

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ENGENHARIA FLORESTAL
Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais

PRODUTIVIDADE DE ÓLEO-RESINA DE *Copaifera* sp.:
RELAÇÕES DENDROMÉTRICAS, EDÁFICAS E
ETÁTICA

JOSÉ GUILHERME ROQUETTE

CUIABÁ-MT
2014

JOSÉ GUILHERME ROQUETTE

**PRODUTIVIDADE DE ÓLEO-RESINA DE *Copaifera* sp.:
RELAÇÕES DENDROMÉTRICAS, EDÁFICAS E
ETÁTICA**

Orientador: Dr. Ronaldo Drescher

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Faculdade de Engenharia Florestal - Universidade Federal de Mato Grosso, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

CUIABÁ-MT

2014

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

R786p Roquette, José Guilherme.
Produtividade de Óleo-resina de Copaifera sp. : Relações
Dendrométricas, Edáficas e Etática / José Guilherme Roquette. --
2014
70 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Ronaldo Drescher.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Faculdade de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação
em Ciências Florestais e Ambientais, Cuiabá, 2014.
Inclui bibliografia.

1. Copaíba. 2. Produto Florestal Não Madeireiro. 3. Manejo
Florestal. 4. Extrativismo Vegetal. 5. Floresta Amazônica. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a)
autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

JOSÉ GUILHERME ROQUETTE

**PRODUTIVIDADE DE ÓLEO-RESINA DE *Copaifera* sp.:
RELAÇÕES DENDROMÉTRICAS, EDÁFICAS E
ETÁTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Faculdade de Engenharia Florestal - Universidade Federal de Mato Grosso, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

APROVADA EM: 17.02.2014

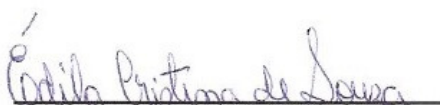
Comissão Examinadora:



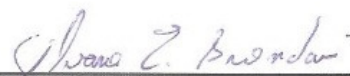
**Dr. Ronaldo Drescher
Orientador - UFMT/FENF**



**Dr. Rubens Marques Rondon Neto
Membro - UNEMAT/FENF**



**Dr.ª Edila Cristina Souza
Membro - UFMT/ICET**



**Dr. Gilvano Ebling Brondani
Membro - UFMT/FENF**

DEDICATÓRIA

**Aos meus pais,
José Maria Roquette Júnior (*in memorian*) e Rosângela Ferraça Roquette.**

**Aos meus irmãos,
Neto, Zepa e Zé Henrique.**

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, ao Dr. Ronaldo Drescher pelos conselhos e ensinamentos ao longo de minha formação acadêmica. Foram muito valiosos.

Agradeço aos membros da banca examinadora pela participação e contribuições significativas para conclusão desta etapa dos trabalhos.

Agradeço a minha família, Pai, Mãe e Irmãos, pelo prazer do convívio e pelo apoio para chegar até aqui.

Agradeço a Alexandra Plochow pela paciência e companheirismo ao longo destes últimos quatro anos. Com carinho, eu agradeço.

Agradeço a toda minha família, em especial ao meu Tio Fernando, por compartilhar não só os momentos de necessidade, como também as ocasiões de felicidade.

Agradeço aos amigos e colegas de profissão, Leandro Teixeira, Alex Ebert, André Dias e Fernando Gava pelo apoio nas coletas de campo e boas ideias para realização deste trabalho.

Agradeço ao Instituto Nacional de Áreas Úmidas - INAU, aos doutores Jochen Schöngart e Evandro Dall'Oglio, ao mestre Carlos Parizotto e químico Allan Carlos, pelas contribuições e auxílio na construção dessa idéia.

Por fim, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para finalização desta etapa de minha vida.

"Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota d'água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota".

Poeta anônimo

RESUMO

ROQUETTE, José Guilherme. **Produtividade de óleo-resina de *Copaifera* sp.:** relações dendrométricas, edáficas e etática. 2014. Dissertação (Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT. Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Drescher.

O objetivo deste trabalho foi verificar as relações entre variáveis dendrométricas, edáficas e da idade, com a produtividade de óleo-resina de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. Foram amostradas 30 *Copaifera* sp. para extração do óleo-resina por um período de 24h, com o uso de trado de 3/4". Além do volume de óleo-resina, foram coletadas informações referentes ao porte das árvores e às características edáficas do solo superficial no entorno de cada indivíduo. Ainda, foram retirados cilindros de lenho de 15 das 30 árvores amostradas para determinação da idade e incremento médio anual (IMA) do DAP, sendo realizadas estimativas dessas variáveis por meio da análise de regressão para aquelas árvores que não tiveram os cilindros coletados. Após completar os dados para todas as variáveis, realizou-se a estatística descritiva para a produtividade de óleo-resina, além de relatar as proporções observadas entre árvores produtivas e não produtivas para a área estudada. Foi aplicada a análise de componentes principais para verificar quais das variáveis coletadas possuem relação com a produtividade de óleo-resina, para então, posteriormente, ser ajustada uma equação para predição desta produtividade por meio da análise de regressão. O modelo que melhor se ajustou para estimativa da idade em função do DAP apresentou valor de $R^2_{ajust.} = 0,616$ e $Syx\% = 4,42$. A produtividade média do povoamento estudado foi de 0,124 L, com coeficiente de variação = 349,9% e 30% de árvores produtivas. A proporção de árvores produtivas aumentou conforme a classe de DAP, sendo diminuída ao chegar na maior classe. Com relação à idade, a proporção de indivíduos produtivos também aumentou conforme as classes, porém não sendo percebido diminuição ao chegar na maior classe, enquanto com relação ao IMA do DAP ocorreu o inverso. Após a análise de componentes principais, a única variável relacionada com a produtividade de óleo-resina foi a altura do fuste, sendo que o melhor modelo ajustado para sua predição apresentou $R^2_{ajust.} = 0,846$ e $Syx\% = 13,11$. Deste modo, verificou-se que a produtividade de óleo-resina de copaíba tem correlação positiva e significativa com a altura do fuste, enquanto com as demais variáveis dendrométricas, bem como com as variáveis do solo superficial e com a idade, não apresenta correlação significativa.

