior a 50 anos, sendo que as maiores quantidades de oleorresina produzida ocorreram em árvores com mais de 70 anos de idade (Figura 36). Entretanto, ao aplicarmos o teste de correlação de Pearson, não observamos uma correlação direta entre idade e a produção no momento da primeira extração (Correlação: 0,3553; $p = 0,074$).

Figura 36 – Avaliação da produção de oleorresina em função da idade das árvores, levando-se em consideração a 1ª extração de oleorresina e suas respectivas idades no ano da coleta: (●) árvores com produção; (◊) árvores sem produção. *C. multijuga*, Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil

Roquette (2014) observou um aumento da proporção de árvores produtivas de *Copaifera* spp. com o aumento da idade das árvores, onde foi verificado que, as árvores que apresentaram alguma produção de oleorresina possuíam mais de 60 anos, contudo, o autor não fez uma análise quantitativa da produção em relação a idade, fazendo apenas uma análise descritiva entre árvores produtivas e não produtivas, além disto, ressaltamos que para determinar a idade das árvores o autor utilizou apenas a contagem direta dos anéis de crescimento, não realizando a sincronização dos dados para verificar a possível existência de anéis falsos, o que pode superestimar a idade das árvores.

Apesar do grande volume de trabalhos já realizados envolvendo o estudo da produção do oleorresina de *Copaifera* spp., e de alguns destes trabalhos atribuírem a variação da produção ao fator idade, nenhum deles realizaram um estudo dendrocronológico (determinação da idade das árvores) associado a quantificação da produção do oleorresina,

apenas inferências, não havendo, portanto, dados disponíveis na literatura para comparação de resultados.

Embora, a produção de oleorresina não tenha correlação direta com a idade cronológica das árvores, verificamos uma tendência de aumento do diâmetro do tronco com o aumento da idade das árvores (correlação: 0,6736, p.valor < 0,001), porém, não foi verificada correlação da % de cerne com a idade (correlação: 0,2848, p.valor = 0,12), o qual (% cerne) tem demonstrado ser determinante na quantidade de oleorresina produzido/acumulado, o que pode explicar a inexistência de correlação entre produção e idade.

Foi observado que algumas árvores que produziam oleorresina em abundância e regularmente, foram reduzindo a produção de oleorresina ao longo das coletas anuais, até o completo cessamento, porém, não foi identificada uma idade comum entre elas para o momento em que as mesmas cessam a produção. Entretanto, dentre as árvores que estão há mais de dois períodos de coleta sem produzir oleorresina (2012-2014), verificamos que a idade variou de 99-120 anos. Estes resultados, associados às análises do diâmetro e % de cerne (já discutidos no item 5.3.3) nos leva a supor que a produção de oleorresina está muito mais relacionada ao desenvolvimento do tronco (diâmetro e principalmente, quantidade de cerne), e à atividade fisiológica de cada indivíduo, do que a idade, uma vez que, se observa em uma mesma faixa de idade, tanto árvores que cessaram a produção, como aquelas que continuam a produzir oleorresina com regularidade (Figura 37). Ressalta-se que na coleta de 2012, algumas árvores tiveram produção mais expressiva devido ao tempo de repouso mais prolongado entre as coletas (32 anos). Mas, algumas árvores, mesmo em 2012, já não estavam produzindo, ou produziram quantidades insignificantes quando comparado às suas respectivas produções em coletas anteriores, assim como, árvores que possuíam um histórico de grandes produções de oleorresina, mesmo com curtos intervalos de tempo entre as coletas (árvore CR30), diminuíram a quantidade de oleorresina, cessando em 2014.

Figura 37 – Representação gráfica da produção de oleorresina de *C. multijuga* em função da idade cronológica das árvores, sendo dado ênfase a algumas árvores com comportamentos específicos, onde: ○ árvores que diminuam o ritmo de produção; ○ continuam produzir com regularidade; ○ estão há mais de dois períodos de coleta sem produzir

Acredita-se que o cessamento da produção de oleorresina pela árvore possa estar relacionado à fase de senescência do indivíduo (PLOWDEN, 2003; ROQUETE, 2014) a qual tem sido frequentemente associada ao declínio fisiológico (ROSE, 1991; THOMAS, 2012; SALGUERO-GOMES; SHEFFERSON; HUTCHINGS, 2013). A literatura corrente tem usualmente utilizado as curvas de crescimento das árvores (geralmente uma curva sigmoideal) para identificar as fases de crescimento de uma determinada árvore ou povoamento florestal, onde a parte superior da curva (estabilização do crescimento) é considerada como fase senil (BOND, 2000; ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005; THOMAS, 2012).

Analizando as curvas de crescimento, baseadas nos dados de incremento radial acumulado (IRA) de alguns indivíduos que vem diminuindo o ritmo de produção ou que pararam de produzir, e de outros que ainda produzem em abundancia mesmo com idade mais avançada, verifica-se que alguns deles começam a apresentar uma tendência de estabilização de suas curvas de crescimento (Figura 38). Por exemplo, a árvore CR05 que vem reduzindo consideravelmente a quantidade de óleo produzido ao longo dos últimos anos; assim como, a matriz CR41 que começou a diminuir a produção em 2005 e em 2014 não produziu mais; a árvore CR18, a qual não produziu nos últimos anos, também iniciou a estabilização da curva de crescimento, todas com idades acima de 100 anos. Enquanto que, outras árvores (J05, J30), com idades próximas continuam com a curva de crescimento ascendente, e produzindo oleorresina. Contudo, ainda é cedo para dizer se estas árvores estão ou não entrando em

senescência ou se essa leve tendência de estabilização do crescimento é em função de fatores externos, como competição e/ou disponibilidade de recursos.

Figura 38 – Análise das curvas de crescimento radial do lenho das árvores de *C. multijuga*. Nesta figura, utilizamos apenas os dados de algumas árvores específicas: a) árvores que ainda produzem em abundância e regularmente; b) que diminuíram o ritmo de produção; c) que cessaram a produção, incluindo árvores em diferentes faixas de idade. Linhas com (*) correspondem à árvores cuja as curvas de crescimento começam a apresentar tendência de estabilização

Apesar de ser difícil distinguir os efeitos da idade, dos efeitos de tamanho e variações ambientais associados à senescência, bem como as interações entre eles (BOND, 2000), o tamanho do indivíduo pode exercer influência importante sobre a função fisiológica de árvores mais velhas (THOMAS, 2012). Árvores maiores e mais velhas podem responder de forma diferente de plantas mais jovens, contudo, não necessariamente envelhecimento é significado de senescência (BOND, 2000). O envelhecimento é um termo usado para referir-se ao mero acúmulo de anos pelo indivíduo, condicionada à sua sobrevivência. Assim, no que se refere ao envelhecimento cronológico (idade), ao contrário de senescência, não necessariamente, informa sobre alterações na capacidade fisiológica de um indivíduo (SALGUERO-GOMES; SHEFFERSON; HUTCHINGS, 2013), visto que, a taxa fotossintética dos indivíduos é altamente sensível às condições do ambiente (sítio), como disponibilidade de recursos e competição com árvores vizinhas. Assim, outros fatores podem

estar influenciando no cessamento da produção de oleorresina, como por exemplo: estresse por competição, que pode afetar a fisiologia da árvore (levando em consideração que, a produção do óleo depende de substâncias que são produzidas fotossinteticamente).

5.3.5 Observações de campo relevantes ao manejo futuro do oleorresina de *C. multijuga*

Apesar de Alencar (1982) relatar que os canais secretores de oleorresina estão anatomicamente interligados no lenho do tronco das árvores, e que uma única perfuração possibilitaria o escoamento de todo o oleorresina porventura existente no lenho (não havendo necessidade de novos furos), em nossas observações de campo, verificamos que a maioria das árvores de *C. multijuga* da população natural, utilizadas inicialmente para a coleta do oleorresina, apresentaram novamente escoamento de oleorresina no orifício do tronco, aberto pela inserção da sonda de Pressler; para a extração das amostras do lenho (estudo dendrocronológico). Em algumas árvores, o escoamento de oleorresina foi constatado em mais de uma altura do seu tronco, indicando a existência de compartimentos individualizados de armazenamento do oleorresina, no lenho da árvore (Figura 39). Destaca-se que, no trabalho de campo, foi adotado o procedimento inicial de coleta do oleorresina e, na sequência, a perfuração do tronco das árvores com a sonda de Pressler.

Figura 39 – Escoamento do oleorresina no tronco das árvores de *C. multijuga*: (A) escoamento pela sonda de Pressler; (B) escoamento após retirada da sonda de Pressler; (C) escoamento simultâneo em 2 locais/regiões do lenho do tronco da árvore. (*seta vermelha indica a região do tronco com escoamento o oleorresina)

Outro aspecto relevante foi a pequena quantidade do oleorresina coletado, após sete anos da coleta anterior, pela retirada da rosca do tubo de PVC inserido no tronco das árvores; ainda, na coleta realizada no ano seguinte, não se constatou o escoamento do oleorresina indicando a interrupção de sua produção. No entanto, no orifício no tronco dessas árvores,

ocasionado pela sonda de Pressler, houve o escoamento de significativa quantidade de oleorresina, reforçando a ideia na qual o armazenamento do oleorresina pode ocorrer em diferentes locais do lenho.

Durante a prática de coleta (processo de extração) do oleorresina é comum a realização de mais de uma perfuração por árvore, na tentativa de se extrair o óleo, sendo recomendado de 2 até 4 furos por árvore (LEITE et al., 2001; MEDEIROS; VIEIRA, 2008; SILVA, C., 2014), entretanto, em nossas observações campo, constatamos que ao se realizar uma incisão no tronco da árvore para extração do oleorresina; se os fragmentos de madeira resultantes desta perfuração estiverem secos e não estiverem exalando o característico cheiro de cumarina, presente na madeira verde das árvores de *C. multijuga* (árvores produtivas), significa que esta árvore não produz oleorresina em quantidades suficientes para o seu armazenamento, não havendo necessidade de outras perfurações. Árvores que apresentaram estas características durante o processo de extração de oleorresina, nunca produziram um único ml de oleorresina durante todo o período de monitoramento dessas árvores (2004-2014). Todavia, em árvores cujos fragmentos de madeira estiverem úmidos pela presença de óleo, mas que não houve escoamento de oleorresina, recomendo até dois furos por árvore, para não prejudicar de modo irreversível a árvore.

5.4 Propriedades físico-químicas do oleorresina de *C. multijuga*

A análise da coloração do oleorresina extraído das árvores de *C. multijuga* indicou uma variação de coloração de incolor ao castanho médio, sendo classificado em três tonalidades: (i) incolor; (ii) amarelo claro e (iii) castanho médio (Figura 40).

Figura 40 – Gradiente de cor dos oleorresina de *C. multijuga*, coletados na Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil: (1) incolor; (2) amarelo claro e (3) castanho médio. * percepção visual

Todas as árvores que exsudaram oleorresina de coloração mais escura, conforme análise de dendrocronologia (vide item 5.7) possuem idades acima de 100 anos, no entanto, apesar de alguns autores atribuírem estas diferenças na coloração do oleorresina às diferentes idades e diâmetros das árvores (RIGAMONTE-AZEVEDO, 2004; RIGAMONTE-AZEVEDO, WADT, P.; WADT, L., 2004), não fora observada nenhuma relação direta da coloração do oleorresina com a idade cronológica das árvores, uma vez que, a maioria delas (61%) exsudou oleorresina de coloração incolor, independente do diâmetro ou idade da árvore. Contudo, foi observado que as árvores que produziram oleorresina mais escuros (tonalidade 3) ficaram mais de 30 anos sem extração, podendo ser um indicativo de que essas colorações mais escuras estejam mais relacionadas com o tempo em que o oleorresina fica armazenado dentro da árvore.

Plowden (2003) atribui esta variação de cor aos diferentes morfotipos das espécies - copaíba branca (amarelo) copaíba Kobby (acizentado) e copaíba vermelha (avermelhado-alaranjado). Alencar (1982) acredita que as diferentes características dos locais de crescimento das árvores, como o tipo de solo, podem provocar estas variações de cores. Contudo, Rigamonte-Azevedo (2004) analisando amostras de oleorresina de três diferentes morfotipos (*Copaifera* spp.), coletados em diferentes ambientes no estado do Acre, não encontrou tendências de coloração nem em função do tipo de copaíba e nem do ambiente edáfico, como sugerido por Alencar (1982). Saraiva et al. (2005) classificaram o oleorresina de *Copaifera multijuga* como de coloração amarelo-alaranjada.

Ressaltamos que não há uma norma de padronização dos óleos de copaíba quanto à coloração, logo, cada classificação é realizada de forma muito subjetiva, ficando a critério do autor. Além disso, o oleorresina sofre reações de oxi-redução ao longo do tempo, em função da luminosidade e contato com o oxigênio, alterando sua coloração original, fato este que pode também explicar os diferentes registros de coloração existentes na literatura, sendo que o ideal é realizar as observações de coloração ainda em campo, no momento da coleta.

A densidade do oleorresina extraído das árvores de *C. multijuga* variou de 0,905-0,950 g.cm⁻³, com a média de 0,927 g.cm⁻³ (15°C) e 0,924, g/cm³ (20°C), com baixos valores de coeficiente de variação (CV%) entre as amostras (Desvio padrão: 0,008; CV (%) – 15°C: 0,882; CV (%) – 20°C: 0, 873, n=37). A densidade do oleorresina, pode variar tanto em função da espécie, como pela precisão do método de análise empregado. Estudos realizados com diferentes espécies de *Copaifera* spp. demonstraram que o oleorresina de *C. multijuga*, tem densidade menor que as demais espécies, enquanto que a espécie *C. pubiflora*, apresenta os maiores valores de densidade (1,02 g.cm⁻³ a 25°C) (NASCIMENTO et al., 2011; VARGAS

et al., 2011; SILVA et al., 2012). Medeiros (2006) e Saraiva et al. (2005) analisando amostras de oleorresina de *C. multijuga* provenientes de Manaus-AM, encontraram valores de densidade média igual a $0,89 \text{ g.cm}^{-3}$ à 25°C , contudo, o método utilizado (massa/volume por pesagem em balança analítica) é menos preciso que o densímetro digital.

A viscosidade do oleorresina extraído das árvores de *C. multijuga* variou de 15,96 – 65,43 MPa/s com a média de 37,318 MPa/s, apresentando alto valor de CV entre as amostras (Desvio padrão: 12,82; CV (%): 34,37%, $n=22$). Uma amostra de oleorresina, apresentou um valor extremamente alto de viscosidade (152,5 MPa.s), em relação as demais amostras, sendo excluído da análise (“*out lier*”). Valores muito altos de viscosidade, podem ser em função da presença de ácidos graxos de cadeias longas na composição química da amostra (NASCIMENTO et al., 2011), podendo variar também de acordo com a proporção relativa de sesquiterpenos e diterpenos, os quais variam de acordo com a espécie. Em espécies de *Hymenae* spp. são os diterpenos que controlam a viscosidade da resina (LANGENHEIM, 2003).

Assim como a densidade, a viscosidade do oleorresina *C. multijuga* é menor quando comparada a outras espécies (*C. reticulata* – 79,04 à 190 Mpa/s; *C. langsdorffii* – > 100 Mpa/s; *C. pubiflora* – 287,03 Mpa/s) (SOUZA, 2010; NASCIMENTO et al, 2011; VARGAS et al., 2011; SILVA et al., 2012).

A viscosidade do oleorresina indicou uma leve tendência de aumento com o aumento do diâmetro das árvores, porém, não significativo. A mesma tendência também foi verificada com o aumento da idade das árvores, contudo, apesar de ser significativa em 95% ($p=0,031$), a correlação foi muito baixa (Figura 41). Rigamonte-Azevedo (2004), verificou grande variabilidade na viscosidade dos oleorresinas de três morfotipos de copaíba, no entanto, a autora não encontrou relação direta com nenhum dos fatores ambientais avaliados (tipo de solo, cobertura vegetal, tipo de copaíba ou classe de tamanho (diâmetro) das árvores).

Figura 41 – Avaliação por meio da análise de regressão da viscosidade do oleorresina de *C. multijuga* em relação ao diâmetro das árvores (A) e idade cronológica das árvores (B). Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil

5.5 Principais constituintes químicos do oleorresina e relações com a idade das árvores e tipo de solo

As análises cromatográficas indicaram que mais de 90% do oleorresina de *C. multijuga* é composto por hidrocarbonetos sesquiterpênicos, tendo como constituinte principal o β -cariofileno, o qual está presente em todas as amostras analisadas, com uma variação de 16,25% a 67,19%. De modo geral, a quantidade de substâncias detectadas variou entre as amostras (19-40). Dentre os ácidos diterpênicos, o principal constituinte encontrado foi o ác. copálico, (presente em todas as amostras), representando em média 42% da fração diterpênica (Figura 42). Dos 63 sesquiterpenos e 28 ácidos diterpênicos, já descritos na literatura como constituintes do oleorresina de copaíba, o ácido copálico é a única substância comum entre as espécies, sendo, por este motivo, utilizado como bioindicador do oleorresina (VEIGA JUNIOR; PINTO, 2002). Vários estudos têm indicado que a fração sesquiterpênica é predominante nos oleorresina de diversas espécies de *Copaifera* spp., tendo o β -cariofileno como um dos constituintes principais (LANGENHAEIM, 1981. CASCON; GILBERT, 2000; TAPPIN et al., 2004, MEDEIROS, 2006). *C. multijuga* é apontada como uma das espécies que apresentam maior concentração de β -cariofileno em sua composição química (VEIGA JUNIOR et al., 2007).

Figura 42 – Cromatogramas de amostras de oleorresina de *C. multijuga* evidenciando diferenças nas quantidades e tipos de substâncias detectadas (picos) entre as amostras

A variação na composição química dos oleorresinas de copaíba tem sido relatada na literatura não só entre amostras de diferentes espécies, mas também em oleorresinas coletados em árvores pertencentes a uma mesma espécie; e muitos são os fatores apontados como possíveis causas desta variação: a sazonalidade climática das coletas, tipos de solo, onde as árvores se desenvolvem, e as características intrínsecas de cada árvore (diâmetro e idade) (VEIGA JUNIOR; PATITUCCI; PINTO, 1997; VEIGA JUNIOR; PINTO, 2002; BARBOSA et al., 2012). Contudo, no presente trabalho não verificamos nenhuma correlação entre as concentrações de seus principais constituintes e a idade das árvores, pois, apesar das concentrações de β -cariofileno e seu óxido, e de ácido copálico terem apresentado uma sutil tendência de aumento com o aumento da idade das árvores, seus coeficientes de correlação foram muito baixos e não significativos, sendo a correlação praticamente nula. Também não foi observado correlação entre o número de substâncias presentes no oleorresina e a idade das árvores, porém, verifica-se uma leve tendência de redução na quantidade de substâncias com o aumento da idade (não significativa) (Figura 43). Levando-se em consideração, que existe

uma correlação positiva entre o diâmetro das árvores e a idade cronológica das mesmas, como já demonstrado neste trabalho, Barbosa et al. (2012) também não observaram influência do diâmetro das árvores na composição química dos oleorresinas. Com relação ao tipo de solo, não foram encontradas diferenças significativas para nenhum dos grupamentos e/ou constituintes químicos analisados (Tabela 5). Nascimento e Langenheim (1989) analisando a composição química do oleorresina, presente nas folhas de *C. multijuga*, coletadas na mesma área de estudo do presente trabalho, também não verificaram diferenças significativas na quantidade de sesquiterpenos, nos diferentes tipos de solos analisados (arenoso e argiloso). Enquanto que, Barbosa et al. (2012) encontraram para a mesma espécie e área de estudo dois grupos distintos de amostras, com diferentes composições químicas, sendo que o grupo de amostras provenientes de solos argilosos, apresentaram menor variedade de sesquiterpenos e diterpenos que o grupo de amostras de solos argilosos.