Palavras-chave: Copaíba; Produto Florestal Não Madeireiro; Manejo Florestal; Extrativismo Vegetal; Floresta Amazônica.

ABSTRACT

ROQUETTE, José Guilherme. **Productivity of *Copaifera* sp. oleoresin:** dendrometric edaphic and age relationships. 2014. Dissertation (Postgraduate Diploma in Forestry and Environmental Sciences) - Federal University of Mato Grosso, Cuiabá-MT. Advisor: Prof. Dr. Ronaldo Drescher.

The objective of this study was to examine dendrometric, edaphic and of age relationships with productivity of oleoresin *Copaifera* sp. in Semideciduous Seasonal Forest in the central north region of the State of Mato Grosso, Brazil. We sampled 30 *Copaifera* sp. for extraction of oleoresin for a period of 24 hours, using auger with 3/4". In addition to the oleoresin, information was collected regarding the size of the trees and of the edaphics characteristics of topsoil in around each individual. Also, were removed wood cylinders of 15 of the 30 trees sampled to determination of age and mean annual increment (MAI) of DBH, whereas estimates of these variables were carried out by through regression analysis to those who have not had the cylinders collected. Upon completion of the data for all variables, there was the descriptive statistics for the productivity of oleoresin, in addition to reporting the proportions observed between productive and non-productive trees in the studied area. Was applied the principal component analysis to verify which of the variables collected are related to the productivity of oleoresin, and later, posteriorly, to adjust a equation using regression analysis for predicting this productivity. The model that better adjusted to estimate the age according to the DBH presented value of adjusted coefficient determination = 0,616 and standard error estimate = 4.42. The average productivity of the population studied was 0.124 L, with coefficient of variation = 349.9% and 30% of productive trees. The proportion of productive trees increased with DBH class, being reduced to reach the bigger class. Regarding age, the proportion of productive individuals also increased with the classes, but not being perceived decline to reach the bigger class, while with respect to the IMA of DBH the opposite happened. After the principal component analysis, the only variable correlated with productivity oleoresin was the height of the bole, in which the better model adjusted presented adjusted coefficient determination = 0,846 and standard error estimate = 13.11. Thus, it was found that the productivity of oleoresin copaiba has a positive and significant correlation with the height of the shaft, while with the other dendrometric variables as well as variables topsoil and age, no significant correlation.

Keywords: Copaiba; Non Timber Forest Product; Forest Management; Vegetal Extraction; Amazon Forest.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. **18**
- Figura 2** - localização da área do estudo em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. **23**
- Figura 3** - localização geográfica das árvores de *Copaifera* sp. selecionadas para o estudo em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil **25**
- Figura 4** - extração do óleo-resina do tronco de árvore de *Copaifera* sp. com trado de 3/4 de polegada. Fonte: Roquette, J. G. **26**
- Figura 5** - mangueira acoplada ao recipiente para coleta do óleo-resina do tronco de árvore de *Copaifera* sp. Fonte: Roquette, J. G. **27**
- Figura 6** - orifício de extração do óleo-resina do tronco de árvore de *Copaifera* sp. vedado com madeira de galho descascado. Fonte: Roquette, J. G. **27**
- Figura 7** - procedimento para estimativa da idade das *Copaifera* sp.. **A)** retirada do cilindro de lenho com o trado de incremento; **B)** conjunto de cilindros, sequência de lixas e lupa de 10x de aumento; **C)** cilindros de lenho lixados; e **D)** contagem dos anéis de crescimento. Fonte: Roquette, J. G. **29**
- Figura 8** - desenho amostral da coleta do solo sob cada árvore de *Copaifera* sp. **30**
- Figura 9** - uso da pá reta para coleta do solo. Fonte: Roquette, J. G. **30**
- Figura 10** - histogramas das variáveis idade e DAP de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil **37**
- Figura 11** - gráfico de dispersão para as variáveis DAP e idade de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil **38**
- Figura 12** - gráficos de resíduos dos modelos para estimativa da idade em função do DAP para árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. **39**
- Figura 13** - distribuição das árvores de *Copaifera* sp. produtivas e não produtivas de acordo com a classe de DAP em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. **41**