Figura 43 – Análise dos principais constituintes químicos do oleorresina de *C. multijuga* e número de substancias detectadas nas amostras analisadas em relação a idade das árvores

Tabela 5 – Média dos percentuais dos principais constituintes químicos do oleorresina de *C. multijuga* nos diferentes tipos de solo

Tipo de solo	Sesquiterpenos (%)	Ácidos Diterpênicos	β -cariofileno (%)	Óxido de cariofileno (%)	Ácido Copálico (%)
Arenoso	93,21a	6,79b	42,93c	1,24d	2,59e
Argiloso	94,01a	5,99b	35,87c	2,72d	2,64e

* Letras iguais numa mesma coluna não diferem entre si.

5.6 Caracterização da estrutura anatômica da madeira e sua relação com a produção de oleorresina

5.6.1 Caracterização macroscópica

Características gerais: Apresenta cerne de coloração amarronzado e alburno levemente rosado, sendo facilmente distintos em madeira de árvores adultas e pouco distintos em árvores jovens, uma vez que, o cerne ainda está em fase inicial de formação, apresentando somente alburno (Figura 44). A madeira quando verde apresenta forte cheiro de cumarina, sendo mais perceptível em árvores com produção de oleorresina. Apresenta textura média, figura presente e grã direita.

Camadas de crescimento: são distintas a olho nu, sendo delimitadas por parênquima marginal, podendo ocorrer ainda zona fibrosa e uma sutil redução do diâmetro dos vasos no lenho tardio (Figura 45).

Figura 44 – Distinção entre cerne e alburno no lenho de árvores jovens e adultas de *C. multijuga*. (1) amostra de árvore de plantação com 33 anos de idade; (2) árvore de população natural com mais de 90 anos de idade e (C) casca

Figura 45 – Caracterização anatômica macroscópica de *C. multijuga* – Camadas de crescimento: A) árvore de plantação; B) árvore de população natural. Setas em preto indicam parênquima marginal delimitando as camadas de crescimento, e seta em vermelho indica zona fibrosa

Parênquima axial: Apresenta parênquima paratraqueal vasicêntrico escasso e marginal. Raios: observados apenas sob lente, tanto em seção transversal, como longitudinal tangencial, sendo contrastados na superfície radial, são finos ($<100\mu\text{m}$) e baixos ($<1\text{ mm}$). Estruturas secretoras: presentes, formadas por canais axiais, distribuídos tangencialmente no parênquima marginal. Parênquima marginal desprovido de canais secretores axiais foram observados em algumas amostras, tanto de plantação como população natural, localizadas em diferentes posições do lenho, mas, principalmente em árvores de plantação, nas primeiras camadas de crescimento, podendo ou não caracterizar falsos anéis de crescimento. Foi visualizado também, parênquima marginal descontínuo ao longo de todas as amostras analisadas, bem como parênquima marginal que se subdivide, com ou sem a presença de canais axiais, sendo este mais frequente na região próxima à medula, caracterizando falsos anéis de crescimento (Figura 46).

Parênquima marginal descontínuo, que se subdivide e desprovidos de canais axiais foram observadas em *C. langsdorffii*, ocorrendo de 1-7 parênquima marginais descontínuos dentro de uma mesma camada de crescimento (MARCATI; ANGYALOSSY-ALFONSO; BENETATI, 2001; MELO JUNIOR; CECCANTINI; BONA, 2011).

Figura 46 – Caracterização de falsos anéis de crescimento em *C. multijuga*. (A e B) parênquima marginal desprovido de canais axiais (seta preta) e anéis falsos dentro uma mesma camada de crescimento (seta cinza); (C) parênquima marginal desprovido de canais axiais, porém, neste caso o anel é verdadeiro; (D e E) parênquima marginal descontínuo e (F) parênquima marginal subdividindo-se

Vasos: são visíveis a olho nu e predominantemente solitários, porém com ocorrência de vasos geminados e múltiplos radiais, sendo observados grupamentos racemiformes, porém raro. Possui formato circular, com porosidade difusa, dispostos em padrão não definido, mas com tendência ao arranjo diagonal, podendo ocorrer obstrução por oleorresina e tilos. Placa de perfuração não observada sob lentes (10x) (Figura 47).

Apesar de poucos trabalhos descreverem as características anatômicas de *C. multijuga*, a caracterização anatômica macroscópica apresentada neste trabalho, está de acordo com a literatura existente (LOUREIRO; SILVA, 1968; LOUREIRO; SILVA; ALENCAR, 1979; YANEZ INZUNZA, 1992; MARTINS-DA-SILVA, 2006), apresentando ainda, semelhanças com outras espécies do gênero, como *C. langsdorffii*; *C. dukei* e *C. reticulata*, *glycycarpa*, *C. piresii* e *C. paupera* (FEDALTO; MENDES; CORADIN, 1989; IYANEZ INZUNZA, 1992; MARTINS-DA-SILVA, 2006; NISGOSKI, et al., 2012), contudo apenas o IPT (1989) cita a presença de vasos obstruídos por oleorresina.

Figura 47 – Caracterização anatômica a nível macroscópico de *C. multijuga* – vasos: (A) vaso solitário - vs, geminado - vg e múltiplo radial - mr; B) vasos racemiformes - vr; C) elemento de vaso obstruído com oleorresina - ev_o; e D) porosidade difusa e disposição em tendência ao arranjo diagonal

Não foram encontradas diferenças anatômicas macroscópicas nas diferentes posições do lenho avaliadas, sendo observada apenas uma tendência de aumento do diâmetro dos vasos no sentido medula-casca (Figura 48).

Figura 48 – Diâmetro dos vasos observado nas diferentes posições do lenho da árvore de *C. multijuga*: (A) 0%; (B) 50% e (C) 100% - próximo da casca

Foi observada a presença de oleorresina tanto nas células do parênquima axial (marginal e vasicêntrico), quanto nas células de raio, sendo mais evidente, nas regiões de cerne próximas da medula e ausentes ou escassas na região do alburno próxima à casca. Estes resultados também vêm de encontro com as hipóteses, de que a região de produção e/ou

armazenamento de oleorresina ocorrem dentro dos limites do cerne, e de que as áreas mais ricas (armazenamento) de oleorresina ocorreram sempre perto da medula. (PLOWDEN, 2001, SOUZA, 2010). Esta característica foi observada tanto nas amostras de árvores de plantação quanto nas de população natural, sendo mais marcante nas árvores de população natural. Isto pode estar relacionado ao fato de que a maioria das árvores de população natural, já apresenta grande quantidade de cerne, enquanto que as árvores das plantações, por serem ainda bem jovens e apresentarem diâmetro (DAP) ainda pouco desenvolvido ($< 30\text{cm}$), a quantidade de cerne formado ainda é muito pequena ou inexistente, predominando o alburno, como podemos verificar na Figura 44 (vide pág. 115).

Com relação às árvores produtivas e não produtivas de oleorresina, não foram observadas diferenças anatômicas macroscópicas, sendo que ambas apresentam parênquima e raios preenchidos com oleorresina, tanto em árvores de plantação quanto de população natural. Contudo, árvores com produção abundante de oleorresina, apresentam (visualmente) maior número de vasos obstruídos com oleorresina, do que árvores consideradas como não produtivas (Figura 49 e 50). Ressaltamos que apesar de termos classificado algumas árvores de plantação como não produtivas, estas árvores são muito jovens, podendo ainda vir a produzir oleorresina no futuro, com o tronco (lenho) mais desenvolvido.

Árvore Produtiva – População natural

Árvore sem produção – População natural

Medula

Casca

Figura 49 – Caracterização macroscópica do lenho de *C. multijuga* de população natural, onde: A1, A2, A3 e A4 - seguimento próximo da medula (0%); B1, B2, B3, e B4 – intermediário central (50%); C1, C2, C3, e C4 – Seg. próximo da casca (100%). Retângulo (área de zoom); cs – canal secretor axial desobstruído; cso – canal secretor axial obstruído; ev – elemento de vaso; ev_o – elemento de vaso obstruído com oleoresina; ev_ot – elemento de vaso obstruído com tilo; pm – parênquima axial marginal, e r – raio

Árvore produtiva – plantação

Árvore sem produção – plantação

Medula

Casca →

Figura 50 – Caracterização macroscópica do lenho de *C. multijuga* de plantação, onde: A1, A2, A3 e A4 - seguimento próximo da medula (0%); B1, B2, B3, e B4 – intermediário central (50%); C1, C2, C3, e C4 – Seg. próximo da casca (100%). Retângulo (área de zoom); cs – canal secretor axial; cs0 – canal secretor axial obstruído; ev – elemento de vaso; pm – parênquima axial marginal, pv – parênquima paratraqueal vasicêntrico e r – raio

5.6.2 Caracterização microscópica

Parênquima axial: predominantemente marginal, com largura variando de 4 a 16 células. Em muitas amostras observou-se maior largura (nº de camadas celulares) nas regiões

de cerne. Apresenta também parênquima paratraqueal vasicêntrico escasso, de uma a duas camadas celulares. Foi observada a presença de oleorresina nas células parenquimáticas, sendo esta característica mais marcante nas árvores produtivas de oleorresina, principalmente nas camadas mais internas (nos limites do cerne). Observou-se também uma tendência de parênquima marginal com maior número de camadas celulares em árvores que apresentam grandes produções de oleorresina. Presença de Canais Intercelulares Axiais (CIA) dispostos tangencialmente no parênquima marginal, com frequência variando de 3 a 8 CIA/mm linear, não sendo observadas diferenças entre árvores produtivas e não produtivas (Figura 51, 52 e 53). Em espécies de *Copaifera* spp. de ambiente amazônico foram observados de 3 a 6 CIA/mm linear, os quais se conectam por anastomose dentro de uma mesmo parênquima marginal, porém, não foi observada conexão entre canais localizados em diferentes parênquimas marginais (MARTINS- DA-SILVA, 2006).

A largura do parênquima marginal foi maior que a observada por Yanez Inzunza (1992), e maior que as descritas para as demais espécies do gênero (3-12 células) (FEDALTO; MENDES; CORADIN, 1989; MARTINS-DA-SILVA, 2006). Parênquima marginal com menor número de camadas celulares também podem ocorrer (2-4 células), porém, geralmente com ausência de canais axiais. Apesar de ser constantemente relatada a presença de cristais prismáticos em células do parênquima axial para várias espécies do gênero, como *C. langsdorffii*, *C. duckei* e *C. reticulata* (FEDALTO; MENDES; CORADIN, 1989; MARCATI; ANGYALOSSY-ALFONSO; BENETATI, 2001; MELO JUNIOR; CECCANTINI; BONA, 2011; NISGOSKI et al., 2012), não observamos estas estruturas em nenhuma das amostras.

Raios: não estratificados, numerosos, formado por células procumbentes; com largura variando de 1-3 células, podendo eventualmente ocorrer quatro ou mais células, extremamente baixos, com altura variando de 0,104 a 0,667 mm ($\bar{X}$ 0,314 mm). Foram observadas células com conteúdo oleoso (oleorresina) em quase todas as amostras analisadas. Em amostras de árvores produtoras de oleorresina, esta característica foi observada em quase 100% das células, principalmente nas áreas correspondente ao cerne (Figura 54). Nenhum trabalho disponível na literatura reporta a presença de oleorresina nas células de raio.

Figura 51 – Caracterização anatômica microscópica de *C. multijuga* Hayne (população natural) em plano transversal, quanto à largura do parênquima axial marginal nas diferentes posições do lenho e entre árvores produtivas e não produtivas (oleorresina) de população natural, onde: A (100% - próximo da casca), B (50% - área de transição) e C (0% - próximo da medula); cs - canais secretores axiais, ev - elementos de vaso; *ev_o* - elementos de vasos obstruídos com oleorresina; *ev_ot* - elementos de vaso obstruídos com tilos; *p1* e *p2* - parênquima axial marginal com e sem oleorresina respectivamente; *pv* - parênquima paratraqueal vasicêntrico. *Lâminas em coloração natural

Árvores com produção

Árvores sem produção

Figura 52 – Caracterização anatômica microscópica de *C. multijuga* Hayne (plantação) em plano transversal, quanto à largura do parênquima axial marginal nas diferentes posições do lenho e entre árvores produtivas e não produtivas (oleorresina) de plantação, onde: A (100% - próximo da casca), B (50% - área de transição) e C (0% - próximo da medula); cs - canais secretores axiais, ev – elemento de vaso; ev_ot – elemento de vaso obstruídos com tilos; p₁ e p₂ – parênquima axial marginal com e sem oleorresina respectivamente. *Lâminas em coloração natural

Figura 53 – Caracterização anatômica microscópica de *C. multijuga* Hayne em plano transversal (árvore produtiva): (A) camadas de células do parênquima marginal em detalhes, com presença de conteúdo oleoso e (B) Canal axial secretor disposto no parênquima axial marginal. *Lâminas em coloração natural

Figura 54 – Caracterização anatômica microscópica de *C. multijuga*: (A e B) raios uniseriados e multiseriados de 2, 3 e 4 em plano longitudinal tangencial; (C) raios visualizados em plano transversal e (D) raios visualizados em plano longitudinal radial. Em todos os planos de corte é possível visualizar o conteúdo oleoso das células. cp – células procumbentes; cs (canais secretores), ev – elementos de vaso; p – parênquima; r – raios e ru – raios uniseriados. A, C e D – árvores Produtivas; B – árvores não produtivas. *Lâminas em coloração natural

Vasos: são de diâmetros médios (108 μ m), muito poucos (frequência de 4,97 vasos/mm²), com 86,7% de vasos solitários, 8,6% geminados e 4,7% múltiplos radiais (3-8), podendo ocorrer ainda, múltiplos com mais de 8 vasos, porém raro. A frequência de vasos/mm² encontrada foi inferior à frequência reportada para esta mesma espécie e para *C. langsдорffii*, ambas com cerca de 7 vasos/mm² (YANEZ INZUNZA, 1992; MARCATI; ANGYALOSSY-ALFONSO; BENETATI, 2001; MARTINS-DA-SILVA, 2006; MELO JUNIOR; CECCANTINI; BONA 2011), porém foi semelhante a frequência encontrada para *C. reticulata* e *C. pubiflora* – 4,49-4,88 vasos/mm² (MARTINS-DA-SILVA, 2006). O diâmetro tangencial dos vasos está de acordo com os dados disponíveis para a espécie na literatura (YANEZ INZUNZA, 1992; MARTINS-DA-SILVA, 2006).

Constatou-se a presença de elementos de vaso variando de curtos a longos; apêndices quando presentes podem aparecer em uma ou ambas as extremidades, podendo ser curtos ou longos. Apresentam placa de perfuração simples, em área horizontal (circular) ou oblíqua. Em elementos vasculares irregulares as placas de perfuração podem apresentar-se dispostas em área vertical. Este tipo de placa, disposta verticalmente foi observado em *C. reticulata* (FEDALTO; MENDES; CORADIN, 1989). As pontoações intervasculares são alternas, areoladas, guarnecidas e com abertura inclusa (Figura 55).

A presença de pontoações guarnecidas e alternas é uma característica da família *Leguminosae*, assim como as placas de perfuração simples (IAWA COMMITTEE, 1989; MARCATI; ANGYALOSSY-ALFONSO; BENETATI, 2001). Pontoações guarnecidas desempenham papel importante na prevenção de embolias, pelo aumento da aderência das moléculas de água à parede das células (CARLQUIST, 1988).

De modo geral, os elementos vasculares descritos acima estão em conformidade com as descrições disponíveis na literatura para o gênero *Copaifera* L. (FEDALTO; MENDES; CORADIN, 1989; YANEZ INZUNZA, 1992; MARCATI; ANGYALOSSY-ALFONSO; BENETATI, 2001; MELO JUNIOR; CECCANTINI; BONA, 2011).

Figura 55 – Elementos vasculares de *C. multijugaga*. A, B, C, E e F (mat. dissoc., corados com safrablau): (A) vasos com placa de perfuração simples (pp), sem apêndice; (B) vasos com apêndices longos em uma das extremidades; (C) vasos com apêndices curtos em ambas as extremidades; (D) elemento vascular irregular, com placa de perfuração em disposição vertical; (E) detalhe da placa em disposição vertical; ap – apêndice, cp – cél. parenquimáticas; pt – pontuação intervascular; (F) detalhe das pontuações intervasculares com aréolas evidentes (a), guarnecidas e abertura inclusa (setas) - plano transversal, (lâmina levemente corada com safranina)

Fibras: libriformes, curtas, com comprimento médio de 904 μm , raramente longas ($\geq 1600\mu\text{m}$) e 10,84 μm de diâmetro do lume, apresentando paredes finas – 3,98 μm . Fibras com pontas bifurcadas foram observadas em amostras de todas as árvores estudadas, evidenciando ocorrência de crescimento intrusivo, no qual uma célula penetra entre outras que se separam ao longo da lamela média defronte da célula em crescimento (Figura 56).

De acordo com Esau (1974) fibras podem apresentar combinação de crescimento coordenado (sem separação das paredes) e intrusivo, no qual o primórdio de uma fibra jovem aumenta em comprimento, sem mudança de contatos celulares, enquanto que as células parenquimáticas adjacentes estão em processo ativo de divisão. Depois de algum tempo, o primórdio alcança desenvolvimento adicional pelo crescimento intrusivo de suas pontas (extremidades da fibra). Quando, durante o crescimento intrusivo o ápice é impedido em sua progressão por alguma combinação de células, ele curva-se ou bifurca-se.

Figura 56 – *Copaifera multijuga* Hayne. (A) Fibras libriformes – mat. dissociado (safrablau), com detalhe de uma fibra com ponta bifurcada (crescimento intrusivo – CI); (B) detalhe de uma fibra com ponta bifurcada (seta) em função de crescimento intrusivo

Análise quantitativa dos elementos anatômicos em relação à posição do lenho

Frequência e diâmetro dos vasos: não verificamos grandes variações quanto à frequência de vasos nas diferentes posições do lenho para árvores de população natural, contudo, nas árvores de plantação observamos uma pequena diminuição na frequência de vasos no sentido medula-casca. Conforme visualizado na caracterização da estrutura anatômica macroscópica (item 5.6.1), ocorre um aumento do diâmetro dos vasos no sentido radial (medula-casca) para os dois grupos de árvores estudados, com uma variação no diâmetro de 33% e 26% entre a medula e a casca, para as árvores de plantação e população natural, respectivamente (Tabela 6).

Tabela 6 – Dados quantitativos de elementos celulares (vasos) de *C. multijuga* nas diferentes posições do lenho

Árvores	Vasos	Parâmetros estatísticos	Posição do Lenho		
			0%	50%	100%
População natural	Frequência (nº/mm²)	Média	4,47	4,11	5,26
		Variação	3 - 8	2 - 7	2 - 9
		Desvio Padrão	1,0	0,99	1,54
	Diâmetro (µm)	Média	100,52	127,75	136,125
		Variação	172,09 - 54,53	186,07 - 60,06	200,1 - 90,12
		Desvio Padrão	23,115	21,19	18,625
Plantio	Frequência (nº/mm²)	Média	6,25	5,05	4,7
		Variação	3 - 9	3 - 7	3 - 7
		Desvio Padrão	6,25	5,05	4,7
	Diâmetro (µm)	Média	87,89	109,45	131,11
		Variação	55,77 - 164,38	60,77 - 182,38	76,88 - 201,14
		Desvio Padrão	16,58	24,35	23,30

*nesta análise foram incluídas todas as árvores de cada grupo, sem distinção entre produtivas e não produtivas

Esta redução na frequência do número de vasos da medula em direção a casca que ocorre nas árvores de plantação e o aumento de seus diâmetros na mesma direção são esperados, uma vez que os vasos de modo geral, tendem a aumentar em diâmetro e reduzir em frequência com o aumento da idade, tendendo a estabilizar no lenho adulto (SILVA et al., 2007), enquanto que nas árvores de população natural, provavelmente já atingiram a estabilidade em frequência.

Fibras: Em todos os parâmetros mensurados (comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular) foram verificadas diferenças significativas entre as posições do lenho avaliadas (Teste Kruskal-Wallis: $p\text{-valor} < 0,001$), onde as dimensões das fibras foram sempre maiores na região do alburno (Tabela 7). Estes resultados evidenciam que ocorre um aumento nas dimensões das fibras no sentido medula-casca e consequentemente em função do aumento da idade.

Tabela 7 – Comparação de dados quantitativos de elementos celulares (fibras) de cerne e alburno do lenho de *C. multijuga*

Fibras	Parâmetros estatísticos	Posição do lenho	
		Cerne (25%)	Alburno (75%)
Comprimento (μm)	Média	932,92 ^a	993,79 ^b
	Variação	506,9 - 1.487	401,9 - 1.809
	Desvio Padrão	0,526	0,522
Largura (μm)	Média	18,68 ^a	20,38 ^b
	Variação	6,12 - 32,60	10,13 - 32,54
	Desvio Padrão	3,35	3,72
Diâmetro Lume (μm)	Média	10,76 ^a	11,78 ^b
	Variação	9,82 - 24,42	8,06 - 22,976
	Desvio Padrão	3,67	3,66
Espessura parede (μm)	Média	3,95 ^a	4,30 ^b
	Variação	1,33 - 7,62	2,25 - 10,19
	Desvio padrão	1,01	1,07

*Nesta análise foram incluídas todas as árvores de população natural, produtivas e não produtivas. Valores seguidos de letras diferentes na mesma linha, diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Kruskal-Wallis

As dimensões dos elementos celulares são diretamente influenciadas pelas divisões longitudinais-tangenciais que ocorrem no câmbio, em decorrência da taxa de hormônios das árvores, que por sua vez, podem variar com diversos fatores: como condições ambientais, sazonalidade, fatores de ordem genética e com a idade dos indivíduos. O aumento dos elementos celulares que compõem o sistema axial do lenho em função da idade, é resultante

do aumento do comprimento das células que as originam (fusiformes iniciais), de modo geral, as células do câmbio passam a produzir até certo tempo ao longo do raio, elementos celulares com dimensões maiores, até atingir sua estabilização, em idades mais avançadas. Assim, os vasos e as fibras, localizadas nas camadas de crescimento mais internas (próximas da medula), apresentam menores dimensões que aqueles situados nas camadas mais finas de crescimento e próximas da casca (TOMAZELLO FILHO, 1985, 1987; SILVA et al., 2007; MELO et al., 2013).

Análise quantitativa dos elementos anatômicos em árvores produtoras e não produtoras de plantação e população natural

Comparando os dados quantitativos dos elementos anatômicos de árvores produtoras e não produtoras de oleorresina, não verificamos grandes variações entre os parâmetros avaliados, independente do grupo de árvores estudado (plantio e população natural). No entanto, verificamos que o diâmetro dos vasos, foi sempre maior em árvores com produção de oleorresina, tanto no plantio quanto na população natural, sendo esta diferença significativa estatisticamente em ambos os grupos (kruskal-Wallis: $p.\text{valor} < 0,001$). As variáveis: largura, diâmetro do lume e espessura da parede celular das fibras, bem como a frequência de vasos, foi sempre maior em árvores sem produção, porém estas variações foram mínimas, no nível da segunda e terceira casa decimal, e não significativas estatisticamente. O comprimento das fibras foi o único parâmetro que apresentou comportamento diferente entre produtivas/não produtivas de plantio e população natural, onde no plantio o comprimento médio das fibras foi maior nas árvores produtivas, porém não significativo, enquanto que na população natural, foi maior nas não produtivas, sendo esta diferença significativa (kruskal-Wallis: $p.\text{valor} < 0,001$) (Tabela 8).

Apesar de árvores com e sem produção de oleorresina não apresentarem muitas diferenças entre os valores médios dos parâmetros anatômicos avaliados, podemos observar que a variação entre os valores máximo e mínimo de cada elemento anatômico analisado foi sempre maior dentre as árvores de população natural, sejam elas produtivas ou não. Isto provavelmente está relacionado ao fato destas árvores apresentarem idades bastante variadas (69-110 anos), enquanto que as árvores de plantação possuem a mesma idade (33 anos). De modo geral, com exceção da frequência de vasos, as árvores de população natural, apresentaram sempre os maiores valores (média) para todos os elementos anatômicos

mensurados, sendo estas diferenças significativas estatisticamente com 99% de significância (Kruskal-Wallis: $p.\text{valor} \leq 0,001$) (Tabela 8).

Tabela 8 – Comparação dos dados quantitativos dos elementos celulares (fibras e vasos) do lenho de árvores produtoras e não produtoras de oleoresina, de plantação e população natural de *C. multijuga*

Elementos anatômicos	Parâmetros estatísticos	Plantação		População natural	
		Árvores Produtivas	Não Produtivas	Árvores Produtivas	Não Produtivas
Fibras Comprimento (μm)	Média	850,01c	836,85c	933,92a	1.011,23b
	Variação	636 - 1.520	571 - 1.351	607 - 1.955	569 - 1.488
	Desvio Padrão	0,22	0,21	0,22	0,22
Largura (μm)	Média	17,84b	18,14b	19,19a	20,09a
	Variação	12,48 - 27,37	11,44 - 32,54	9,31 - 32,54	6,12 - 32,61
	Desvio Padrão	2,48	2,98	3,59	3,67
Diâmetro Lume (μm)	Média	10,06b	10,71b	11,11a	11,51a
	Variação	7,90 - 11,07	7,28 - 23,92	8,06 - 22,97	7,41 - 24,429
	Desvio Padrão	2,67	2,92	3,42	4,07
Espessura parede (μm)	Média	3,82b	3,83b	4,23a	4,25a
	Variação	1,10 - 8,29	1,25 - 6,01	1,96 - 9,94	1,33 - 10,19
	Desvio Padrão	0,84	0,90	1,00	1,12
Vasos Frequência ($\text{n}^\circ/\text{mm}^2$)	Média	5,11a	5,62a	4,04b	4,61b
	Variação	3 - 9	3 - 9	2 - 9	2 - 9
	Desvio Padrão	1,07	1,18	1,2	1,16
Diâmetro (μm)	Média	111,68c	106,56d	124,03a	90,43b
	Variação	51,06 - 197,87	55,75 - 200,14	52,24 - 201,1	60,06 - 188,31
	Desvio Padrão	20,58	23,40	21,77	20,19

*valores seguidos de letras iguais dentro de uma mesma linha não diferem entre si

A diferença de idade entre árvores nativas e de plantação, também pode explicar o fato das nativas apresentarem elementos anatômicos com maior dimensão. Além do fator idade, fatores ambientais também podem estar contribuindo para esta diferença entre plantação e população natural, uma vez que, estas árvores crescem em locais diferentes, pois apesar do plantio está localizado relativamente próximo da população natural (aproximadamente 36 km, em linha reta), e em condições ambientais muito semelhantes, estão sujeitos a variações de microclima e composição do solo. Levando em consideração que na plantação as árvores encontram-se sob a mesma condição edáfica (dentro de uma mesma parcela – 1ha², em área de platô), enquanto que as árvores de população natural pela sua distribuição espacial, que é aleatória (com algumas árvores abrangendo distâncias de mais de 5 km uma das outras), estas crescem sob diferentes condições de relevo (platô, vertente e

baixio), consequentemente, em diferentes condições de solo, o que pode contribuir para maior variação (quantitativa) dos elementos anatômicos entre estas árvores.

Alguns estudos têm demonstrado variações quantitativas dos elementos anatômicos em relação às variações ambientais, principalmente no que se refere à disponibilidade de água e condições edáficas (ALVES; ANGYALOSSY-ALFONSO, 2000; MARCATI; ANGYALOSSY-ALFONSO; BENETATI, 2001; ALVES; ANGYALOSSY-ALFONSO, 2002; MELO JUNIOR; CECCANTINI; BONA 2011). A dimensão das fibras, por exemplo, depende tanto das características genéticas e ontogenéticas do vegetal, como de fatores externos, como o aporte de água (CARLQUIST, 1988). Estudos demonstraram uma correlação negativa entre o comprimento e o diâmetro das fibras, indicando, segundo o autor, que dependendo do ecossistema, o crescimento da fibra pode ser direcionado para o comprimento ou para o diâmetro (CECCANTINI, 1996). Foi observado que árvores de *C. langsdorffii* que crescem sobre neossolo flúvico apresentam, em média, vasos com maior diâmetro que aquelas que crescem sobre latossolos ou arenitos (MELO JUNIOR; CECCANTINIE; BONA, 2011).

De modo geral, com exceção ao diâmetro dos vasos, não foram encontradas diferenças anatômicas qualitativas ou quantitativas entre árvores produtivas e não produtivas que justifiquem ou indiquem o fato de algumas árvores produzirem oleorresina em abundância e outras não.

Apesar de ambos os tipos de árvores (com e sem produção) apresentarem elementos celulares com conteúdo oleoso (como já mostrado nas Figuras 51 e 52, vide pág. 122, 123) incluindo tanto células de parênquima, raios e vasos, pode-se observar visualmente pelas lâminas que a quantidade de células com conteúdo oleoso, é muito maior em árvores produtivas; onde, verifica-se grandes áreas com células completamente preenchidas com oleorresina, ao passo que, nas árvores não produtivas são escassas (Figura 57). Assim, com base nas análises da anatomia comparada dessas árvores, podemos afirmar que todas as árvores são produtoras de oleorresina, visto que todas apresentam canais axiais secretores, bem como células com conteúdo oleoso. Contudo, nem todas as árvores são produtivas. Pois, apesar das árvores consideradas como não produtivas, apresentarem células com conteúdo oleoso, a quantidade é muito pequena, independente do grau de desenvolvimento do tronco (diâmetro e % de cerne) e do tempo de espera (intervalo entre coletas) – árvores avaliadas em um período de 38 anos (1977-2014), continuam sem produzir, mesmo com o aumento do diâmetro do tronco, configurando que as mesmas não conseguem produzir oleorresina em

quantidades suficientes para armazenar, sendo por este motivo consideradas como árvores não produtivas.

Figura 57 – *Copaifera multijuga* Hayne. Diferenças quanto a quantidade de células com conteúdo oleoso. Árvores Produtoras: (A) sessão transversal, (B) sessão tangencial; (C) sessão radial; Árvores não produtivas (D sessão transversal, (E) sessão tangencial; (F) sessão radial. ev – elemento de vaso; cr – células de raio * Lâminas em coloração natural

Sistema de produção e armazenamento do oleorresina

Durante muito tempo têm-se discutido a respeito do sistema de produção e armazenamento do oleorresina das espécies de copaíba, havendo diferentes linhas de pensamento, onde acreditavam-se: (i) que o oleorresina sintetizado era armazenado em pequenas “bolsas”, formadas por canais alongados, e que os canais de uma zona não se comunicavam com outras, podendo-se extrair o óleo em diferentes pontos do caule (PIO CORRÊA, 1984) e (ii) que o oleorresina é sintetizado e armazenado em canais secretores verticais, os quais se distribuem no lenho das árvores, em faixas concêntricas, e que este canais se comunicam entre si, sendo necessário uma única perfuração para se extrair todo o óleo por ventura existente no lenho do tronco da árvore (ALENCAR, 1982).

Nenhuma das linhas de pensamento acima estão totalmente certas ou erradas. Até o presente momento a literatura existente sobre o assunto, ainda não comprovou a existência de tais “bolsas” de óleo no interior do lenho, apenas canais intercelulares axiais dispostos no parênquima marginal, que delimitam as camadas de crescimento (MARCATI; ANGYALOSSY-ALFONSO; BENETATI, 2001; MARTINS-DA-SILVA, 2006; RODRIGUES; TEIXEIRA; MACHADO, 2011; MILANI; ROCHA; TEIXEIRA, 2012), os

quais, se conectam por anastomose dentro do mesmo parênquima marginal (MARTINS-DASILVA, 2006). É comprovado também, que a síntese do oleorresina ocorre nas células epiteliais (parênquima) que delimitam os canais axiais (RODRIGUES; TEIXEIRA; MACHADO, 2011; MILANI; ROCHA; TEIXEIRA, 2012). Contudo, analisando na prática de campo, o que acontece no processo de extração do óleo, observamos que muitas vezes é necessário realizar mais de uma incisão no tronco da árvore, para encontrar o “bolsão” ou “veio” de óleo, como também, é denominado pelos extrativistas da região amazônica, e assim, conseguir extraí-lo. Logo, se o oleorresina ficasse armazenado nos canais axiais (parênquima marginal), em qualquer ponto do tronco da árvore se conseguiria extrair o oleorresina, uma vez que os mesmos se distribuem concentricamente (camadas de crescimento) em todo o lenho. Além disso, se assim fosse, em uma única incisão se conseguiria extrair todo o óleo contido na árvore, o que na prática não acontece. Evidências de armazenamento do oleorresina em diferentes locais do lenho foram observadas no presente trabalho (vide item 5.3.5).

No presente estudo, foi observado que os canais secretores, presentes no parênquima marginal, estavam em sua maioria desobstruídos (sem oleorresina), apesar das células de parênquima que os circundam, apresentarem conteúdo oleoso em abundância, como visualizado anteriormente nas Figuras 53 e 54 (vide pág. 124). Ao passo que tanto as células de raio como os vasos (dutos alongados) estão sempre preenchidas com oleorresina (Figura 54 e 57, vide pág. 124, 132).

Estas evidências, sugerem que apesar do oleorresina ser sintetizado nas células dos canais secretores, estes são responsáveis apenas pela secreção, sendo o óleo transportado pelas células de raio até os vasos (localizados na região do cerne), onde o oleorresina fica armazenado. Durante o processo de cernificação (transformação das camadas mais internas de alburno em cerne) as células tornam-se inativas fisiologicamente, assim os vasos perdem a função de transporte de água na planta, passando a armazenar extrativos, como gomas e resinas (BURGER; RICHTER, 1991, CHAGAS, 2013). Assim, os chamados “bolsões” de óleo na verdade são os vasos localizados na região do cerne, e próximo da medula, razão pela qual se faz necessário que as incisões para se extrair oleorresina sejam feitas até a medula. A liberação do oleorresina pelo orifício aberto no tronco, provavelmente ocorre por diferença de pressão, escoando pela medula até o local da incisão.

Evidências do transporte do oleorresina, via células de raio, foram observados em sessões tangenciais do lenho, onde nitidamente o caminho realizado pelo oleorresina, acompanha as células de raio, que estão dispostas de forma não estratificada, conduzindo o

óleo até os vasos, podendo o transporte ocorrer também via células de parênquima paratraqueal (Figura 58), isto pode ser o que os extrativistas chamam de “veio de óleo”, podendo ocorrer também, mais de um local de transporte, de acordo com a disposição dos vasos e/ou conforme os vasos de uma determinada área vão sendo preenchidos, sendo o óleo direcionado para outros locais do lenho (vasos). Isso explica o porquê de algumas vezes ser necessário mais de um furo na árvore para se extrair o óleo, ou seja, para se encontrar o “veio” (local de transporte), assim como, explica o fato de se conseguir extrair óleo em diferentes pontos do fuste.

Figura 58 – Transporte do oleorresina sendo realizado via células de raio e parênquima em direção aos vasos, em sessão tangencial. (A) vaso com armazenamento de oleorresina, com células de parênquima paratraqueal providas de oleorresina; (B) Células de parênquima com conteúdo oleoso em abundância, podendo ser também um meio de transporte do oleorresina; (C, D) oleorresina sendo transportado até os vasos (setas indicam o transporte) – “veio de óleo”

Contudo, apesar das evidencias encontradas, estudos mais minuciosos, envolvendo técnicas com maior precisão de imagens, como microscopia eletrônica, dentre outras, são necessários para confirmar as observações e hipóteses levantadas no presente estudo.

5.7 Análise densitométrica do lenho de *C. multijuga*

Variação na densidade aparente do lenho no sentido radial do tronco em árvores de plantação e população natural de *C. multijuga*

A densidade média aparente do lenho das árvores de *C. multijuga* foi de 0,74 g/cm³, independente do grupo de árvores avaliadas (plantação e população natural), no entanto, os valores de densidade mínima e máxima variaram entre os grupos analisados, sendo que árvores de população natural apresentaram maior variação nos valores de densidade do que as árvores de plantação (Tabela 9). Esta variação nos valores mínimo e máximo de densidade entre os grupos de árvores analisadas foi significativa estatisticamente (ANOVA – Dmínima: F = 125,9; p.valor < 0,001; Dmáxima: F = 57,18; p.valor < 0,001, N= 114).

Tabela 9 – Comparação dos valores de densidade aparente (média, mínima e máxima) e parâmetros estatísticos (desvio padrão e coeficiente de variação) das amostras de lenho de *C. multijuga* de plantação e população natural

Árvores/amostras	Densidade (g/cm ³) – 12%				C.V. (%)
	Média	Mínima	Máxima	Desvio padrão	
Plantação	0,740	0,557	0,965	0,069	9,267
População natural	0,740	0,477	1,037	0,086	11,701

Os valores de densidade aparente (média) encontrados foram superiores aos valores reportados na literatura, tanto para a espécie em estudo (0,69 g/cm³, a 15% de umidade) (LOUREIRO; SILVA; ALENCAR, 1979; IPT, 1989), como para outras espécies do gênero (0,62 g/cm³, densidade básica) (FEDALTO; MENDES; CORADIN, 1989). Contudo, a maioria dos dados disponíveis na literatura se referem a densidade básica (massa seca/volume saturado), cujos valores são sempre inferiores aos da densidade aparente (massa/volume, a um mesmo teor de umidade, próximo de 12%, NBR 7190/1997) (CHAGAS, 2013), cuja acurácia, depende tanto do método de determinação que está sendo utilizado, quanto do teor de umidade da amostra, havendo uma correlação positiva entre teor de umidade e densidade da madeira (LOGSDON, 1998).