Figura 14 - distribuição das árvores de <i>Copaifera</i> sp. produtivas e não produtivas de acordo com a classe de idade em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil .	42
Figura 15 - distribuição das árvores de <i>Copaifera</i> sp. produtivas e não produtivas de acordo com a classe de incremento médio anual de dap em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil	43
Figura 16 - histograma da variável produtividade de óleo-resina de árvores de <i>Copaifera</i> sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil	45
Figura 17 - gráfico de probabilidade normal da variável produtividade de óleo-resina de árvores de <i>Copaifera</i> sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil .	45
Figura 18 - cicatrização do tronco de árvores de <i>Copaifera</i> sp. com presença de óleo-resina após, aproximadamente, um ano da abertura e extração. Fonte: Roquette, J. G.....	47
Figura 19 - fendilhamento ocorrido nos locais de extração do óleo-resina vedados com talo de madeira (A e B); presença de óleo-resina cristalizado em talo utilizado para vedação do orifício de extração (C); e cicatrização do orifício de extração sem a presença de óleo-resina (D). Fonte: Roquette, J. G.....	48
Figura 20 - diagrama fatorial da análise de componentes principais após rotação dos fatores pelo método varimax	53
Figura 21 - histogramas das variáveis produtividade de óleo-resina e altura do fuste (Hf) de árvores de <i>Copaifera</i> sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil .	57
Figura 22 - gráficos de probabilidade normal das variáveis produtividade de óleo-resina e altura do fuste (Hf) de árvores de <i>Copaifera</i> sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil	57
Figura 23 - gráfico de dispersão para as variáveis produtividade de óleo-resina e altura do fuste (Hf) de árvores de <i>Copaifera</i> sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil	58
Figura 24 - gráficos de resíduos dos modelos de estimativa da produtividade de óleo-resina em função da altura do fuste (Hf) para árvores de <i>Copaifera</i> sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil	59

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - classes de DAP e número de árvores de *Copaifera* sp. observadas em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil **25**
- Tabela 2** - parâmetros e métodos de análise do solo do entorno das árvores de *Copaifera* sp. amostradas em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. **31**
- Tabela 3** - variáveis utilizadas para verificar as relações com a produtividade de óleo-resina de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil **34**
- Tabela 4** - modelos de funções volumétricas à serem aplicados no ajuste de equações de produtividade de óleo-resina de árvores do gênero *Copaifera* em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. Fonte: Péllico Netto (1982)..... **36**
- Tabela 5** - testes de normalidade para as variáveis DAP e idade de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil **37**
- Tabela 6** - parâmetros estatísticos dos modelos para estimativa da idade (I) em função do DAP para árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil **39**
- Tabela 7** - estatística descritiva referente à produtividade de óleo-resina de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil **44**
- Tabela 08** - valores de produtividade média de óleo-resina de árvores de *Copaifera* sp. para a região da Floresta Amazônica em uma única extração **46**
- Tabela 10** - autovalores, variabilidade(%) e % acumulada dos fatores extraídos pela análise de componentes principais preliminar **49**
- Tabela 9** - matriz de correlação de pearson (n) para as variáveis relacionadas às árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. **50**
- Tabela 11** - matriz fatorial após rotação varimax dos fatores extraídos pela ACP preliminar e seleção das cargas fatoriais significativas das variáveis

relacionadas às árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil **51**

Tabela 12 - cargas fatoriais significantes após rotação varimax e agrupamento das variáveis nos fatores extraídos da ACP preliminar das variáveis relacionadas às árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. **52**

Tabela 13 - estatística descritiva referente à produtividade de óleo-resina de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil, após a exclusão das observações inclusas na menor classe de DAP e de idade..... **55**

Tabela 14 - testes de normalidade para as variáveis produtividade de óleo-resina (óleo-resina) e altura do fuste (Hf) de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil **56**

Tabela 15 - modelos selecionados para estimativa da produtividade de óleo-resina em função da altura do fuste para árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil **58**

Tabela 16 - parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para estimativa da produtividade de óleo-resina em função da altura do fuste para árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil **59**

Tabela 17 - modelos de funções volumétricas adaptados para o ajuste de equações de produtividade de óleo-resina para árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil **61**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1. ÁREA DO ESTUDO.....	23
3.2. COLETA DOS DADOS.....	24
3.2.1. Identificação e mapeamento das copaíbas.....	24
3.2.2. Extração do óleo-resina.....	26
3.2.3. Mensuração das variáveis dendrométricas e idade.....	28
3.2.5. Coleta e análise do solo.....	30
3.3. PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS.....	32
3.3.1. Estimção dos dados faltantes da variável idade.....	32
3.3.2. Redução do número de variáveis de acordo com a produtividade do óleo-resina.....	33
3.3.3. Ajuste de equações para estimativa da produtividade de óleo-resina.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1. AJUSTE DA EQUAÇÃO PARA ESTIMATIVA DA VARIÁVEL IDADE.....	37
4.2. PRODUTIVIDADE DE ÓLEO-RESINA DE COPÁIBA.....	40
4.3. REDUÇÃO DO NÚMERO DE VARIÁVEIS DE ACORDO COM A PRODUTIVIDADE DE ÓLEO-RESINA.....	49
4.4 AJUSTE DE EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DE ÓLEO-RESINA.....	55
5. CONCLUSÃO.....	63
6. RECOMENDAÇÕES.....	63
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

1. INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento e ocupação no Brasil foi marcado pela exploração predatória, em um sistema no qual a economia se fez essencialmente agrícola, extrativista mineral e florestal, porém, sem considerar aspectos conservacionistas (THIBAU, 2000). No entanto, na região Amazônica, dada as suas características e potencialidades, deve-se incorrer atenção especial quanto a adoção de modelos de desenvolvimento pautados em bases de sustentabilidade econômica, social e ambiental (MACHADO, 2008).

A Floresta Amazônica, maior floresta tropical do mundo, abriga em seu interior a mais alta biodiversidade dentre os ecossistemas existentes. A cada ano novas espécies de sua fauna e flora vêm sendo descobertas, muitas delas com potencial de utilização ainda desconhecido.