A densidade da madeira relaciona-se diretamente com seus elementos anatômicos, principalmente com a dimensão das células e espessura da parede celular (NUGROHO et al., 2012). Logo, às diferenças encontradas nos valores de densidade máxima e mínima entre as árvores de plantação e população natural, provavelmente é um reflexo das diferenças observadas nas dimensões dos elementos celulares anatômicos, onde árvores de população

natural tiveram sempre os maiores valores médios de dimensão das fibras e diâmetro dos vasos, em comparação com as árvores de plantação (vide - Tabela 8), sendo que as dimensões dos elementos celulares relacionam-se diretamente com a idade das árvores, havendo variações de mais de 100% entre a idade do plantio e a idade das árvores de população natural, assim como entre as dimensões do diâmetro dessas respectivas árvores.

A variação entre os valores médios de densidade (média, máxima e mínima) do lenho em relação ao raio (comprimento) das amostras, também foi maior entre árvores de população natural do que em árvores de plantação. Onde, nas árvores de população natural, apesar dos valores de densidade média manter uma tendência constante ao longo do raio das amostras, foi observado leve tendência de diminuição e aumento dos valores de densidade mínima e máxima, respectivamente, com o aumento do raio. Enquanto, que entre as árvores de plantação não foram observadas variações importantes nos valores médios de densidade média, máxima e mínima, com o aumento do raio das amostras, apresentando tendências mais ou menos constantes (Figura 59).

Figura 59 – Relação entre os valores médios de densidade aparente (média, máxima e mínima) e o raio das amostras do lenho de *C. multijuga* de plantação e população natural (N=30)

Provavelmente, a maior variação na densidade entre as árvores de população natural também está relacionada ao fato das mesmas apresentarem diâmetros do tronco e idades diferentes entre si, o que é evidenciado pelos valores mínimo e máximo do raio das amostras, havendo uma tendência de árvores mais velhas serem maiores em diâmetro, como demonstrado no item 5.3.4. Ao passo que, dentre as árvores de plantação, não existe variação de idade, apenas no diâmetro, porém menor que a variação das árvores de população natural,

ressaltando ainda que a variação nas dimensões dos elementos anatômicos também foi menor na plantação.

Estudos realizados com diversas espécies têm reportado constantemente a influência da idade das árvores na densidade do lenho (ROQUE; TOMAZELLO, 2005; NOCK et al., 2009; ALVARADO et al., 2010; CHAGAS, 2013; GONZÁLEZ, 2013; OLIVEIRA, 2015), sendo que, este aumento da densidade com o aumento da idade tem sido atribuído, principalmente, às alterações fisiológicas do meristema cambial, o qual é influenciado pela sazonalidade climática, induzindo a formação das camadas de crescimento; além de atender as exigências de sustentação (mecânico-fisiológicas) e equilíbrio do tronco das árvores, resultado do aumento da espessura da parede das fibras e frequência do número de vasos (TOMAZELLO FILHO, 2006; TOMAZELLO FILHO et al., 2008).

Os perfis radiais de densidade aparente do lenho das árvores de *C. multijuga* indicam uma relação com sua estrutura anatômica macro e microscópica em ambos os grupos de árvores estudadas (plantação e população natural), sendo observado para a maioria das amostras um aumento gradativo da densidade da medula em direção à casca, bem como, um aumento nas dimensões dos elementos celulares (fibras e vasos), com consequente espessamento da parede celular (Figura 60 e 61, Anexo D). O aumento de densidade no sentido medula – casca foi mais evidente nas amostras de população natural, onde em função da idade, as regiões de lenho de madeira juvenil e adulta são melhor definidas.

Figura 60 – Perfil radial da densidade aparente do lenho de *Copaifera multijuga* de plantação e sua relação com a estrutura anatômica macro e microscópica

Figura 61 – Perfil radial da densidade aparente do lenho de *Copaifera multijuga* de população natural, evidenciando o aumento da densidade no sentido medula-casca, bem como o aumento do diâmetro dos vasos e espessura da parede celular

Variação da densidade aparente do lenho em árvores produtoras e não produtoras de oleorresina

Não foram verificadas diferenças significativas entre árvores produtoras e não produtoras de oleorresina, para os valores de densidade aparente (média, máxima e mínima), não sendo encontradas também diferenças significativas entre os valores de densidade para as amostras analisadas antes e depois de serem submetidas ao processo de extração de resina (impregnada no lenho das amostras), mantendo-se apenas as diferenças entre as árvores de plantação e população natural, como já discutido anteriormente no presente trabalho (Tabela 10). O aumento da densidade do lenho no sentido medula – casca, juntamente com a análise anatômica macro e microscópica, onde não foi verificado variação quantitativa dos elementos anatômicos entre árvores com e sem produção (vide item 5.6.2), bem como o fato das áreas de ocorrência do oleorresina ocorrerem predominantemente no cerne e próximo à medula, reforçam estes resultados, evidenciando que o oleorresina não influencia na densidade do lenho de árvores de *C. multijuga*.

Tabela 10 – Comparação dos valores de densidade aparente (média, mínima e máxima) e parâmetros estatísticos (desvio padrão e coeficiente de variação) entre árvores produtoras e não produtoras de oleorresina, de plantação e população natural, bem como um comparativo da densidade do lenho antes e depois de realizada a extração da resina

População natural					
Amostras	Densidade (g/cm³)				C.V. (%)
	Média	Mínima	Máxima	Desvio padrão	
Árvores produtivas	0,738	0,475	1,033	0,086	11,649
Árvores não produtivas	0,745	0,484	1,050	0,088	11,907
Análise sem extração/resina	0,728	0,451	0,993	0,091	12,643
Análise com extração/resina	0,734	0,469	1,005	0,090	12,229
Plantação					
Amostras	Densidade (g/cm³)				C.V. (%)
	Média	Mínima	Máxima	Desvio padrão	
Árvores produtivas	0,739	0,559	0,960	0,066	8,891
Árvores não produtivas	0,742	0,555	0,969	0,071	9,552
Análise sem extração/resina	0,728	0,542	0,961	0,075	10,360
Análise com extração/resina	0,713	0,515	0,945	0,083	11,724

Apesar de a literatura frequentemente relatar que os extrativos influenciam diretamente na densidade do lenho de diversas espécies (TSOUMIS, 1991; BARRICHELO; BRITO, 1984, SILVA; TRUGILHO, 2003), a maioria destes estudos envolvem espécies de

clima temperado como *Pinus* e *Eucalyptus*. Estudos envolvendo espécies tropicais ainda são recentes, não havendo muitos dados disponíveis na literatura para comparação. O efeito de extrativos na densidade da madeira foi observado em amostras do lenho de mogno (*Swietenia macrophylla*) (ALVARADO, 2009).

Análise dos anéis de crescimento pelo perfil radial de densidade aparente do lenho

O perfil radial de densidade aparente do lenho das árvores de *C. multijuga* evidencia e possibilita a demarcação do limite dos anéis de crescimento pelas variações de densidade inter e intra-anéis de crescimento, ocorrendo sempre uma redução dos valores de densidade nos limites dos anéis, em função da presença do parênquima longitudinal marginal, o qual é constituído por células de parede delgada e maior lume, exercendo menor atenuação à passagem dos raios X durante o processo de irradiação do lenho (ALVARADO, et al., 2010; CHAGAS, 2013), que juntamente com a caracterização anatômica, contribui para a determinação da idade das árvores, tanto de plantação quanto de população natural (Figura 62 e 63).

Contudo, ressaltamos que a determinação da idade da árvore pelo perfil radial de densidade do lenho, vai depender da qualidade das amostras do lenho, visto que, nem sempre se consegue retirar amostras com a medula bem centralizada, dificultando a demarcação dos primeiros anéis, que nas árvores de plantação, devido aos efeitos da adubação nos anos iniciais, são poucos distintos, ocorrendo em alguns casos ausência da linha de parênquima marginal, enquanto que os de população natural, devido à competição por luz, que estimula o crescimento em altura da planta, para atingir o dossel da floresta, são mais estreitos, com exceção das árvores que eventualmente crescem em áreas de clareiras. Porém, com o aumento da idade e da largura dos anéis de crescimento (a partir do décimo anel – árvores de plantação), o limite dos mesmos, é mais facilmente visualizado, e quando comparado com a imagem da respectiva seção transversal polida, pela visualização e correspondência dos anéis de crescimento, proporciona uma demarcação mais precisa. Em árvores de população natural não foi detectada uma idade comum para o aumento da largura dos anéis, provavelmente isto ocorre a partir do momento que a árvore atinge o dossel da floresta, onde o suprimento de luz é total, favorecendo a assimilação de carbono pelo processo fotossintético e consequentemente o aumento da largura das camadas de crescimento.

O emprego desta metodologia (densitometria de raios X) na delimitação dos anéis de crescimento tem sido testado por diversos autores em diferentes espécies florestais

(TOMAZELLO FILHO; BOTOSSO; LISI, 2000; ALVARADO, et al 2010; CHAGAS, 2013; OLIVEIRA; 2015), sendo que a mesma tem sido bem mais satisfatória em espécies cujas camadas de crescimento são delimitadas por parênquima longitudinal marginal. Esta redução característica dos valores de densidade coincidente com a linha de parênquima marginal tem sido constantemente relatada em outras espécies florestais, cujas camadas de crescimento são delimitadas por esta estrutura anatômica, como *Swietenia macrophylla* e *Caesalpinia pluviosa*, que associada a imagem de sua sessão transversal, possibilita a demarcação de seus anéis de crescimento (ALVARADO et al., 2010; CHAGAS, 2013).

Figura 62 – Perfil radial de densidade aparente do lenho de árvores de *C. multijuga*. de plantação, evidenciando a delimitação dos anéis de crescimento e sua correspondência na imagem da respectiva seção transversal

Figura 63 – Perfil radial de densidade aparente do lenho de árvores de *C. multijuga*. de população natural, evidenciando a delimitação dos anéis de crescimento e sua correspondência na imagem da respectiva seção transversal

5.8 Análise dendrocronológica dos anéis de crescimento do lenho de árvores de *C. multijuga* de plantação e população natural

Os resultados do controle de qualidade e da datação cruzada dos anéis de crescimento das árvores de *C. multijuga* das duas áreas de estudo (plantação e população natural) realizados pelo software COFECHA são apresentados na Tabela 11, onde verifica-se que o exame dos anéis de crescimento confirmou a idade das árvores de plantação, de 33 anos, indicando formação de anéis de crescimento anuais, sendo que, das 40 árvores selecionadas para a datação dos anéis, apenas 25 mostraram sinal comum de crescimento, apresentando, contudo, valor de intercorrelação das séries cronológicas satisfatórios – 0,594, acima do valor de correlação crítica – 0,515 (Pearson, 99% de significância).

O baixo número de árvores com sincronização de crescimento na plantação, provavelmente está associado à competição pelos recursos nutricionais que ocorre dentro do plantio, em função das limitações de espaçamento entre as árvores, onde foi verificado (em campo) que árvores localizadas na área central do plantio apresentavam diâmetro do tronco menos desenvolvido em comparação com as árvores mais próximas das bordas, onde a competição pelos recursos do solo é menor, resultando em distintos padrões de crescimento. Resultados obtidos por Oliveira (2015) em plantações de *Cariniana legalis* com diferentes espaçamentos mostraram que a largura e o padrão de variação dos anéis de crescimento são fortemente influenciados pelas condições de crescimento. Anéis de crescimento com padrões anômalos, também podem ocorrer em função de lesões no lenho (GRISSINO-MAYER, 2001). Em algumas amostras, foi observado a formação de nós, provavelmente, em resposta a alguma injúria (origem mecânica ou provocada por ataque de insetos) sofrida pela árvore ao longo de seu desenvolvimento. Os anéis formados nas regiões do lenho de ocorrência dessas lesões (nós), além de apresentarem padrão anômalo, eram em sua maioria pouco distintos dos demais, dificultando a demarcação exata e mensuração de sua largura, o que pode ter contribuído para os diferentes padrões de crescimentos entre as amostras analisadas.

Dentre as árvores de população natural, a contagem dos anéis de crescimento variou de 53 a 120 anéis por árvore, contudo devido aos diferentes padrões de crescimento já descritos anteriormente, pequenos ajustes foram necessários para garantir que a sincronização final dos anéis de crescimento atingisse valores satisfatórios de significância (acima do nível de correlação crítica), procedendo-se a exclusão destas árvores, incluindo a de maior número de anéis. Desta forma, das 40 árvores selecionadas em população natural, 33 respondem a um sinal comum, determinando o ritmo de crescimento radial dessas árvores, com alto valor de

intercorrelação entre as séries cronológicas (0,533), considerando um valor crítico de significância de 0,328 (Pearson 99%), apresentando uma cronologia final de 108 anos.

O grau de correlação entre a sincronização das séries cronológicas dos anéis de crescimento pode diferir entre árvores, espécies, área geográfica, grau de homogeneidade do sítio, intensidade de competição e grau de perturbação em uma determinada área (GRISSINO-MAYER, 2001). Deste modo, os diferentes padrões de crescimento encontrados para algumas das árvores de população natural, pode ser explicado pelo tipo de distribuição espacial destas árvores (aleatória), abrangendo áreas com diferentes microclimas, posições topográficas e tipos de solo. Foi observado que algumas das árvores excluídas da cronologia final por apresentarem padrão de crescimento anômalo em relação as demais árvores analisadas, crescem em área de clareira (área aberta pela queda natural de uma árvore, sendo um processo natural, fazendo parte da dinâmica de sucessão e manutenção da floresta). Quando uma clareira é formada ela aparece trazendo mudanças na intensidade de luz, umidade e temperatura do ar e do solo, havendo também uma diversificada concentração de nutrientes no solo (MACIEL et al., 2002; TANAKA; VIEIRA, 2006). Assim, com maior suprimento de luz e disponibilidade de recursos nutricionais, o processo de fotossíntese e assimilação de carbono é favorecido, sendo evidenciado pela formação de anéis de crescimento mais largos que as demais árvores que apresentaram sinal comum.

Tabela 11 – Controle de qualidade da sincronização dos anéis de crescimento de *C. multijuga* de plantação e população natural

Área	Período de tempo	Anos	Intercorrelação das séries	Sensibilidade média	Total de árvores	Total de amostras	Total de anéis
Plantação	1980-2012	33	0,594	0,299	25	57	4850
População natural	1905-2012	108	0,533	0,325	33	33	1017

Os valores de sensibilidade média estão diretamente relacionados a suscetibilidade das árvores ao estresse causado pelas variações climáticas, sendo esta suscetibilidade refletida na largura dos anéis de crescimento (FRITZ, 1976). Quanto menor o valor de sensibilidade média dos anéis de crescimento, menor é sua suscetibilidade as variações do clima. Grissino-Mayer (2001) classificou os anéis de crescimento como sendo de sensibilidade baixa (0,1-0,19), média (0,20 - 0,29) e sensíveis (>0,30). Quando as árvores não estão sendo afetadas pelas variações do clima, os anéis de crescimento tendem a apresentar menor variabilidade, sendo caracterizados como complacentes (FRITZ, 1976). No presente estudo as árvores de

população natural apresentaram valores de sensibilidade média inferior a 0,30 (média sensibilidade), enquanto as árvores de plantio mostraram-se mais sensíveis as variações do clima ($> 0,30$) (Tabela 11). Contudo apesar das árvores de plantação atenderem a classificação de árvores consideradas sensíveis, os valores encontrados foram muito baixos quando comparado a outras espécies tropicais consideradas sensíveis, que geralmente apresentam valores próximos de 0,5, e em alguns casos maior que 0,6 (BRANDES; LISI; BARROS, 2011; CHAGAS, 2013; OLIVEIRA, 2015; PAGOTTO, et al, 2015).

As duas cronologias construídas (plantação e população natural) apresentaram o mesmo padrão de crescimento radial do tronco, demonstrando que o ritmo de crescimento das árvores, tanto do plantio como da população natural respondem a um sinal comum (variação climática e ou competição). As árvores das duas áreas de estudo apresentaram heterogeneidade no número total de anéis de crescimento, com poucas árvores (maior idade) no início da construção da cronologia, sendo que, as árvores mais jovens vão sendo gradativamente incluídas na série cronológica (Figura 64). Estas diferenças no número de anéis entre as árvores de plantação, é explicado pelas diferentes posições (altura do tronco) onde as amostras do lenho foram coletadas, em função da presença de bifurcação no tronco destas árvores, onde, amostras que apresentaram maior número de anéis (33) corroborando com a idade real do plantio, foram aquelas retiradas próximos da base, onde é possível contemplar todas as camadas de crescimento.

A sincronização entre as cronologias da plantação e população natural evidencia que a formação dos anéis de crescimento é anual em ambos os grupos de árvores. A formação de anéis de crescimento anuais tem sido relatada para diversas espécies tropicais, geralmente associados a variações sazonais de precipitação (WORBES, 2002; BRIENEN; ZUIDEMA, 2005; MARCATTI; ANGYALOSSY; EVERT, 2006; PAGOTTO et al. 2015). Estudos realizados na Reserva Ducke, em Manaus, verificaram padrões anuais de formação dos anéis de crescimento para *Cedrela odorata*, em função da sazonalidade climática (BOTOSSO; VETTER; TOMAZELLO FLHO, 2000). Estudos dendrocronológicos envolvendo espécies do gênero *Copaifera* são recentes, não havendo muitos dados disponíveis para comparação; entretanto, Costa et al. (2015) analisando o crescimento radial de cinco espécies pertencentes à família *Leguminosae*, incluindo *Copaifera langsdorffii*, observaram a formação de anéis anuais para todas as espécies estudadas.

Figura 64 – Séries cronológicas padronizadas e número de amostras de árvores de *C. multijuga* de plantação e população natural

5.9 Efeito das variáveis climáticas no crescimento radial das árvores

Vários estudos têm demonstrado o efeito da sazonalidade climática no crescimento radial das árvores, sendo que em espécies de clima tropical a precipitação tem sido apontada como um dos principais fatores limitantes do crescimento, influenciando diretamente na largura dos anéis de crescimento (BOTOSSO; VETTER; TOMAZELLO FILHO, 2000; WORBES, 2002; BRIENEN; ZUIDEMA, 2005; SOLIZ-GAMBOA et al., 2011; ROZENDAAL; ZUIDEMA, 2011; OLIVEIRA, 2015). O crescimento de espécies florestais pode ser influenciado pela precipitação de diversas maneiras: (i) precipitação total anual, (ii) do período de chuvas, (iii) da estação seca e (iv) no período de transição, podendo ser afetada ainda, tanto pelas quantidades de chuvas precipitadas no ano de formação do anel ou no ano prévio (ROZENDAL; ZUIDEMA, 2011).

No presente trabalho, a análise da correlação entre as cronologias dos anéis de crescimento de *C. multijuga*, em princípio, revelou diferentes respostas entre árvores de plantação e população natural, sendo que nas duas áreas de estudo foram verificadas correlações positivas e negativas entre a precipitação e os índices de crescimento. Onde, nas

árvores de plantação foi verificado períodos mensais de influência da precipitação no crescimento radial do tronco das árvores, apresentando correlações positivas e significativas para os meses de janeiro e junho (início da estação chuvosa e transição entre as estações chuvosa/seca, respectivamente) do ano prévio, enquanto que, nas árvores de população natural não foram encontradas correlações significativas entre precipitação e os índices de crescimento das árvores (Figura 65, Anexo E). Embora, nenhum dos crescimentos negativos registrados terem sido significativos estatisticamente, observa-se que nas duas áreas de estudo, eles foram sempre mais evidentes em meses com grande quantidade de chuva precipitada (março, abril, maio, novembro, dezembro).

Figura 65 – Correlação das cronologias dos anéis de crescimento de *C. multijuga* com a precipitação mensal acumulada. Linha pontilhada indica o início da formação do anel de crescimento; (*) correlação significativa

Crescimentos negativos ocorrendo durante a estação de chuvas tem sido relatado na literatura. Estudos realizados na Reserva Ducke, em Manaus (área onde o presente trabalho também foi desenvolvido), utilizando faixas dendrométricas, verificaram redução das taxas de crescimento nos meses de março a maio (final do período chuvoso) para as espécies *Cedrela odorata*, *Calophyllum angulare* e *Eperua bijuga* (BOTOSSO, VETTER; TOMAZELLO FILHO, 2000). As funções de correlação exibiram padrões diferentes para as espécies *Clarisia racemosa*, *Peltogyne* cf. *herophylae* e *Cedrelinga catenaeformis* estudadas em uma área de floresta tropical na Bolívia, onde *Clarisia* apresentou correlação negativa e significativa com a precipitação nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro do ano corrente, enquanto que *Peltogyne* obteve correlações positivas com o período de chuvas do ano anterior a formação do anel, já em *Cedrelinga*, anéis mais largos foram associados ao período de menor precipitação e segundo os autores, tais resultados mostram que as espécies podem apresentar estratégias diferentes de crescimento (SOLIZ-GAMBOA et al., 2011). Crescimentos negativos também foram relatados por Ferreira-Fedele et al., (2004) para a espécie Guarantã.

Sabe-se que o déficit hídrico é estressante para as plantas interferindo no crescimento das mesmas, contudo o excesso de água também pode causar efeitos negativos ao crescimento de uma planta (TAIZ; ZEIGER, 2013). Em virtude disto, alguns autores têm atribuído estes crescimentos negativos durante a estação chuvosa à saturação de água no solo, causando asfixia temporária no sistema radicular das árvores (BOTOSSO; VETTER; TOMAZELLO FILHO, 2000). Os solos, de modo geral são classificados de acordo com o tamanho de suas partículas podendo variar de partículas grandes (areia) e partículas pequenas (argila), onde os solos com partículas menores e pouco porosos possuem maior capacidade de retenção de água, que aqueles de partículas maiores e maior porosidade. Assim, durante os meses mais chuvosos, os solos mais argilosos (> 60% de argila), os quais são característicos das duas áreas de estudo do presente trabalho, tendem a ficar saturados pelo excesso de água, sendo que os efeitos deletérios do excesso de água são consequências, principalmente, da remoção do oxigênio do solo, uma vez que, as raízes das árvores precisam ter acesso ao oxigênio presente no solo. Desta forma, quando o solo se encontra saturado, os espaços “vazios” que antes eram ocupados por gases (O₂) ficam preenchidos pela água precipitada, reduzindo drasticamente a disponibilidade de O₂ para as raízes, podendo gerar hipoxia e anoxia (baixa concentração e ausência de O₂, respectivamente), sendo que ambas danificam as raízes pela inibição da respiração celular, tendo como consequência produção reduzida de ATP (utilizada nos processos bioquímicos e fisiológicos da planta), gerando incapacidade de realizar trabalho

bioquímico, afetando diretamente a assimilação de carbono e o crescimento da árvore (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Ao analisarmos o crescimento das árvores em função da precipitação anual total verificamos uma correspondência entre as cronologias e a precipitação ao longo dos anos tanto para plantação como para população natural. Contudo, dentre as árvores de população natural, apesar da sincronização entre a cronologia e a curva de precipitação não terem sido total, pode-se verificar vários pontos de correspondência (Figura 66). Em virtude disto, analisamos a relação entre a precipitação mensal acumulada e o crescimento das árvores em três diferentes períodos (idade): (i) 1 a 35 anos; (ii) nos 35 anos seguintes (36-70 anos) e (iii) acima de 70 anos, sendo que em todos os períodos avaliados foram observadas correlações positivas e significativas, contudo os meses de maior influência da precipitação variaram nos diferentes estágios de vida das árvores (Figura 67). Nos primeiros 35 anos, os meses de outubro e julho do ano corrente apresentaram maiores crescimento, havendo correlação positiva e significativa com a precipitação, enquanto que nos 35 anos seguintes a correlação foi maior no mês de setembro do ano prévio, já no estágio (idade) mais avançado (> 70 anos) o crescimento foi maior em agosto do ano corrente, sendo a correlação significativa.

De modo geral, apesar destas divergências quanto aos meses de maior influência da precipitação no crescimento das árvores, podemos observar que tanto nas árvores de plantação como população natural, com exceção do mês de janeiro (plantação), todos as demais correlações significativas ocorreram ou nos meses de transição entre as duas estações chuvosa/seca ou no início e durante a estação seca (Figuras 65 e 67), evidenciando que estas árvores não precisam de grandes quantidades de chuvas para quebrar a dormência cambial e assim ativar o crescimento. Brien e Zuidema (2005) também sugerem que as chuvas no final do período seco e início da estação chuvosa podem ser responsáveis por quebrar a dormência cambial e estimular o crescimento das árvores.

Resultados obtidos por Botosso, Vetter e Tomazello Filho (2000) para três espécies florestais na Reserva Ducke, estão de acordo com os resultados do presente trabalho, onde segundo os autores, após a redução ocorrida nas taxas de crescimento no fim do período chuvoso, houve uma retomada do crescimento, no início e durante a estação seca, imediatamente após as primeiras chuvas (poucas e intensas) que antecedem a próxima estação chuvosa. Estudos realizado em uma floresta tropical na Bolívia não encontraram correlações entre as cronologias das árvores e a precipitação anual, no entanto, os autores observaram correlações positivas entre estas duas variáveis em determinados períodos do ano, sendo que três espécies apresentaram correlações significativas com a precipitação apenas no início da

estação chuvosa, havendo redução do crescimento com aumento das chuvas, e uma espécie apresentou índices satisfatórios e significativos no período de transição da estação chuvosa para a seca (BRIENEN; ZUIDEMA, 2005).

Os diferentes comportamentos do crescimento radial do tronco das árvores, observados nos distintos estágios de vida (idade), nos sugerem que outros fatores podem estar influenciando em conjunto com a precipitação no crescimento destas árvores: dentre eles, a própria idade da árvore em cada período avaliado e seus respectivos desempenho fisiológico, uma vez que, a eficiência fotossintética pode diminuir com o aumento da idade das árvores (FRITZ, 1976). Além disso, as estratégias de crescimento de cada espécie afetam a forma com as mesmas reagem aos eventos climáticos, sabe-se que *C. mulijuga* apresenta comportamento semicaducifólio no final da frutificação (julho) com renovação parcial das folhas (ALENCAR, 1988). Folhas jovens apresentam maior capacidade fotossintética que folhas velhas, logo a quantidade de folhas novas, associada a água armazenada no solo no final da estação chuvosa pode explicar as correlações positivas com precipitação nos períodos de transição e início da estação seca. Árvores de *Swietenia macrophylla* e *Pterocarpus vernalis* perdem suas folhas durante os meses de dezembro a janeiro, entretanto, podem utilizar a precipitação durante os meses de transição entre as estações para a produção de amido, o qual é utilizado na formação do lenho (WORBES, 1999). Parâmetros ecofisiológicos monitorados por Ronquim, Prado e Souza (2009) durante épocas de chuvas e seca em *C. langsdorffii*, indicam segundo o autor, que a espécie apresenta em suas folhas mecanismos fisiológicos e morfológicos que permitem superar o estresse hídrico sazonal em fisionomias florestais. Resultados semelhantes também foram encontrados por Bertholdi (2013) para a mesma espécie em área de floresta estacional semidecídua no Estado de São Paulo.

Outro fator que pode estar influenciando no crescimento das árvores é a intensidade de competição tanto pelos recursos do solo, não somente pelos nutrientes, mas também por oxigênio durante os períodos que ocorre saturação do solo pelo excesso de água precipitada (estação chuvosa), além da competição por luz, principalmente nos estágios iniciais de crescimento onde a árvore precisa investir também no crescimento em altura para atingir o dossel da floresta (BRIENEN; ZUIDEMA, MARTÍNEZ-RAMOS, 2010), o que é evidenciado pela largura dos anéis (mais estreitos) nos primeiros anos de vida das árvores de população natural.

Figura 66 – Relação entre as cronologias (índices de crescimento) de *C. multijuga* de plantação e população natural com a precipitação anual total. Círculos representam locais em que há relação entre o crescimento das árvores e a precipitação (população natural)

Figura 67 – Correlação entre precipitação e os índices de crescimento em diferentes períodos de idade de árvores de *C. multijuga* de população natural. Linha pontilhada indica início de formação do anel de crescimento; (*) correlação significativa

Em relação à temperatura tanto às árvores de plantação como as de população natural sofreram efeitos positivos e negativos da temperatura (média, máxima e mínima) sobre o crescimento radial do lenho. Contudo, a maioria das correlações não foram significativas, apenas a temperatura máxima apresentou efeito significativo sobre o crescimento das árvores de plantação, influenciando negativamente o crescimento no mês de junho (transição entre as estações Chuvosa/seca) do ano prévio (Figura 68). Apesar das correlações não terem sido significativas entre temperatura e crescimento, verificamos que a maioria dos efeitos negativos ocorreram sempre nos meses de maior precipitação do ano prévio ao crescimento, enquanto que o mês de maior influência positiva ocorreu sempre em dezembro do ano de crescimento (corrente) tanto para temperatura média, quanto para a máxima e mínima, em ambas as áreas de estudo. Árvores de população natural aparentam sofrer mais efeito da temperatura mínima, enquanto as árvores de plantação da temperatura máxima. De modo geral as árvores de plantação sofrem mais efeito da temperatura (média, máxima e mínima) que as árvores de população natural.

Provavelmente este maior efeito da temperatura sobre o crescimento das árvores de plantação se deve ao fato de que na plantação o dossel é mais aberto, com maior incidência de radiação solar. O aumento da irradiância solar (luminosidade alta) permite maior produção de fotoassimilados, esta disponibilidade contribui no crescimento da planta. Contudo, quando há excesso de densidade de fluxo de fótons fotossintetizados (DFFF) pode haver estresse luminoso, seguido de aumento de temperatura, aumentando a taxa de transpiração, causando déficit hídrico no interior da árvore, fechamento dos estômatos e redução na fotossíntese, afetando o crescimento (CAMPOS, 1970; BERTHOLDI, 2013; TAIZ; ZEIGER, 2013). Enquanto, o efeito positivo da temperatura no mês de dezembro, provavelmente está associado ao início do próximo período chuvoso, que com as primeiras chuvas diminui o déficit hídrico no solo, reduzindo também o déficit hídrico no interior das plantas.

Vários estudos têm observado efeito negativo da temperatura sobre o crescimento das árvores. Mendivelso et al. (2014) estudando a influência das variáveis climáticas de sete espécies em floresta neotropical na Bolívia observou efeitos positivos e negativos significativos da temperatura sobre o crescimento das espécies estudadas, sendo que dentre as espécies estudadas quatro apresentaram os maiores índices de crescimento durante o mês de novembro e dezembro, semelhante aos resultados encontrados no presente trabalho. Ao passo que Ramírez e Valle (2012) observaram apenas efeitos negativos sobre o crescimento de *Parkinsoma praecox*, para todos os meses (estação seca e chuvosa) tanto do ano prévio quanto do ano corrente, sendo que 50% dos meses observados apresentaram correlações

significativas. Estudo realizado no Estado do Acre com diferentes espécies, também registraram correlações não significativas entre temperatura e crescimento (LOBÃO, 2011).

Figura 68 – Correlação das cronologias de *C. multijuga* de plantação e população natural com variáveis climáticas locais: temperatura (média, máxima e mínima). Linha pontilhada indica início de formação do anel de crescimento; (*) correlação significativa

A inexistência de correlações significativas entre temperatura e a largura dos anéis de crescimento de *C. multijuga*, pode estar relacionada ao fato desta variável não sofrer grandes

variações ao longo do ano (vide Figura 7 e 9, pág. 60, 61). Contudo, o crescimento das árvores de *C. multijuga* das duas áreas de estudo parece relacionar-se muito mais com a precipitação do que com a temperatura, podendo ainda ser resultante da interação destes fatores nas diferentes épocas do ano, e como já mencionado, pelas características intrínsecas de cada indivíduo.

5.10 Incremento radial do lenho do tronco das árvores de *C. multijuga* de plantação e população natural

A avaliação do incremento radial médio anual (IMRA) indicam que as árvores de modo geral apresentam diferenças na taxa de crescimento, sendo esta variação maior dentre as árvores de população natural, o que deve ser um reflexo das diferentes idades e estágios de vida, e em função de sua distribuição espacial (aleatória) e dos diferentes níveis de competição. As árvores de plantação além da menor variação na taxa de crescimento entre elas, apresentaram maior taxa de crescimento (IMRA) que as de população natural (Tabela 12), sendo esta diferença significativa estatisticamente (Anova: $F=39,7$; $p < 0,001$). Isto provavelmente, se deve ao fato de que nos primeiros anos (fase inicial do plantio), além de terem sido plantadas a pleno sol, também receberam adubação favorecendo o crescimento. Enquanto que, as árvores de população natural, quando ainda estão no sub-bosque, ficam sombreadas pela copa das árvores maiores, havendo grande competição, principalmente por luz, apresentando crescimento radial mais lento, até atingir o dossel da floresta. Estudos realizados por Elias (1997) mostraram que plântulas de *C. multijuga* crescendo em áreas de sub-bosque de floresta primária são suprimidas e com baixo crescimento, enquanto que, aquelas crescendo em áreas de florestas secundárias, cujo o dossel é mais aberto e a incidência de irradiação solar é maior, apresentaram maior desempenho (alta taxa de sobrevivência e crescimento), segunda a autora, a espécie *C. multijuga* na sua fase inicial é tolerante ao sombreamento, podendo sobreviver durante muito tempo em estado suprimido, porém necessita de luminosidade para o seu desenvolvimento. Resultados semelhantes foram observados por Reis (2012), que avaliando o crescimento de plantios heterogêneos de 6 anos de idade, envolvendo quatro espécies florestais, em área de clareiras e área de sub-bosque de floresta primária, verificou que para *C. multijuga*, apesar da espécie tolerar ambientes sombreados, há uma resposta positiva no crescimento em função do aumento na oferta de luz.

Tabela 12 – Incremento radial médio anual de árvores de *C. multijuga* de plantação e população natural

Árvore	Incremento radial médio anual - IRMA (cm.ano ⁻¹)				
	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	CV
População natural	0,240	0,345	0,184	0,041	17,286
Plantação	0,313	0,419	0,234	0,045	14,242

A diferença de idade entre as árvores do plantio e de população natural também deve ter contribuído para esta diferença na taxa de crescimento anual, visto que algumas árvores de população natural mostram leve tendência de estabilização de crescimento, como podemos observar pelas curvas de crescimento radial acumulado (Figura 69). Esta redução no ritmo de crescimento nas árvores de população natural, pode ser tanto em função da idade das mesmas, como resultado de competição interespecífica, ou mesmo devido as características genéticas de cada indivíduo quanto ao desempenho fotossintético e habilidade de competição pelos recursos minerais do solo. Árvores de um modo geral podem perder o vigor com o aumento da idade e, por conseguinte, o acúmulo de carbono nas camadas de crescimento, pode também ser afetado quando entram em senescência (SALGUEIRO-GÓMEZ; SHEFFERSON; HUTCHINGS, 2013), porém, ainda não se pode afirmar que estas árvores estejam entrando em estágio de senescência, sendo necessário um acompanhamento do crescimento das mesmas mais prolongado.

Figura 69 – Curvas de crescimento (incremento radial acumulado – IRA) e sua relação com a idade biológica das árvores de *C. multijuga* de população natural

Dentre as árvores de plantação apesar de apresentarem maior IMRA, podemos observar pelas curvas de crescimento, que as mesmas também apresentam tendências de estabilização de crescimento (Figura 70), porém, neste caso, esta tendência de estabilização não é em função da idade, uma vez que, essas árvores ainda são muito jovens (33anos), sendo este, um efeito claro do adensamento do plantio, considerando que em nenhum momento o mesmo sofreu ação de desbaste. Desta forma, o adensamento (n° de indivíduos.ha⁻¹), espaçamento limitado entre as árvores e com o crescimento das mesmas, aumentando as exigências pelos nutrientes (quantidade) do solo, e a consequente redução da disponibilidade dos mesmos pelo aumento da competição entre as árvores, está sendo refletido diretamente no desenvolvimento das mesmas. Além da falta de desbaste, não foram realizadas ações de limpeza entre as linhas do plantio, sendo seu sub-bosque tomado pela regeneração natural, diminuindo ainda mais a disponibilidade dos recursos e aumentando a competição.

É comum em plantas jovens, que têm acesso a luz e disponibilidade de recursos no solo, que o crescimento seja favorecido, contudo, a trajetória de crescimento subsequente é fortemente dependente da concorrência com as árvores vizinhas (BONDE, 2000). Apesar da espécie em estudo ser altamente habilidosa em competir pelos nutrientes do solo, conforme resultados obtidos por Medeiros e Vieira (2008), havendo uma certa “equiparação” entre elas, quanto a competição; variações no crescimento (IMRA) foram observadas (vide Tabela 12), sendo estas variações provavelmente uma consequência das diferenças no desempenho fotossintético de cada indivíduo, bem como das características genéticas dos mesmos, além disso foi observado que árvores localizadas nas bordas da plantação (onde a competição é menor) apresentam melhor desenvolvimento do tronco (diâmetro), quando comparadas com as árvores localizadas nas linhas mais internas do plantio, onde a competição pelos recursos do solo é maior.

Figura 70 - Curvas de crescimento (incremento radial acumulado – IRA) e sua relação com a idade biológica das árvores de *C. multijuga* de população natural

6 CONCLUSÕES

Em relação à **biossíntese do oleorresina** no tronco das árvores de *C. multijuga* – tanto árvores produtivas como não produtivas podem gerar descendentes com ambos os fenótipos; após a 1ª extração há necessidade de um período de repouso, com um intervalo mínimo de 3 a 4 anos para a 2ª extração do oleorresina; o volume de oleorresina coletado do tronco das árvores relaciona-se mais com a disponibilidade de água no solo no momento da coleta, do que, com a quantidade de chuvas total de período sazonal; não foi observada uma relação direta entre a idade das árvores e a produção de oleorresina, não sendo identificada uma idade comum para o momento em que as árvores cessam a produção, apesar de ter sido observado que a maioria das árvores com algum volume de oleorresina armazenado, apresentavam idades superiores a 50 anos, a produção de oleorresina está muito mais relacionada ao desenvolvimento do tronco das árvores, no que se refere ao diâmetro e % de cerne, do que com a idade das mesmas, sendo o diâmetro do tronco determinante para o início do armazenamento do oleorresina no lenho das árvores; o diâmetro mínimo do tronco recomendado para a extração do oleorresina é de 45 cm, visto que, troncos de diâmetro menor não armazenam oleorresina em volume suficiente para a realização de extração, pela baixa % de cerne em relação à de alburno; as propriedades físico-químicas e a concentração dos constituintes do oleorresina não se relacionam com a idade das árvores e com o tipo de solo. Assim, refutamos as hipóteses (III e IV). No que se refere a sustentabilidade da extração do oleorresina ao longo do tempo (hipótese II), consideramos a hipótese parcialmente verdadeira, pois, ao analisarmos tal hipótese levando em consideração que em um determinado momento as árvores cessarão a produção naturalmente, pode-se concluir que a mesma não é sustentável ao longo do tempo. Contudo, se for adotado um sistema de manejo, em que se respeite: (i) o diâmetro mínimo do tronco das árvores para iniciar as atividades de extração do oleorresina; (ii) a época ideal para realizar a coleta/extração; (iii) o uso de técnicas de extração adequadas e baixo impacto para a árvore, e principalmente, (iv) que adote um período de repouso mais prolongado entre coletas sucessivas, pode-se obter uma sustentabilidade desta extração ao longo dos anos, de forma a se aproveitar ao máximo a vida produtiva de uma determinada árvore, até que a mesma cesse sua produção ao entrar em estágio de senescência (processo natural).