Segundo Machado (2008), a exploração dos recursos naturais não madeireiros da Floresta Amazônica, se realizada de forma racional, além de manter a sua biodiversidade, possibilita torná-la rentável, constituindo-se um dos principais caminhos para o desenvolvimento com atividades econômicas que não presumam a supressão da cobertura vegetal.

Dentre as espécies existentes na Amazônia com uso potencial, e bastante difundido, encontram-se as do gênero *Copaifera*, popularmente conhecidas como copaíbas. No Brasil, existem 16 espécies endêmicas deste gênero, a maior parte de ocorrência na própria Floresta Amazônica. No entanto, podem ser encontradas espécies distribuídas até as regiões sul e sudeste do território brasileiro (VEIGA JUNIOR e PINTO, 2002).

Apesar de produzir madeira de boa qualidade, utilizada principalmente na construção civil, o produto mais visado nas copaíbas é o seu óleo-resina, relatado e estudado desde o século XVI por seus poderes medicinais, com ampla gama de aplicações (PIERI et al., 2009).

Atualmente, a obtenção do óleo-resina de copaíba é realizada, principalmente, pelo extrativista de comunidades silvícolas, sendo explorado de forma rudimentar e sem um padrão de qualidade, cada vez mais exigido pelo mercado. A variação na produtividade do óleo-resina em copaíbas é a maior dificuldade para o planejamento da exploração racional deste produto não madeireiro.

Muitos pesquisadores desenvolveram trabalhos que buscam explicar quais fatores influenciam a produção do óleo-resina em copaíba, relacionando-a com diferentes espécies do gênero, com o porte dos indivíduos, com a época de extração, com a posição da árvore no relevo, entre outras características, tanto genéticas como ambientais (ALENCAR, 1982; BAIMA et al., 1999; FERREIRA e BRAZ, 2001; RIGAMONTE-AZEVEDO et al., 2004; MEDEIROS, 2006; OLIVEIRA et al., 2006; RIGAMONTE-AZEVEDO et al., 2006; WADT et al., 2007; MEDEIROS e VIEIRA, 2008; BARBOSA et al., 2009).

Embora diversos estudos já tenham sido realizados na tentativa de identificar os fatores que interferem na produtividade do óleo-resina de copaíba, ainda não há um consenso entre os pesquisadores de quais são as causas que originam a produção deste produto não madeireiro nas espécies do gênero. Neste sentido, visando contribuir com os estudos existentes, objetivou-se verificar as relações entre variáveis dendrométricas, edáficas e da idade com a produtividade de óleo-resina de *Copaifera* sp.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A Amazônia é rica em recursos naturais, apresentando uma grande diversidade de espécies que necessitam de estudos, de melhoria nas técnicas de manejo e aplicação de tecnologia em seus produtos e subprodutos, possibilitando a sua adequada utilização (BAIMA et al., 1999).

O extrativismo de produtos não madeireiros ou subprodutos da floresta é uma alternativa de uso racional destes ambientes, que frente à outras atividades, como a agricultura, pecuária e exploração madeireira, mesmo a de impacto reduzido, contribuiria para a manutenção da cobertura florestal (FERREIRA, 1999; MACHADO, 2008).

Faltam ainda conhecimentos sobre a biologia e autoecologia de muitas espécies da Amazônia, o que dificulta a definição de estratégias para o manejo de produção não madeireira (RIGAMONTE-AZEVEDO, 2004). Este tipo de exploração apresenta como característica a baixa intensidade tecnológica e de produtividade, porém com altos níveis de sustentabilidade ecológica e cultural (BAIMA et al., 1999).

Muitos produtos não madeireiros vêm ganhando destaque, conquistando inclusive o mercado externo. É o caso do óleo-resina de copaíba, que tem potencial para exploração sustentável em sistemas de manejo florestal de uso múltiplo, constituindo-se uma espécie importante para a conservação das florestas e manutenção da tradição extrativista de populações em ecossistemas amazônicos (BAIMA et al., 1999; RIGAMONTE-AZEVEDO, 2004; BARBOSA et al., 2009).

As copaíbas, ou copaibeiras, são espécies do gênero *Copaifera* que produzem um óleo-resina de múltiplas aplicações, sendo utilizado principalmente como fonte de princípios ativos em farmacologia (VEIGA JUNIOR e PINTO, 2002).

Pertencentes a família Fabaceae, nativas da região tropical da América Latina e da África Ocidental, o gênero *Copaifera* apresenta 72 espécies catalogadas, sendo que 16 são endêmicas do Brasil (VEIGA

JUNIOR e PINTO, 2002). Segundo Pinto et al. (2010), na região da Amazônia brasileira podem ser encontradas nove espécies distintas de *Copaifera* sp., algumas delas com características físicas diferenciadas para a mesma espécie, o que dificulta sua correta identificação.

O Amazonas e o Pará são os estados brasileiros que apresentam o maior número de registro de espécies de copaíba, entretanto podemos encontrar espécies deste gênero desde a floresta amazônica até o sul do Brasil, tendo espécies que ocorrem particularmente em uma única região ao longo desta extensão (BARBOSA e SCUDELLER, 2009). A *Copaifera langsdorffii* Desf. apresenta importância particular por se distribuir por todo o território brasileiro, podendo ser encontrada, pelo menos uma, de suas quatro variedades desde a Amazônia até o estado de Santa Catarina, e do Centro-Oeste até o Nordeste do país (VEIGA JUNIOR e PINTO, 2002).