Em relação à **estrutura anatômica macro e microscópica do lenho** das árvores de *C. multijuga* – verifica-se um aumento das dimensões das fibras e do diâmetro dos vasos no

sentido radial, em função do aumento da idade; há diferença na dimensão dos elementos anatômicos do lenho das árvores de população natural em relação às das plantações, como resultado da idade das árvores; a região do cerne, principalmente na região próximo à medula, destaca-se no processo de biossíntese e armazenamento do oleorresina; árvores consideradas produtivas diferem na anatomia do lenho das não produtivas unicamente pelo maior diâmetro dos vasos (produtivas), assim consideramos a Hipótese V como sendo verdadeira. Todas as árvores de *C. multijuga* são produtoras de oleorresina, visto que todas apresentam canais axiais secretores, bem como células com conteúdo oleoso. Contudo, nem todas as árvores são produtivas, visto que árvores consideradas não produtivas não conseguem produzir oleorresina em quantidades suficientes para o armazenamento, podendo ser um fator fisiológico ou genético. O oleorresina sintetizado nas células epiteliais dos canais secretores é transportado e armazenado nos vasos do cerne, pelo parênquima radial. Fragmentos do lenho (resultantes da perfuração do tronco - extração do oleorresina) que não apresentam vestígios de oleorresina (secos – baixa % umidade) e com ausência de cheiro de cumarina é indicativo de árvore não produtiva.

Em relação à **densidade aparente do lenho** do tronco das árvores de *C. multijuga* - a variação radial da densidade relaciona-se com a estrutura anatômica do lenho das árvores de plantação e de população natural; ocorre um gradativo aumento da densidade do lenho na direção da medula para a casca; o oleorresina impregnado no lenho não influencia no valor de sua densidade, sem diferença nas árvores produtivas e não produtivas; a diferença do valor máximo e mínimo do lenho das árvores de plantação e população natural relaciona-se com a sua idade.

Em relação aos **anéis de crescimento do lenho** do tronco das árvores de *C. multijuga* – o limite dos anéis de crescimento é detectado no perfil radial da densidade do lenho, resultado da estrutura anatômica, sendo aplicado na determinação da idade das árvores de plantação e de população natural; os anéis de crescimento relacionam-se com a idade das árvores de plantação (33 anos) confirmando a anuidade dos anéis de crescimento.

Em relação à **dendrocronologia e dendroclimatologia** das árvores de *C. multijuga* – as cronologias das árvores de plantação e de população natural apresentam o mesmo padrão de crescimento radial do tronco, indicando resposta a um sinal climático comum; a sincronização das cronologias das árvores da plantação e da população natural comprova a anuidade dos anéis de crescimento; o crescimento do tronco das árvores parece ser mais influenciado pela precipitação do que pela temperatura, ou sua interação; a taxa de

crescimento do tronco mostra variação em relação às fases do desenvolvimento das árvores de população natural em relação à precipitação.

Em relação ao **crescimento do tronco** das árvores de *C. multijuga* – as árvores de plantação apresentam menor variação e maior valor (IMRA) da taxa de crescimento do tronco em relação às da população natural; a curva de incremento radial acumulado (IRA) do tronco das árvores de população natural indicam que algumas árvores vem diminuindo o ritmo de crescimento, mostrando uma leve tendência de estabilização; o IRA das árvores de plantação indica que o plantio adensado prejudica o seu crescimento com acentuada competição pelos recursos do solo (água e nutrientes), necessitando da aplicação de desbastes; o IMRA das árvores de plantação indica a possibilidade de sucesso para estas plantações. Assim, a realização de plantações florestais de *C. multijuga*, quando bem conduzidas, com aplicação de técnicas silviculturais adequadas ao seu desenvolvimento, tanto em altura, de modo a evitar a bifurcação precoce do tronco, como em diâmetro, favorecendo as árvores produtivas, pode contribuir para o manejo sustentável da extração do oleorresina e da espécie, considerando, portanto, a Hipótese I verdadeira.

REFERENCIAS

ALLARD, R.W. **Princípios do melhoramento genético das plantas**. Rio de Janeiro: USAID, 1971. 381p.

ALENCAR, J.C. Estudos silviculturais de uma população natural de *Copaifera multijuga* Hayne - Leguminosae, na Amazônia central. 1 - Germinação. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 11, n. 1, p. 3 - 11, mar. 1981.

_____. Estudos silviculturais de uma população natural de *Copaifera multijuga* Hayne - Leguminosae, na Amazônia central. 2 - Produção de óleo-resina. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 12, n. 1, p. 75 - 89, mar. 1982.

_____. Estudos silviculturais de uma população natural de *Copaifera multijuga* Hayne - Leguminosae, na Amazônia central. 3 - Distribuição espacial da regeneração natural pré-existente. **Acta Amazônica**, Manaus, v.14, n. 1/2, p. 255 - 279, mar./jun. 1984.

_____. Estudos silviculturais de uma população natural de *Copaifera multijuga* Hayne – Leguminosae, na Amazônia central. 4 – Interpretação de dados fenológicos em relação a elementos climáticos. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 18, n. 3/4, p. 199 - 209, jul./dec. 1988.

ALENCAR, J.C.; ALMEIDA, R.A; FERNANDES, N.P. Fenologia de espécies florestais em floresta tropical úmida de terra firme na Amazônia central. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 9, n. 1, p. 136 - 198, mar. 1979.

ALVARADO, J.R. **Dendrocronologia de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla* king., Meliaceae, ocorrentes na floresta tropical amazônica do Departamento de Madre de Dios, Peru**. 2009. 129p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ALVARADO, J.R.; TOMAZELLO FILHO, M.; POLLITO, A.Z.; LOBÃO, M.S. Variação da densidade do lenho e relação com a largura dos anéis de crescimento de árvores de mogno, *Swietenia macrophylla*, da floresta tropical amazônica do Peru. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 171-179, jun. 2010.

ALVES, E.S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. I: growth rings and vessels. **IAWA Journal**, Leiden, v. 21, n. 1, p. 3-30, 2000.

ALVES, E.S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. II: axial parenchyma, rays and fibres. **IAWA Journal**, Leiden, v. 23, n. 4, p. 391-414, 2002.

ARRHENIUS, S.; LANGENHEIM, J.H. Inhibitory effects of *Hymenaea* and *Copaifera* leaf resins on the leaf fungus *Pestalotia subcuticularis*. **Biochemical Systematics and Ecology**, Oxford, v. 11, n. 4, p. 361-366, Mar. 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14065**: destilados de petróleo e óleos viscosos - determinação da massa específica e densidade relativa pelo densímetro digital. Rio de Janeiro: 2013. 13p.

AZEREDO, G.N. DE; SAMPAIO, P. de T.B. Produtividade de óleo-resina de *Copaifera* spp. em populações naturais na província petrolífera de Urucu. In: REUNIÃO CIENTÍFICA DA REDE CTPETRO AMAZÔNIA, 3., 2010, Manaus. **Resumos...** Manaus: INPA, 2010. p.1-3.

BAIMA, A.M.V.; SANTOS, L.S.; NUNES, D.S.; CARVALHO, J.O.P. **Produção do óleo de copaíba na região do Tapajós**. Belém: EMBRAPA, CPATU, 1999. 3p. (comunidade técnico 103).

BARBOSA, K.S.; SCUDELLER, V.V. Distribuição das espécies do gênero *Copaifera* L. na Amazônia Legal e aspectos morfológicos de *C. multijuga* Hayne da Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé, Manaus-AM. In: SANTOS-SILVA, E.N.; SCUDELLER, V.V. (Org.). **Biotupé**: meio físico, diversidade biológica e sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central. Manaus: UEA edições, 2009. v. 2, cap. 11, p. 135-142.

BARBOSA, K.S.; SCUDELLER, V.V.; ROSA, A. L. Potencial de produção de óleo resina de *Copaifera multijuga* Hayne nos dois períodos climáticos amazônicos na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé, Manaus-AM. In: SANTOS-SILVA, E.N.; SCUDELLER, V.V. (Org.). **Biotupé**: meio físico, diversidade biológica e sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central. Manaus: UEA edições, 2009. v. 2, cap. 12, p. 143-153.

BARBOSA, P.C.S.; MEDEIROS, R.S.; SAMPAIO, P.T.B.; VIEIRA, G.; WIEDEMANN, L.S.M.; VEIGA JUNIOR, V.F. Influence of abiotic factors on the chemical composition of copaíba oil (*Copaifera multijuga* Hayne): Soil composition, seasonality and diameter at breast height. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, São Paulo, v.23, n.10, p. 1823 -1833, out. 2012.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. Variabilidade longitudinal e radial da madeira de *Eucalyptus grandis*. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 17., 1984, São Paulo. **Resumos...** São Paulo: ABTCP, 1984. p. 403 – 409.

BERTHOLDI, A.A. da S. **Efeito da sazonalidade nos parâmetros ecofisiológicos de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Fabaceae-Caesalpinioideae) em floresta estacional semidecídua**. 2013. 22p. TCC (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

BLASSING, T.J.; SOLOMON, A.M.; DUNVICK, D.N. Response function revisited. **Tree Ring Bulletin**, Tucson, v. 44, p. 1-15, 1984.

BONATO, P.S. Cromatografia gasosa. In: COLLINS, C.H.; BRAGA, G.L.; BONATO, P.S. (Org.). **Fundamentos de Cromatografia**. Campinas: Unicamp, 2006. cap. 8, p. 203- 272.

BOND, B.J. Age-related changes in photosynthesis of woody plants. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 5, n. 8, p. 349-353, Aug. 2000.

- BORCHERT, R.; RIVERA, G.; HAGNAUER, W. Modification of vegetative phenology in a tropical semideciduous forest by abnormal drought and rain. **Biotropica**, Zurich, v. 34, p. 27 – 39, Mar. 2002.
- BOTOSO, P.C. **Identificação macroscópica de madeiras**: guia prático e noções básicas para o seu reconhecimento. Colombo: Embrapa Florestas, 2009. 65 p. (Documentos 194).
- BOTOSO, P.C.; MATOS, P.P. **Conhecer a idade das árvores**: Importância e aplicação. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 25 p. (Documentos 75).
- BOTOSO, P.C.; VETTER, R.E.; TOMAZELLO FILHO, M. Periodicidade e taxa de crescimento de árvores de cedro (*Cedrella odorata* L., Meliaceae), Jacararéúba (*Calophyllum angulare* A. C. Smith, Clusiaceae) e muirapiranga (*Eperua bijuga* Mart. ex Benth, Leg. Caesalpinoideae) de floresta de terra firme, Manaus – Am. In: ROIG, F.A. **Dendrocronologia em América Latina**. Mendonza, Ediunc, 2000. p. 357-380.
- BRANDES, A.F.N.; LISI, C.S.; BARROS, C.F. Dendrochronology of lianas of the *Leguminosae* family from the Atlantic Forest, Brazil. **Trees**, Santa Monica, v. 25, n. 1, p. 133-144. Feb. 2011.
- BRIENEN, R.J.W.; ZUIDEMA, P.A. Relating tree growth to rainfall in Bolivian rain forests: a test for six species using tree ring analysis. **Oecologia**, Berlim, v. 146, n. 1, p. 1-12, Nov. 2005.
- BRIENEN, R.J.W.; ZUIDEMA, P.A. MARTÍNEZ-RAMOS, M. Attaining the canopy in dry and moist tropical forests: strong differences in tree growth trajectories reflect variation in growing conditions. **Oecologia**, Berlim, v. 163, n. 2, p. 485 - 496, June. 2010.
- BUARQUE, P.F.S.M. **Influência da luz e temperatura em cavidades e canais secretores em plântulas de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinoideae): estudo anatômico e ultraestrutural**. 2013. 68p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Botânica) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.
- BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.
- CAMPOS, J.C.C. Principais fatores do meio que afetam o crescimento das árvores. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 2, n. 3, p. 45-52, 1970.
- CARLQUIST, S. **Comparative wood anatomy**: systematic, ecological and evolutionary aspects of dicotyledon wood. New York: Springer-Verlag, 1988. 446p.
- CARVALHO, A.C.M. de; FREITAS, M.L.M; MORAES, S.M.B. de; MORAES, M.L.T.DE; STRANGHETTI, V.; ALZATE-MARIM, A.L.; SEBBENN, A.M. Diversidade genética, endogamia e fluxo gênico em pequena população fragmentada de *Copaifera langsdorffii*. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 599-606, out./dec. 2010.
- CASCON, V.; GILBERT, B. Characterization of the chemical composition of oleoresins of *Copaifera guianensis* Desf., *Copaifera duckei* Dwyer and *Copaifera multijuga* Hayne. **Phytochemistry**, Oxford, v. 55, n. 7, p. 773 - 778, Dec. 2000.

CASTRO, V.R. **Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. e *Tectona grandis* (L.f).** 2011. 104p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

CASTRO, M.M.; MACHADO, S.R. Células e tecidos secretores. In: APPEZZATO-DA-GLÓRIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S.M. (Ed.). **Anatomia vegetal**, 3.ed. Viçosa: UFV, 2012. cap. 7, p. 169-191.

CECCANTINI, G.C.T. **Anatomia ecológica do lenho de espécies de cerrado e mata: *Casearia silvestris* Sw. e *Machaerium villosum* Vog.** 1996. 10Cp. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Botânica), Universidade de São Paulo, USP, São Paulo, 1996.

CHAGAS, M.P. **Anéis de crescimento do lenho de árvores como monitores ambientais: avaliação temporal e espacial da poluição atmosférica na cidade de Paulínia, São Paulo.** 2013. 159p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

CHRISTIANO, A.B. **Estudos dendrológicos em *Copaifera langsdorffii*.** Piracicaba: LAIM, ESALQ, Depto. Ciências Florestais, 2010. 24p. (Relatório Técnico CNPq, projeto: Estudos dendrocronológicos e dos ciclos de corte em espécies arbóreas da floresta Amazônica).

COOK, E.R. A conceptual linear aggregate model for tree rings. In: COOK, E.R.; KARIUSTUS, A. (Ed.). **Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences.** Dordrecht: kluwer Academic. 1989. p. 102-103.

COOK, E.R.; HOLMES, R.L. **Users manual for program Arstan.** Palisades: Lamont-Doherty Earth Observatory, 1986. 28p.

CORADIN, V.T R.; CAMARGOS, J.A.A.; PASTORE, T.C.M.; CHRISTO, A.G. **Madeiras comerciais do Brasil: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos = Brazilian commercial timbers: interactive identification key based on general and macroscopic features.** Brasília - DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 1 CD-ROM.

COSTA, J.A.S. **Estudos taxonômicos, biossistemáticos e filogenéticos em *Copaifera* L. (Leguminosae – Detarieae) com ênfase nas espécies do Brasil, extra-amazônico.** 2007. 266p. Tese (Doutorado em Botânica) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2007.

COSTA, J.A.S.; QUEIROZ, L.P. *Copaifera sabulicola* (Leguminosae), uma nova espécie do cerrado brasileiro. **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v. 58, n. 2, p. 393-396. 2007.

COSTA, M.S.; FERREIRA, K.E.B.; BOTOSSO, P.C.; CALLADO, C.H. Growth analysis of five *Leguminosae* native tree species from a seasonal semidecidual lowland forest in Brazil. **Dendrochronologia**, Berlim, v. 36, p. 23-32, Nov. 2015.

CRUZ, C.D; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa: UFV, Imprensa universitária, 1994. 390p.

DWYER, J.D. The Central American, West Indian, and South American species of *Copaifera* (Caesalpiniaceae). **Brittonia**, New York, v. 7, n. 3, p. 143-172, Jan. 1951.

ELIAS, M.E. DE A. **Estabelecimento de plântulas de *Copaifera multijuga* Hayne (Caesalpiniaceae) em fragmentos florestais e estádios de sucessão.** 1997. 83p. Dissertação (Mestrado em Biologia- Botânica) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 1997.

ENCINAS, J.I.; SILVA, G.F.; PINTO, J.R.R. **Idade e crescimento das árvores.** Brasília-DF: UNB, 2005. 43p. (Comunicações Técnicas Florestais, v. 7, n. 1).

ESAU, K. **Anatomia das Plantas com Sementes.** Tradução de B.L. de Morretes. São Paulo: Edgard Blucher, 1974. 293p.

FAHN, A. **Secretory tissues in plants.** London: Academic Press, 1979. 302p.

_____. Secretory tissues in vascular plants. **New Phytologist**, Oxford, v. 108, n. 3, p. 229-257, Mar. 1988.

FEDALTO, L.C.; MENDES, I.C.A.; CORADIN, V.T.R. **Madeiras da Amazônia:** descrição do lenho de 40 espécies ocorrentes na Floresta Nacional do Tapajós. Brasília-DF: IBAMA, 1989. 156p.

FEIBERT, E.B.; LANGENHEIM, J.H. Leaf resin variation in *Copaifera langsdorffii*: Relation to irradiance and herbivory. **Phytochemistry**, Oxford, v. 27, n. 8, p. 2527-2532, 1988.

FERREIRA, L.A. **Potencial de extração e comercialização do óleo-resina de copaíba (*Copaifera* spp.):** um estudo de caso na Floresta Estadual do Antimary, Acre. 1999. 56p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo dos Recursos Naturais) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 1999.

FERREIRA, A.T.B. **Avaliação da estrutura anatômica e da densidade aparente do lenho e do carvão de árvores de *Eucalyptus* sp. e de *Corimbia* sp.** 2013. 131p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

FERREIRA, L.A.; BRAZ, E.M. Evaluation of the potencialof the extraction and marketing of copaiba’s oleoresin (*Copaifera* spp.). **Advances in Economic Botany**, New York, p 1-22, 2001.

FERREIRA-FEDELE, L.; TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; GIANNOTTI, E. Periodicidade do crescimento de *Esembekia leiocarpa* Engl. (guarantã) em duas áreas da região sudeste do Estado de São Paulo. **Scientia Florestalis** Piracicaba, n. 65, p. 141-149, jun.2004.

FRITTS, H.C. **Tree rings and climate.** New York: Academic Press, 1976. 567p.

GARCIA, L.C.; SOUSA, S.G.A.; CAMPOS, L.S. Fenologia reprodutiva de copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne), para a obtenção de sementes, na Amazônia ocidental. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 61. 2010. Manaus. **Resumos...** Manaus: INPA, 2010. Resumo 1632.