No geral, as espécies do gênero *Copaifera* são semidecíduas, apresentando crescimento lento, podendo viver até 400 anos e alcançando 40 m de altura. A ramificação é racemosa, com copa larga e folhagem pouco densa. O tronco é normalmente cônico, mas podem ocorrer de forma cilíndrica e tortuosa, atingindo até 4 m de diâmetro, com ritidoma áspero, de coloração escura e gosto amargo (Figura 1). Suas folhas são compostas, alternas, paripenadas com seis a oito pares de folíolos, pecioladas, coriáceas e cheias de glândulas translúcidas. As flores são brancas, sésseis, em panícula terminal de cálice vermelho ferrugem, glabro e denso-piloso interiormente (LORENZI, 1949; VEIGA JUNIOR e PINTO, 2002; FERREIRA e BRAZ, 2001; BARBOSA e SCUDELLER, 2009).



Figura 1 - *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. Fonte: Roquette, J. G.

A floração das copaíbas ocorre na estação chuvosa, e a frutificação no início da seca. A polinização é realizada por diversos agentes, enquanto a dispersão dos frutos e sementes notadamente por pássaros e outros animais (ALENCAR, 1988).

A madeira das espécies do gênero *Copaifera* é moderadamente pesada, de castanho claro a castanho-avermelhado-escuro, grã direita a irregular, com textura média, cheiro imperceptível e gosto ligeiramente adstringente. As camadas de crescimento são delimitadas pelo parênquima marginal, com faixas espaçadas irregularmente. Sua indicação é principalmente para a construção civil, para uso como vigas, ripas, caibros, marcos de portas e janelas, cabos de ferramentas, entre outros, porém, por apresentar tensões de crescimento, apresentam tendência ao rachamento, o que de certa forma, prejudica o seu desdobro (MAINIERI e CHIMELO, 1989).

Os compostos do óleo produzido por *Copaifera* sp. são sintetizados em células do parênquima alinhadas ao redor de bolsas, cistos ou canais alongados (LANGENHEIM, 1973), sendo o óleo encontrado em canais secretores formados por dilatações intercelulares, chamados de canais esquizógenos (MARCATI et al., 2001). De acordo com Veiga Junior e Pinto (2002), após revisão sobre o tema, a designação mais correta para este produto das copaíbas é óleo-resina, considerando que o exudado é formado por ácidos resinosos e óleos essenciais voláteis.

Segundo Alencar (1982), o óleo-resina das copaíbas é um produto secundário de seu metabolismo, fruto de excreção ou desintoxicação da árvore, funcionando como defesa contra animais, fungos e bactérias, da mesma forma que em outras espécies produtoras de resinas (PHILIPS e CROTEAU, 1999; LANGENHEIM, 2003).

O óleo-resina de copaíba pode ser classificado quanto a sua coloração, turbidez e viscosidade. Ele varia desde o amarelo-pálido até o castanho-escuro-avermelhado, do transparente ao opaco, com odor forte de cumarina e de sabor azedo a um pouco amargo, muito desagradável e persistente. O óleo-resina é insolúvel em água e parcialmente solúvel em álcool. Quando exposto ao ar ele escurece e aumenta de viscosidade e densidade (RIGAMONTE-AZEVEDO et al., 2004).

O principal uso do óleo-resina de copaíba pelo homem é medicinal. Ele é indicado para uma série de patologias em vias aéreas, vias respiratórias, infecções da derme e mucosas, e para outras finalidades, como afrodisíaco, antitetânico, antirreumático, dores de cabeça, soro anti-ofídico, etc. (VEIGA JUNIOR e PINTO, 2002). Ainda é utilizado nas indústrias de cosméticos para fabricação de cremes, xampus e sabonetes, e como matéria prima para vernizes, lacas, tintas, fixadores de perfumes, fabricação de papel, entre outros (FERREIRA e BRAZ, 2001).

Na época da borracha e após a Segunda Guerra Mundial o óleo-resina de copaíba foi muito exportado, chegando a 94 toneladas no ano de 1947 (SHANLEY et al., 2005). O preço do produto é variável

dependendo da situação, podendo ser comercializado de 2,00 R\$/litro pelo caboclo extrativista a 225,00 R\$/litro em aeroportos (SHANLEY et al., 2005). Scudeller et al. (2007) constataram em um estudo conduzido na região da Amazônia Central que a exploração do óleo-resina de copaíba é uma atividade viável e satisfatória, e que a busca de certificação da procedência do produto é uma tendência do mercado.

A extração do óleo-resina pode ser realizada com uma técnica bastante rudimentar e pouco adequada, que consiste no uso de machado ou moto-serra para fazer um grande orifício no tronco da árvore, porém, este método pode implicar na sua inutilização para futuras extrações (FERREIRA e BRAZ, 2001). Atualmente, considera-se mais sustentável o uso de um trado metálico para a extração, perfurando a árvore até o centro e inserindo um cano no orifício para deixar o óleo-resina escoar, em seguida o orifício deve ser vedado para impedir a infestação por fungos e insetos (SHALEY et al., 2005).

Segundo Alencar (1982), em estudo realizado em população natural de *Copaifera multijuga* Hayne, na Amazônia Central, apenas um furo foi suficiente para a retirada de todo o óleo existente, levando-o a julgar que os canais secretores longitudinais se comunicam entre si. Contudo, o autor não avaliou a histologia para confirmar esta hipótese, sendo necessário o desenvolvimento de novos estudos para sua confirmação.

A produção de óleo-resina em *Copaifera* sp. é muito variável, tendo indivíduos com produtividade na ordem de 30 litros/coleta. Atualmente, considera-se a produtividade média variando de 0,3 a 3 litros.árvore⁻¹.coleta⁻¹ (RIGAMONTE-AZEVEDO et al., 2004). Fato a ser considerado é o desconhecimento dos fatores que determinam a produção do óleo-resina em copaiibeiras (RIGAMONTE-AZEVEDO, 2004), informação imprescindível para a elaboração do plano de manejo florestal que vise a exploração deste produto. Muitos autores se contradizem ao tentar explicar quais são estes fatores (ALENCAR, 1982; BAIMA et al., 1999; FERREIRA e BRAZ, 2001; RIGAMONTE-AZEVEDO et al., 2004; MEDEIROS, 2006; OLIVEIRA et al., 2006; RIGAMONTE-AZEVEDO et al.,

2006; WADT et al., 2007; MEDEIROS e VIEIRA, 2008; BARBOSA et al., 2009).

Os autores Alencar (1982) e Barbosa et al. (2009), em estudos realizados em florestas naturais da Amazônia brasileira, observaram que a maior produção de óleo-resina em *Copaifera* sp. ocorre em período chuvoso, entretanto, pesquisas realizadas por Ferreira e Braz (2001) e Oliveira et al. (2006), resultaram em maior produção na época seca, diferentemente dos primeiros. Medeiros e Vieira (2008) não encontraram diferença significativa entre a produção de óleo-resina nos períodos de maior e menor precipitação em floresta amazônica. Além disso, não verificaram diferença estatística na quantidade de precipitação entre os dois períodos.

O morfotipo de copaíba também vem se mostrando como fator de influência na quantidade e qualidade de óleo-resina produzido. Somente no estado do Acre são reconhecidos seis morfotipos de *Copaifera* sp., diferenciados pelas características morfológicas da casca e das folhas (LEITE et al., 2001). Os diferentes morfotipos podem apresentar maior ou menor proporção de indivíduos produtivos, como também apresentar maior ou menor produção em termos de volume de óleo-resina (RIGAMONTE-AZEVEDO et al., 2004; RIGAMONTE-AZEVEDO et al., 2006; WADT et al., 2007). De acordo com Oliveira et al. (2006), as características físico-químicas do óleo-resina também se diferenciam de acordo com a espécie.

Alencar (1982), em região da Amazônia Central, estudou a relação da textura do solo (arenoso ou argiloso) com a produção de óleo-resina em *Copaifera multijuga* Hayne, relatando que a maior produção foi observada em solo argiloso, assim como a ocorrência de maior frequência de indivíduos de copaíba.

A tipologia florestal, floresta aberta ou floresta densa, e a posição da árvore no relevo, se em terra firme ou baixo, foram estudadas por Rigamonte-Azevedo et al. (2006), não encontrando qualquer dependência da produção de óleo-resina em *Copaifera* sp. com os fatores citados.

A relação da produção de óleo-resina de copaíba com o diâmetro a altura do peito (DAP), altura total e diâmetro de copa, também foi tema de estudo para muitos pesquisadores, e gerou controvérsias. Alencar (1982), Ferreira e Braz (2001) e Rigamonte-Azevedo (2006), não encontraram forte correlação entre variáveis dendrométricas e a produção de óleo-resina, entretanto, Medeiros e Vieira (2008) encontraram correlação significativa entre a produção de óleo-resina e DAP para árvores com diâmetros maior que 40,9 cm.

Plowden (2001; 2003) observou que indivíduos com DAP entre 55 e 65 cm apresentaram maior produção média que indivíduos com menor ou maior DAP, indicando que a produção poderia aumentar até um máximo e a partir de então ser reduzida.

Segundo Baima et al. (1999), o porte das árvores possivelmente influencia diretamente na produção de óleo-resina de copaíba. Os autores, em estudo realizado na região de Tapajós, no Estado do Pará, verificaram que árvores de *Copaifera multijuga* Hayne com DAP entre 60 e 93 cm exsudaram óleo-resina, enquanto aquelas com DAP inferior a 60 cm não produziram.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DO ESTUDO

O estudo foi desenvolvido em uma área de 213 ha coberta por Floresta Estacional Semidecidual, situada no município de Vera, região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil (Figura 2). A área se localiza circunscrita às coordenadas geográficas $12^{\circ}42'54,881''\text{S}$ e $55^{\circ}19'53,966''\text{W}$, e a cerca de 330 m de altitude.