GONZÁLEZ, A.D.V. **Dendrocronologia de árvores de *Tectona grandis* L. e *Pinus Caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf de plantação da mata da pedreira, campus da ESALQ-USP, Piracicaba, SP.** 2013. 142p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

GOURLAY, I.D. The definition of seasonal growth zones in some African Acacia species – A review. **IAWA Journal**, Leiden, v.16, p. 353 – 359, 1995.

GRISSINO-MAYER, H.D. Evaluation crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. **Tree-Ring Research**, Tucson, v. 57, n. 2, p. 205 - 221, 2001.

HAYGREEN, J.; BOWIER, J. **Forest products and world science: an introduction.** Ames: The Iowa State University press, 1982. 496p.

HECK, M.C.; VIANA, L.A.; VICENTINI, V.E.P. A importância do óleo de *Copaifera* sp. (copaíba). **Revista saúde e Biologia**, Campo Mourão, v. 7, n. 1, p. 82 - 90, jan./abr. 2012.

HERRERO-JÁUREGUI, C. **Gestión integrada de los recursos forestales em la Amazonía Oriental: ecología de los especies de uso múltiple.** 2009. 243p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Facultad de Biología, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2009.

HIGUCHI, N. A silvicultura no INPA. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 11, n. 1, p. 99-107, mar. 1981.

HILLIS, W.E. **Heartwood and tree exudates.** Berlin: Springer-Verlag, 1987. 268p.

HOLMES, R.L.; ADAMS, R.K.; FRITZ, H.C. Quality control of crossdating and measuring: a user's manual for program COFECHA. In: _____. **Tree-rings chronologies of Western North American: California, eastern Oregon and Northern Great Basin, with procedures use in the chronology development work.** Tucson: University of Arizona, 1986. p. 15-35.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura em 2014.** Acesso em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2014/default ods.shtm>. Disponível em: 04 mar. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICA-IPT. **Informações sobre madeiras.** 1989b. Acesso em: [Http://www.ipt.br/informações_madeiras/31.htm](http://www.ipt.br/informações_madeiras/31.htm). Disponível em: 15 set. 2015.

IAWA COMMITTEE. IAWA list of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**. Leiden, v. 10, n. 3, p. 221-322, 1989.

JACOBY, G.C. Overview of tre-ring analysis in tropical regions. **IAWA Bulletins**, Leiden, v. 10, n. 2, p. 99 – 108, 1989.

JOHANSEN, D. **Plant microtechnique**. New York: MacGraw-Hill Book, 1940. 450p.

KLAUBERG, C.; VIDAL, E.; RODRIGUES, L.C.E; DIAZ-BALTEIRO, L. Determining the optimal harvest cycle for copaiba (*Copaifera* spp.) oleoresin production. **Agricultural Systems**, Amsterdam, v. 131, p. 116-122, Nov. 2014.

LANGENHEIM, J.H. Leguminous resin-producing trees in Africa and South America. In: MEGGERS, S.B.J.; AYENSU, E.S.; DUCKWORTH, W.D. (Ed). **Tropical forest ecosystems in Africa and South America: a comparative review**. Washington, DC: Smithsonian Institution Press, 1973. p. 89-104.

_____. Terpenoids in the leguminosae. In: POLHILL, R.M.; RAVEN, P.H. (Ed.). **Advances in legume systematics**. Richmond: Royal Botanic Gardens, Kew, 1981. p. 627-655.

_____. **Plant Resins: chemistry, evolution, ecology and ethnobotany**. Portland: Timber Press, 2003. 586p.

LANGENHEIM, J.H.; CONVIS, C.L.; MACEDO, C.A.; STUBBLEBINE, W.H. Hymenaea and copaifera leaf sesquiterpenes in relation to lepidopteran herbivory in southeastern Brazil. **Biochemical Systematics and Ecology**, Oxford, v. 14, n. 1, p. 41-49, 1986.

LE COINTE, P. **Apontamentos sobre as sementes oleaginosas, bálsamos, resinas, essenciais, borrachas, gutas e balatas da floresta amazônica**. 5.ed. Belém: Instituto Lauro Sodré, 1939. 57p.

LEITE, A.; ALECHANDRE, A.; AZEVEDO, C.R.; CAMPOS, C.A.; OLIVEIRA, A. **Recomendações para o manejo sustentável do óleo de copaíba**. Rio Branco: UFAC; SEF, 2001. 38p. (Série: Manejo Sustentável de Florestas Tropicais por Populações Tradicionais).

LEWIS, G.P.; SCHRIRE, B.; MACKINDER, B.; LOCK, M. **Legumes of the world**. Richmond: Royal Botanic Gardens, Kew, 2005. 369p.

LINDENMAYER, D.B.; CUNNINGHAM, R.B.; POPE, M.L.; GIBBONS, P.; DONNELLY, C.F. Cavity sizes and types in Australian eucalypts from wet and dry forest types-a simple of rule of thumb for estimating size and number of cavities. **Forest Ecology and Management**, Fort Collins, v. 137, n. 1/3, p. 139-150, Oct. 2000.

LOBÃO, M.S. **Dendrocronologia, fenologia, atividade cambial e qualidade do lenho de árvores de *Cedrela odorata* L., *Cedrela fissillis* Vell., *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* Hub. ex Ducke, no Estado do acre, Brasil**. 2011. 215p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

LOGSDON, N.B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 1998. 174p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F. **Catálogo das madeiras da Amazônia**. Belém: SUDAM, 1968. v. 2, 411p.

LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F.; ALENCAR, J.C. **Essências Madeireiras da Amazônia**. Manaus: INPA; CNPq, 1979. v. 1, 125p.

LUTTGE, U. Structure and function of plant glands. **Annual Review Plant Physiology**, California, v. 22, p. 23-44, 1971.

MACEDO, C.A.; LANGENHEIM, J.H. Intra- and interplant leaf sesquiterpene variability in *Copaifera langsdorffii*: Relation to microlepidopteran herbivory. **Biochemical Systematics and Ecology**, Oxford, v. 17, n. 7/8, p. 551-557, 1989.

MACIEL, M.A.M.; PINTO, A.C.; VEIGA JÚNIOR, V.F. Plantas Medicinais: A Necessidade de Estudos Multidisciplinares. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 429 - 438, 2002.

MACIEL, M.N.M.; WATZLAWICK, L.F.; SCHOENINGER, E.R.; YAMAJI, F.M. Efeito da radiação solar na dinâmica de uma floresta. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 101 - 114. 2002.

MARCAT, C.R. **Estudo da anatomia e das propriedades tecnológicas da madeira do angico-vermelho (*Piptadenia peregrina* Benth)**. 1992. 94p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1992.

MARCATI, C.R.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V.; BENETATI, L. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae – Caesalpinioideae) de floresta e cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 311-320, set. 2001.

MARCATI, C.R.; ANGYALOSSY, V.; EVERT, R.F. Seasonal variation in wood formation of *Cedrella fissilis* (Meliaceae). **IAWA Journal**, Leiden, v. 27, n. 2, p. 199-211, 2006.

MARIA, V.R.B. **Estudo da periodicidade do crescimento, fenologia e relação com a atividade cambial de espécies arbóreas tropicais de florestas estacionais semidecíduas**. 2002. 126p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

MARTINS, K.; SANTOS, J.D.; GAIOTTO, L.E.B.; MORENO, M.A.; KAGEYAMA, P.Y. Estrutura genética populacional de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae – Caesalpinioideae) em fragmentos florestais do ponatl do Paranapanema, SP, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 31, p. 61-69, 2008a.

MARTINS, K.; SILVA, M. das G.C.; RUIZ, R.C.; ARAÚJO, E.A.; WADT, L.H.O. Produção de oleorresina de copaíba (*Copaifera* sp.) no Acre. In: SEMINÁRIO DE MANEJO DE PRODUTOS FLORESTAIS NÃO-MADEIREIROS NA AMAZÔNIA, 1., 2008. Rio Branco. **Anais...** Rio Branco: EMBRAPA, 2008b. p. 100 - 107.

MARTINS, K.; HERRERO-JÁUREGUI, C.; COSTA, P. da; TONINI, H.; BENTES-GAMA, M. devM.; VIEIRA, A.H.; WADT, L.H. de O. Interspecific differences in the oleoresin production of *Copaifera* L. (Fabaceae) in the Amazon rainforest. **Annals of forest Science**, France, v. 70, n. 3, p. 319-328, May. 2013.

MARTINS-DA-SILVA, R.C.V. **Taxonomia das espécies de *Copaifera* L. (Leguminosae-Caesalpinioideae) ocorrentes na Amazônia brasileira.** 2006. 260p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas, Botânica) – Museu Nacional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

MEDEIROS, R.S. **Sustentabilidade de extração, produção e características químicas do óleo-resina de Copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne), Manaus-AM.** 2006. 83p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2006.

MEDEIROS, R.S.; VIEIRA, G. Sustainability of extraction and production of copaiba (*Copaifera multijuga* Hayne) oleoresin in Manaus, Am, Brasil. **Forest eEcology and Management**, Fort Collins, v. 256, p. 282-288, July, 2008.

MELO, J.E.; CORADIN, V.T.R.; MENDES, J.C. Classes de densidade de madeira para a Amazônia brasileira. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão: SBS/SBEF, 1990. p. 695-699.

MELO JÚNIOR, J.C.F.; CECCANTINI, C.; BONA, C. Anatomia ecológica do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae) distribuída em diferentes condições edáficas do cerrado sul-brasileiro. **Iheringia, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 66, n. 2, p. 189-200, dez. 2011.

MELO, L.E. de L.; SILVA, C. de J.S.; URBINATI, C.V.; SANTOS, I.S.; SOARE, W. F. Variação anatômica no lenho de *Astrocaryum lecontei* Ducke. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 1, p. 135 – 142, jan./mar, 2013.

MENDIVELSO, H.A.; CAMARERO, J.J.; GUTIÉRREZ, E. ZUIDEMA, P.A. Time-dependent effects of climate and drought on tree growth in a Neotropical dry forest: short-term tolerance vs. long-term sensitivity. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 188, n. 1, p. 13-23, May. 2014

MILANI, J.F. **Cavidades secretoras nos órgãos vegetativos aéreos de *Copaifera trapezifolia* Hayne (Leguminosae, Caesalpinoideae).** 2009. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2009.

MILANI, J.F.; ROCHA, J.F.; TEIXEIRA, S.P. Oleoresin glands in copai'ba (*Copaifera trapezifolia* Hayne: Leguminosae), a Brazilian rainforest tree. **Trees**, Santa Monica, v. 26, p. 769-775, 2012.

NASCIMENTO, L.S.; FILHO, A.A.M.; NASCIMENTO, F.C.; SOUSA, R.C.P.; SMIRDELE, O.J.; OLIVEIRA, J.M.F. Caracterização físico-química do óleo de *Copaifera pubiflora* (Copaíba) cultivada em Boa Vista-RR. In: REUNIÃO ANUAL DA SBQ, 34., 2011, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: SBQ, 2011. Resumo FIS133.

NEWTON, P.; WATKINSON, A.R.; PERES, C.A. Determinants of yield in a non-timber forest product: *Copaifera* oleoresin in Amazonian extractive reserves. **Forest Ecology and Management**, Fort Collins, v. 261, n. 2, p. 255-264, Jan. 2011.

- NEWTON, P.; PERES, C.A.; DESMOULIÈRE, S.J.M.; WATKINSON, A.R. Cross-scale variation in the density and spatial distribution of an amazonian non-timber forest resource. **Forest Ecology and Management**, Fort Collins, v. 276, p. 41-51, July. 2012.
- NIGOSKI, S.; MUÑIS, G.I.B.; RAMIRO, F.F.; BATISTA, F.R.R. Anatomia do lenho carbonizado de *Copaifera* cf. *langsдорffii* Desf. e *Dipterix odorata* (Aubl.) Wild. **Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas, v. 3, n. 2, p. 66-79, nov. 2012.
- NOCK, C.A.; GEIHOFFER, D.; GRABNER, M.; BAKER, P.J.; BUNYAVEJCHEWIN, S.; HIETZ, P. Wood density and its radial variation in six canopy tree species differing in shade-tolerance in western Thailand. **Annals of Botany**, Oxford, v. 104, n. 2, p. 297-306, Aug. 2009.
- NUGROHO, W.D.; MARSOEM, S.N.; YASUE, K.; FUGIWARA, T.; NAKAJIMA, T.; HAYAKAWA, M.; NAKABA, S.; YAMAGISHI, Y.; JIN, H.-O.; KUBO, T.; FUNADA, R. Radial variations in the anatomical characteristics and density of the wood of *Acacia mangium* of five different provenances in Indonesia. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 58, n. 3, p. 185-194, June. 2012.
- OLIVEIRA, I.R. **Avaliação do crescimento e da qualidade do lenho de árvores de *Cariniana legalis* (Martius) O. Kuntze submetidas a diferentes espaçamentos**. 2015. 118p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- OLIVEIRA, A.F.; CARVALHO, D.; ROSADO, S.C.S Taxa de cruzamento e sistema reprodutivo de uma população natural de *Copaifera langsдорffii* Desf. na região de lavras (MG) por meio de isoenzimas. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 331-338, 2002.
- OLIVEIRA, E.C.P.; LAMEIRA, O.A.; ZOGHBI, M.G.B. Identificação da época de coleta do óleo-resina de copaíba (*Copaifera* spp.) no município de Moju, PA. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v. 8, n. 3, p. 14-23, jan. 2006.
- PAGOTTO, M.A.; ROIG, F.A.; RIBEIRO, A. de S.; LISI, C.S. Influence of regional rainfall and atlantic sea surface temperature on tree-ring growth of *Poincianella pyramidalis*, semiarid forest from Brazil. **Dendrochronologia**, Berlin, v. 35, p. 14 – 23, Oct. 2015.
- PALERMO, G.P.M.; LATORRACA, J.V.F.; ABREU, H.S. Métodos e técnicas de diagnose de identificar anéis de crescimento de árvores tropicais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 9, n. 1, p. 165-167, jan./dez. 2002.
- PANTOJA, H.B.; SOUZA, M.C.; SANTOS, O.; RABELO, R.F.; CAMPOS, J.L.; FRANÇA, L.F. Determinação dos parâmetros termofísicos dos óleos de andiroba (*Carapa guianensis Aublet.*) e copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne), comercializados no mercado do Ver-o-Peso. In: ENCONTRO DE PROFISSIONAIS DA QUÍMICA DA AMAZÔNIA, 14., 2015, Belém. 2015. **Resumos...** Belém: UFPA, 2015. p. 766-771.
- PHILLIPS, M.A.; CROTEAU, R.B. Resin-based defenses in conifers. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 4, n. 5, p. 184-190. May. 1999.

PLOWDEN, C. **The ecology, management, and marketing of non-timber forest products in the Alto Rio Guamá Indigenous Reserve (Eastern Brazilian Amazon)**. 2001. 253p. Thesis (PhD in Philosophy) – The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, 2001.

_____. Production ecology of copaíba (*Copaifera* spp.) oleoresin in the Eastern Brazilian Amazon. **Economic Botany**, Fullerton, v. 57, n. 4, p. 491-501, Feb. 2003.

PIERI, F.A.; MUSSI, M.C.; MOREIRA, M.A.S. Óleo de copaíba (*Copaifera* sp.): histórico, extração, aplicações industriais e propriedades medicinais. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, Botucatu, v.11, n. 4, p. 465 - 472, 2009.

PINTO, A.; AMARAL, P.; GAIA, C.; OLIVEIRA, W. **Boas práticas para manejo florestal e agroindustrial de produtos florestais não madeireiros: açaí, andiroba, babaçu, castanha-do-brasil, copaíba, unha-de-gato**. Belém; Manaus: IMAZON; SEBRAE, 2010. 180p.

PIO CORRÊA, M. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: Ministério da agricultura; IBDF, 1984. v. 2, 707p.

POLGE, H. **Study of wood density variations by densitometric analysis of X-ray negatives of samples taken with a Pressler Auger**. SYMPOSIUM OF IUFRO, Section 41, Melbourne, 1965. 19p.

QMS Tree ring analyzer users guide. Model QTRS-01X. Quintek Measurements Systems. Knoxville, Tennessee. 1999. 72p.

RAMÍREZ, J.A.; VALLE, J.I. del. Local and global climate signals from tree rings of a *Parkinsonia praecox* in La Guajira, Colombia. **International Journal of Climatology**, Oxford, v.32, n. 7, p. 1077 – 1088, Jun. 2012.

RANZANI, G. Identificação e caracterização de alguns solos da Estação Experimental de Silvicultura Tropical. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 10, n. 1, p. 7 - 41, mar. 1980.

RAUBER, R.C. **Dendrocronologia de *Cedrela fissilis* VELL. (Meliaceae) em um ecótono de florestas subtropicais montanas no Brasil**. 2010. 80p. Dissertação (Mestrado em Ciências - Ecologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

REIS, F.G. **Análise silvicultural através de fotografias hemisféricas de quatro espécies nativas em plantio consorciado em clareiras em regeneração em Presidente Figueiredo, Amazonas**. 2012. 60p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2012.

RIBEIRO, M.N.G.; ADIS, J. Local rainfall variability – a potencial bias for bioecological studies in the Central Amazon. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 14, n. 1/2, p. 159-174, mar./jun. 1984.

RIBEIRO, J.E.L.; HOPKINS, M.J.G.; VICENTINI, A.; SOTHERS, C.A.; COSTA, M.A. DA S.; BRITO, J.M.; SOUZA, M.A.D.; MARTINS, L.H.P.; LOHMANN, L.G.; ASSUNÇÃO, P.A.C.L.; PEREIRA, E.C.; SILVA, C.F.; MESQUITA, M.R.; PROCÓPIO, L.C. **Flora da Reserva Ducke**: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. Manaus: INPA, 1999. 816p.

RIGAMONTE-AZEVEDO, O.C. **Copaíba**: estrutura populacional, produção e qualidade do óleo-resina em populações nativas do Sudoeste da Amazônia. 2004. 83p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Florestais) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2004.

RIGAMONTE-AZEVEDO, O.C.; WADT, P.G.S.; WADT, L.H.O. **Copaíba**: ecologia e produção de óleo-resina. Rio Branco: EMBRAPA ACRE, MAPA, 2004. 28p. (Documentos 91).

_____. Potencial de produção de óleo-resina de copaíba (*Copaifera* spp.) de populações naturais do sudoeste da Amazônia. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 583-591, jul./ago. 2006.

ROCHA, M. de M. **Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica**. 2002. 173p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

RODRIGUES, T.M. **Espaços secretores em *Copaifera langsdorffii* Desf. e *Pterodon pubescens* Benth.**: ontogênese, estrutura e secreção. 2008. 83p. Tese (Doutorado em Biologia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2008.

RODRIGUES, T.M.; TEIXEIRA, S.P.; MACHADO, S.R. The oleoresin secretory system in seedlings and adult plants of copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf., Leguminosae – Caesalpinioideae). **Flora**, Amsterdam, v. 206, n. 6, p. 585-594, June. 2011.

RODRIGUES, T.M.; BUARQUE, P.F.S.M.; CONEGLIAN, A.G.; REIS, D.C. Light and temperature induce variations in the density and ultrastructure of the secretory spaces in the diesel-tree (*Copaifera langsdorffii* Desf.—Leguminosae). **Trees**, Santa Monica, v. 28, p. 613-623, 2014.