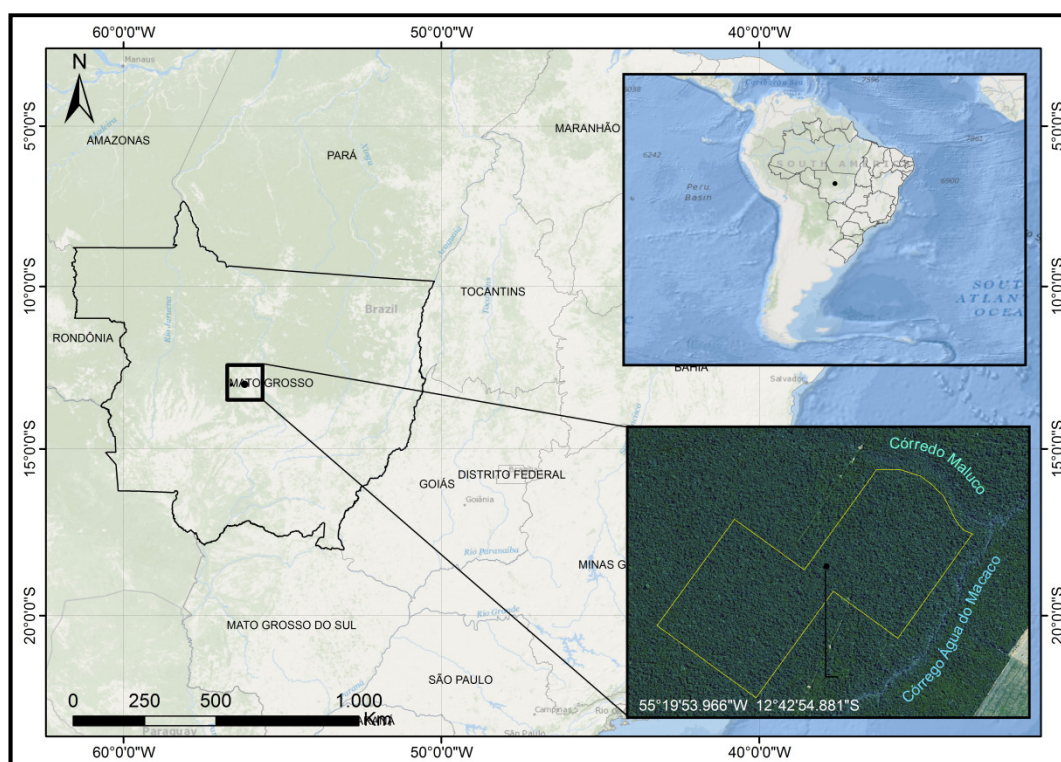


Figura 2 - localização da área do estudo em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso.

A região está inserida na bacia hidrográfica do Rio Amazonas, tendo o Córrego Água do Macaco e seu afluente, Córrego Maluco, confrontando com os limites da área estudada. Sua vegetação original é classificada como Floresta Estacional Semidecidual Submontana com Dossel Emergente, caracterizada por espécies advindas da Amazônia, revestindo o contato de Floresta Ombrófila com Cerrado (IBGE, 2012).

O local teve origem na Era Cenozóica, sendo formado por uma zona basal com rochas subjacentes alteradas, areias, argilas e níveis conglomeráticos, parcialmente laterizados, uma zona média concrecionária de lateritos ferruginosos compactos e uma zona superior com solos argilosos. Seu relevo, formado pelo acúmulo de sedimentos ao longo dos anos, é conhecido como Planalto dos Parecis (IBGE, 2009a; IBGE, 2009b).

A geologia e relevo do local, influenciada pelo clima típico da região, que se apresenta na maior parte do ano úmido, tendo apenas três meses de seca, e temperatura média acima dos 18°C durante todo o ano (classificação de Köppen: Aw), com precipitação acumulada anualmente de 1850 a 2050 mm, deram origem ao Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico e plintítico, com textura média, observado na região (INMET, 1992; IBGE, 2009c).

Devido a baixa fertilidade natural e excesso de alumínio (IBGE, 2002), além do manejo madeireiro, o uso do solo no entorno é voltado à pecuária extensiva e agricultura moderna em médias e grandes propriedades, proporcionadas principalmente pela topografia plana a suave ondulada da região (IBGE, 2002), o que facilita a mecanização.

3.2. COLETA DOS DADOS

3.2.1. Identificação e mapeamento das copaíbas

A partir do inventário florestal (censo) realizado na área do estudo para fins de exploração madeireira (dados não publicados), foram identificadas 72 árvores do gênero *Copaifera*. Destas, foram selecionadas um total de 30 para a coleta dos dados, tendo como critério as classes de DAP e o distanciamento das árvores em relação aos cursos d'água presentes no entorno da área, motivo pelo qual o número de indivíduos observados não coincidiu entre cada classe de DAP (Tabela 1).

Tabela 1 - classes de DAP e número de árvores de *Copaifera* sp. observadas em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Classe de DAP (m)	Número de indivíduos amostrados
[0,30 - 0,42]	07 (sete)
(0,42 - 0,54]	06 (seis)
(0,54 - 0,66]	11 (onze)
(0,66 - 0,78]	06 (seis)

A divisão em quatro classes de DAP, com intervalos de 12 cm, foi realizada devido a amplitude entre o menor e o maior valor de DAP observado para as árvores amostradas. De acordo com Machado e Figueiredo Filho (2009), intervalos de classe entre 10 e 20 cm de DAP é comumente adotado para florestas naturais com grande amplitude de variação de diâmetros. Após a identificação, cada árvore foi georreferenciada com o uso de aparelho de GPS, com precisão entre 3 a 5 metros (Figura 3).