ROIG, A. F. Dendrocronologia em los bosques del neotrópico: revisión y prospección futura. In: _____. **Dendrocronología em América Latina**. Mendoza: Ediunc, 2000. 307-35p.

RONQUIM, C.C.; PRADO, C.H.B.A.; SOUZA, J.D. Growth, photosynthesis and leaf water potencial in young plants of *Copaifera langsdorffii* Desf. (Caesalpinioideae) under contrasting irradiances. **Brazilian Society of Plant Physiology**, São Paulo, v. 21, n. 3, p. 197 – 208, 2009.

ROQUE, R.M.; TOMAZELLO, M. **Avaliação da densidade da Madeira de árvores de *Gmelina arborea* pela aplicação da densitometria de raios X**. In: NUCLEAR ATLANTIC CONFERENCE – INAC, 1., 2005, Santos. 2005. Acesso em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/inac/2005/full/2508.pdf> Disponível em: 14 fev. 2016.

ROQUETTE, J.G. **Produtividade de óleo-resina de *Copaifera* sp.: relações dendrométricas, edáficas e etática.** 2014. 70p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2014.

ROSE, M.R. *Evolutionary biology of aging.* New York: Oxford University Press, 1991. 240p.

ROZENDAAL, D.M.A.; ZUIDEMA, P.A. Dendroecology in the tropics: a review. **Trees**, Santa Monica, v. 25, n. 1, p. 3 – 16, Feb. 2011.

SALGUERO-GÓMEZ, R.; SHEFFERSON, R.P.; HUTCHINGS, M.J. Plants do not count... or do they? New perspectives on the universality of senescence. **Journal of Ecology**, London, v.101, n. 3, p. 545-554, May. 2013.

SAMPAIO, P.T. Copaíba. In: CLAY, J.W.; SAMPAIO, P.T.; CLEMENT, C.R. (Ed.). **Biodiversidade Amazônica: exemplos e estratégias de utilização.** Manaus: INPA, 2000. p. 207 - 215.

SARAIVA, L. da S.; FREITAS, M.S. de; HIRAOKA, M.L.; CHAAR, J. da S.; VIEIRA, G. Caracterização do óleo de copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne) de espécies nativas da Reserva Florestal Adolpho Ducke. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2., 2005, Lavras. **Resumos...** Lavras: UFV, 2005, p. 473-476.

SHANLEY, P.; LEITE, A.; ALECHANDRE, A.; AZEVEDO, C. Copaíba (*Copaifera* spp.). In: SHANLEY, P.; MEDINA, G. (Ed.). **Frutíferas e Plantas Úteis na Vida Amazônica.** Belém: CIFOR; Imazon, 2005. p. 85 – 93.

SHONGART, J.; PIEDADE, M.T.F.; LUDWIGSHAUSEN, S.; HORNAS, V.; WORBES, M. Phenology and stem-growth periodicity of tree species in Amazonian floodplain forests. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 18, n. 4, p. 581-597, July. 2002.

SILVA, C.K. **Potencial produtivo e de manejo de dois produtos florestais não madeireiros no contexto amazônico – o cipó titica (*Heteropsis* spp.) e o óleo de copaíba (*Copaifera* spp.).** 2014. 145p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

SILVA, D.T.C. da. **Avaliação da atividade anti-inflamatória e mutagênica de microemulsão tópica contendo óleo de copaíba.** 2014. 30p. TCC (Graduação em Farmácia) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina-Grande, 2014.

SILVA, M.E.C.M.; LOUZADA, J.L.P.C. Utilização da microdensitometria por raios X na avaliação qualitativa da madeira de choupo (*Populus X euramericana*. Cv I214). In: SIMPÓSIO DEL CHOPO, 1., 2001. Zamora. **Proceedings...** Zamora, 2001. p. 469-478.

SILVA, D.A.; TRUGILHO, P.F. Comportamento dimensional da madeira de cerne e alborno utilizando-se metodologia de análises de imagem submetida a diferentes temperaturas. **Revista Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 56-65, 2003.

- SILVA, J. de C.; TOMAZELLO FILHO, M.; OLIVEIRA, J.T. da S.; CASTRO, V.R. de. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hillex. Maiden. Revista Cerne, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1081-1090, 2007.
- SILVA, D.A.; CORREA, A.P.P.; SANTANA, M.F.S.; SOARES, N.L.; FERNANDES, G.K.O. Caracterização físico-química de extração artesanal de óleo de copaíba em comunidades do Estado do Acre. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 51., 2011, São Luis. **Resumos...** São Luiz: UFMA, CBQ, 2011. Resumo 768.
- SILVA, E. S.; MATHIAS, C.S.; LIMA, M.C.F.; VEIGA JUNIOR, V.F.; RODRIGUES D.P.; CLEMENT, C.R. Análise físico-química do óleo-resina e variabilidade genética de copaíba na floresta nacional do tapajós. **Pesquisa Agropecuária, Brasileira**, Brasília, v. 47, n.11, p. 1621-1628, 2012.
- SOLIZ-GAMBOA, C.C.; ROZENDAAL, D.M.A.; CECCANTINI, G.; ANGYALOSSY, V.; VAN DER BORG, K. ZUIDEMA, P.A. Evaluation the annual nature of juvenile rings in Bolivian Tropical rainforest trees. Dendroecology in the tropics: a review. **Trees**, Santa Monica, v. 25, n. 1, p. 17 - 27, Feb. 2011.
- SOUZA, F.D.R. **O manejo do óleo- resina de *Copaifera* spp. realizado pelas etnias Arara (Karo rap) e Gavião (Ikolen) na terra indígena Igarapé Lourdes, Rondônia.** 2010. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.
- TANAKA, A.; VIEIRA, G. Autoecologia das espécies florestais em regime de plantio de enriquecimento em linha na floresta primária da Amazônia Central. **Acta amazônica**, Manaus, v.36, n. 2, p. 193-204, jun. 2006.
- TAPPIN, M.R.R.; PEREIRA, J.F.G.; LIMA, L.A.; SIANI, A.C.; MAZZEI, J.L.; RAMOS, M.F.S. Análise química quantitativa para padronização do óleo de copaíba por cromatografia gasosa de alta resolução. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 236-240, mar./abr. 2004.
- TARAZI, R. **Diversidade genética, estrutura genética espacial, sistema de reprodução e fluxo gênico em uma população de *Copaifera langsdorffii* Desf. no cerrado.** 2009. 139p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.
- THOMAS, H. Senescence, ageing and death of the whole plant. **New Phytologist**, Oxford, v. 197, n. 3, p. 696-711, Feb. 2013.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus gummilifera*, *E. microcorys* e *E. pilularis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 30, p. 45-54, ago. 1985.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus globulus*, *E. pellita*, e *E. acmenoides*. **IPEF**, Piracicaba, n. 36, p. 35-42, 1987.

TOMAZELLO FILHO, M. **Efeito da irrigação e fertilização nas propriedades do lenho de árvores de *Eucalyptus grandis* x *urophylla***. 2006. 135p. Tese (Livre - Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.C.; LISI, C. Potencialidade da família Meliaceae para estudos dendrocronológicos em regiões tropicais e subtropicais. In: ROIG, F.A. **Dendrocronología em América Latina**. Mendoza: Ediunc, 2000. p. 381- 431.

TOMAZELLO FILHO, M.; BOTOSSO, P.; LISI, C.S. Análise e aplicação dos anéis de crescimento das árvores como indicadores ambientais: dendrocronologia e dendroclimatologia. In: MAIA, N.B.; MARTOS, H.L.; BARRELLA, W. (Org.). **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo: EDUC, 2001. p. 117-143.

TOMAZELLO FILHO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M.P; OLIVEIRA, T.S.; BALLARIM, A.W.; BENJAMIN, C.A. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of Eucalypt wood. **Maderas, Ciencia y Tecnología**, Concepción, v.10, n. 2, p. 139-149, 2008.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494p.

VARGAS, F. S.; CAMPELO, M.; MATHIAS, C. S.; CHAAR, J. S.; WIEDEMANN, L.S. M.; VEIGA JUNIOR, V. F. Variáveis físico-químicas para controle de qualidade de óleos de copaíba de espécies de *Copaifera*. In: REUNIÃO ANUAL DA SBQ, 34., 2011, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: SBQ, 2011. Resumo QPN241.

VASCONCELOS, A.F.F.; GODINHO, O.E.S. Uso de métodos analíticos convencionados no estudo da autenticidade do óleo de copaíba. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n.6B, p. 1057-1060, nov./dec. 2002.

VASTANO JUNIOR, B. **Estudos de aspectos da estrutura genética de uma população natural de copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne) Leguminosae-Caesalpinioideae na região de Manaus**. 1984. 54p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 1984.

VEIGA JUNIOR, F.V.; PINTO, A. O gênero *Copaifera* L. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 273 - 286, abr./maio. 2002.

_____. Plantas medicinais: cura segura? **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 519 – 528, maio/jun. 2005.

VEIGA JUNIOR, V.F.; PATITUCCI, M.L.; PINTO, A.C. Controle de autenticidade de óleos de copaíba comerciais por cromatografia gasosa de alta resolução. **Química Nova**, São Paulo, v. 20, n. 6, p. 612 - 615, nov./dec. 1997.

VEIGA JUNIOR, V.F.; ROSAS, E.C.; CARVALHO, M.V.; HENRIQUES, M.G.M.O.; PINTO, A.C. 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**, Michigan, v. 112, n. 2, p. 248-254, June. 2007.

VETTER, R.E. Growth periodicity and age of Amazonian tree species. Methodos for their determination. In: ROIG, F.A. **Dendrocronología em América Latina**. Mendonza: Ediunc, 2000. p. 135-155.

VETTER, R.E.; BOTOSSO, P.C. Remarks on age and growth rate determination of Amazonian trees. **IAWA Bulletin**, Leiden, v.10, n.2, p.133-145, 1989.

WIEDENHOEFT, A.C. Structure and function of wood. In: ROWELL, R.M. (Ed.). **Handbook of wood chemistry and wood composites**. New York: CRC Press. 2005. p. 9-32.

WORBS, M. How to measure growth dynamics in tropical tress – A review. **IAWA Journal**, Leiden, v.16, n. 4, p. 337-351, 1995.

WORBS, M. Annual growth rings, rainfall-dependent growth and long-term growth patterns of tropical trees from the Caparo Forest Reserve in Venezuela. **Journal of Ecology**, London, v. 87, p. 391-403, 1999.

WORBS, M. One hundred years of tree-ring research in the tropics - a brief history and an outlook to future challenges. **Dendrochronologia**, Berlin, v. 20, n. 1-2, 217- 231, 2002.

YANES INZUNZA, O. de las N. **Anatomia da madeira de nove espécies do gênero *Copaifera* (Leguminosae-Caesalpinoideae)**. 1992. 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1992.

ZENID, G.J.; CECCANTINI, G.C.T. **Identificação macroscópica de madeiras**. São Paulo: IPT, 2007. 23p.

ZOBEL, B. J. Inherent differences affecting wood quality in fast-grown plantations. In: IUFRO CONFERENCE, 1980, Oxford. **Proceedings...** Oxford: IUFRO, 1980. p.169-188.

ANEXO

ANEXO A

Espécie	Local	Autores
<i>Copaifera duckei</i> Dwyer	Pará, Maranhão e Amazonas	DWYER, 1951; MARTINS-DA-SILVA, 2006; NEWTON et al., 2012
<i>Copaifera glycyarpa</i> Ducke	Pará, Amazonas, Rondônia e Mato Grosso	DWYER, 1951; MARTINS-DA-SILVA, 2006; NEWTON et al., 2012
<i>Copaifera guyanensis</i> Desf.	Amazonas	DWYER, 1951; MARTINS-DA-SILVA, 2006; NEWTON et al., 2012
<i>Copaifera martii</i> Hayne	Pará, Maranhão, Tocantins e Mato Grosso	DWYER, 1951; MARTINS-DA-SILVA, 2006; COSTA, 2007
<i>Copaifera multijuga</i> Hayne	Amazonas, Pará, Rondônia, Acre e Mato grosso	DWYER, 1951; ALENCAR, 1982; MARTINS-DA-SILVA, 2006; MEDEIROS; VIEIRA, 2008; SOUZA, 2010; NEWTON et al., 2012; MARTINS et al., 2013
<i>Copaifera paupera</i> (Herzog) Dwyer	Acre, Mato Grosso e Amazonas	DWYER, 1951; MARTINS-DA-SILVA, 2006; NEWTON et al., 2012; MARTINS et al., 2013
<i>Copaifera piresii</i> Ducke	Amazonas, Pará, Rondônia e Mato grosso	MARTINS-DA-SILVA, 2006; SOUZA, 2010; NEWTON et al., 2012
<i>Copaifera pubiflora</i> Benth	Roraima	MARTINS-DA-SILVA, 2006; SOUZA, 2010; MARTINS et al., 2013
<i>Copaifera reticulata</i> Ducke	Amazonas, Pará, Roraima, Amapá, Acre e Mato grosso	DWYER, 1951; MARTINS-DA-SILVA, 2006; RIGAMONTE-AZEVEDO; WADT, P.; WADT, L., 2006; NEWTON et al., 2012; MARTINS et al., 2013
<i>Copaifera malmei</i> Harms	Mato grosso	DWYER, 1951; COSTA, 2007
<i>Copaifera oblongifolia</i> Mart.	Pará, Rondônia, Mato grosso, Tocantins e Maranhão	DWYER, 1951; COSTA, 2007
<i>Copaifera langsdorffii</i> var <i>Krukovii</i>	Acre e Amazonas	DWYER, 1951; COSTA, 2007
<i>Copaifera langsdorffii</i> var <i>grandifolia</i> Benth.	Mato grosso e Tocantins	COSTA, 2007

ANEXO A1 – Distribuição do gênero *Copaifera* L. na Amazônia Legal Brasileira, de acordo com a literatura disponível.

ANEXO B

Nº Acesso Exsicata	Coletor	Coletor adicional	Identificador	Família	Gênero	Espécie	Autor	Ano de coleta	Área de coleta
261821	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261822	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261823	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261824	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261825	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261826	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261827	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261828	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261829	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261830	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261831	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261832	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261833	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261834	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261835	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261836	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261837	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM
261838	Medeiros, R.S.	Neves, A.F.	Souza, J.E. da C.	Leguminosae-caes	<i>Copaifera</i>	<i>multijuga</i>	Hayne	2013	Manaus-AM

ANEXO B1 – Relação das exsicatas botânicas depositadas no herbário do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, da espécie *Copaifera multijuga*, coletadas na Reserva A. Ducke, Manaus, Amazonas, Brasil

ANEXO C

Continua

Árvore	Idade																							
	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
cr01	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66
cr02	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
cr03	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
cr04	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68
cr05	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
cr08	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
cr15	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
cr18	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
cr19	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
cr23	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
cr25	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
cr27	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
cr28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
cr30	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
cr31	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
cr34	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
cr37	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85
cr39	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
cr41	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122
cr42	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
cr43	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103

ANEXO C1 – Planilha das árvores amostradas no estudo e suas respectivas idades em cada período de coleta de oleorresina. Verde (ocorrência de produção de oleorresina) e cinza (sem produção de oleorresina)

Árvore	Idade																					Conclusão		
	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
j5	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
j9	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
j14	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
j22	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88
j30	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
j48	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
j69	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
j73	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
j76	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
j77	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87
j79	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96

ANEXO C1 – Planilha das árvores amostradas no estudo e suas respectivas idades em cada período de coleta de oleorresina. Verde (ocorrência de produção do oleorresina) e cinza (sem produção de oleorresina)

ANEXO D

ANEXO D1 – Perfil radial de densidade aparente do lenho de *Copaifera multijuga* de plantação, contrastado com sua respectiva imagem de seção transversal

ANEXO D2 – Perfil radial de densidade aparente do lenho de *C. multijuga* de população natural, contrastado com sua respectiva imagem de seção transversal

ANEXO E

Mês	Precipitação mensal acumulada					Temperatura média mensal		Temperatura Máxima mensal		Temperatura mínima mensal	
	Idade total	População natural			Plantação	População natural	Plantação	População natural	Plantação	População natural	Plantação
		1-35 anos	35-70 anos	>70 anos							
Set _p	0,146	-0,057	0,427	-0,004	-0,016	-0,011	0,091	0,013	0,086	-0,043	0,090
Oct _p	0,056	0,096	-0,045	0,107	0,125	-0,019	-0,115	0,004	-0,087	-0,057	-0,138
Nov _p	0,130	0,190	0,247	0,003	0,245	-0,087	-0,320	-0,044	-0,299	-0,119	-0,291
Dec _p	-0,013	-0,021	-0,101	0,082	0,259	-0,064	-0,296	-0,031	-0,234	-0,118	-0,336
Jan _p	0,026	0,058	-0,102	0,101	0,355	-0,037	-0,227	-0,014	-0,224	-0,049	-0,195
Fev _p	0,069	0,073	0,204	-0,029	0,203	0,012	-0,144	0,024	-0,101	-0,013	-0,187
Mar _p	-0,095	-0,167	-0,111	0,000	-0,053	-0,015	-0,029	0,037	-0,017	-0,112	-0,024
Abr _p	0,112	-0,115	0,265	0,192	0,118	-0,075	0,015	-0,031	0,069	-0,104	-0,032
Mai _p	0,129	0,178	0,100	0,117	0,030	0,008	-0,170	-0,005	-0,235	0,020	-0,073
Jun _p	0,083	0,067	0,023	0,162	0,373	-0,019	-0,300	-0,023	-0,385	-0,011	-0,136
Jul _p	-0,023	0,061	-0,114	-0,045	0,052	0,046	-0,027	0,030	-0,091	0,036	0,042
Ago _c	0,150	0,202	-0,159	0,401	0,003	-0,066	0,206	-0,037	0,162	-0,069	0,222
Set _c	0,021	0,058	-0,203	0,256	0,132	0,035	0,093	0,057	0,006	0,014	0,163
Oct _c	0,091	0,366	-0,005	-0,095	0,065	-0,111	0,000	-0,082	-0,015	-0,127	0,004
Nov _c	-0,129	-0,265	-0,049	-0,065	0,149	0,035	-0,094	0,032	-0,111	-0,006	-0,050
Dec _c	-0,047	0,110	-0,061	-0,183	0,003	0,153	0,271	0,161	0,268	0,109	0,234
Jan _c	0,067	-0,081	0,089	0,233	0,165	0,024	-0,066	0,023	-0,087	0,001	-0,034
Fev _c	-0,007	0,171	-0,016	-0,137	0,087	0,040	0,012	0,023	-0,052	0,037	0,070
Mar _c	0,131	0,106	0,289	-0,010	0,064	-0,003	-0,006	-0,013	-0,043	0,000	0,046
Abr _c	-0,116	-0,067	-0,192	-0,131	-0,076	0,043	0,059	0,023	0,064	0,060	0,024
Mai _c	-0,032	-0,153	0,008	0,055	0,034	0,029	0,032	-0,002	-0,085	0,049	0,147
Jun _c	0,112	0,061	0,010	0,282	0,226	-0,041	-0,136	-0,079	-0,278	-0,024	0,035
Jul _c	0,143	0,363	0,242	0,282	0,226	-0,069	0,158	-0,059	0,085	-0,077	0,213

ANEXO E1 – Correlação entre as séries cronológicas de *C. multijuga* de plantação e população natural com a precipitação e temperatura (média, máxima e mínima).