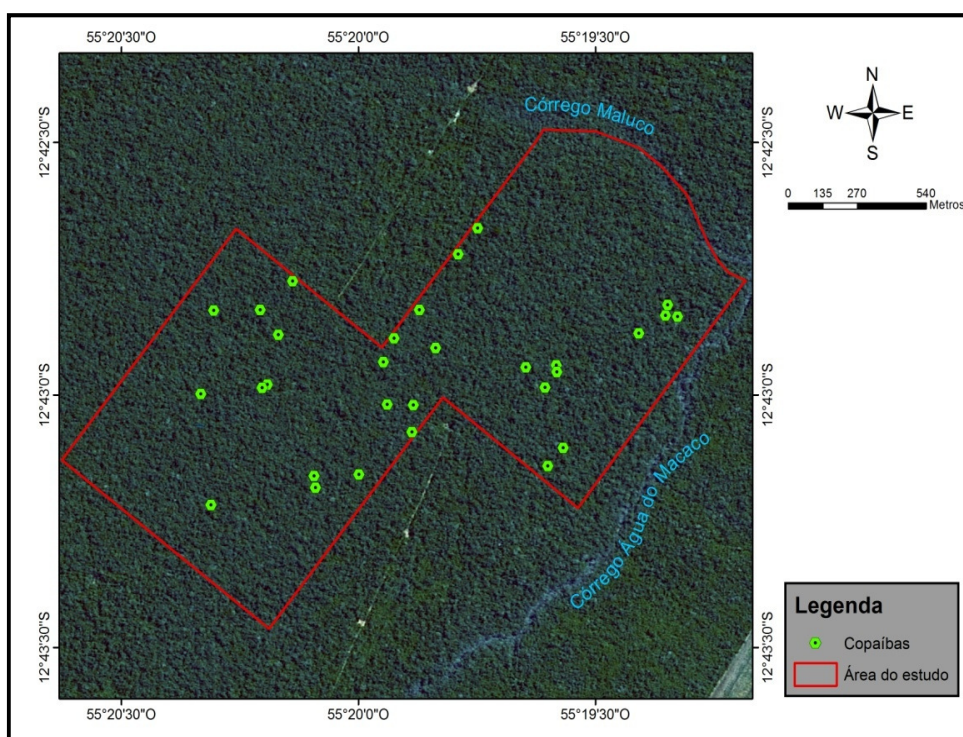


Figura 3 - localização geográfica das árvores de *Copaifera* sp. selecionadas para o estudo em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

3.2.2. Extração do óleo-resina

A extração do óleo-resina do tronco das árvores foi realizada entre os meses de julho, agosto e setembro de 2012, correspondentes ao período de clima seco da região. Para extração do óleo-resina das copaibeiras foi realizado um furo a altura do peito, utilizando um trado de 3/4 de polegadas (Figura 4). O local do orifício foi definido conforme a orientação do tronco das árvores, sendo realizado na direção em que o tronco principal se inclinava. Após a perfuração até o centro das árvores, muitas vezes ultrapassando a medula, foi inserida uma mangueira plástica no orifício, ligando-a a um galão de plástico de volume igual a 5 litros, sendo o contato deste com a mangueira, vedado com fita adesiva (Figura 5).



Figura 4 - extração do óleo-resina do tronco de árvore de *Copaifera* sp. com trado de 3/4 de polegada. Fonte: Roquette, J. G.



Figura 5 - mangueira acoplada ao recipiente para coleta do óleo-resina do tronco de árvore de *Copaifera* sp.. Fonte: Roquette, J. G.

Mesmo aquelas árvores que não apresentaram produção de óleo-resina no momento da perfuração, a mangueira ligada ao galão foi deixada inserida nas copaíbas por um período de 24 h ou até a completa exsudação do óleo-resina, de acordo com o proposto por Rigamonte-Azevedo et al. (2006).

Finalizada a coleta do óleo-resina, o orifício foi vedado para impedir possíveis ataques às árvores por organismos patológicos. A vedação foi realizada com a madeira de galho, previamente descascado com o uso de facão, presente no entorno de cada indivíduo (Figura 6).



Figura 6 - orifício de extração do óleo-resina do tronco de árvore de *Copaifera* sp. vedado com madeira de galho descascado. Fonte: Roquette, J. G.

O óleo-resina obtido foi armazenado nos galões, com a devida identificação da árvore, até serem levados ao laboratório para mensuração do volume em proveta com escala milimétrica. Considerou-se como produtivas aquelas árvores que a quantidade de óleo-resina extraído foi capaz de escoar dos galões para a proveta com escala milimétrica, e não produtivas aquelas árvores que, mesmo apresentando vestígios de óleo-resina, a quantidade não foi suficiente para o escoamento, ficando retido na superfície interna da mangueira ou do galão.

3.2.3. Mensuração das variáveis dendrométricas e idade

Como o inventário florestal havia sido realizado no ano 2011, os indivíduos tiveram a Circunferência a Altura do Peito (CAP) novamente mensurada com o uso de fita métrica, posteriormente a medida foi convertida para DAP de acordo com a fórmula $DAP = \frac{CAP}{\pi}$.

A altura total (Ht) e do fuste (Hf) foram mensurados com o auxílio do Hipsômetro Eletrônico, o qual realiza o cálculo por relação trigonométrica, fornecendo os valores em função da distância do observador em relação a árvore e a angulação entre a base da árvore e o limite superior desejado (altura do fuste ou total).

Foram mensuradas também a média dos diâmetros e altura de copa das árvores. A média dos diâmetros de copa foi obtida por meio da medição com trena do maior diâmetro observado visualmente do solo e medição do diâmetro perpendicular ao anterior, sendo a média das duas medidas igual a média dos diâmetros de copa (Dc). A altura de copa (Hc) foi obtida pela subtração da altura total pela altura do fuste.

A idade dos indivíduos foi determinada após contagem do número de seus anéis de crescimento, demarcados na espécie por faixas de parênquima (MAINIERI e CHIMELO, 1989). As amostras foram retiradas perpendicularmente ao orifício de extração do óleo-resina, após sua completa exsudação, com o uso do trado de incremento (também conhecido como trado de Pressler). A vedação do orifício causado pelo

Trado de Incremento foi realizada da mesma forma que a do orifício de extração do óleo-resina.

Para a contagem dos anéis de crescimento dos cilindros de lenho, as amostras foram lixadas com lixas nas granulações de 100, 150, 220, 320 e 400 grãos de areia por cm², respectivamente, possibilitando melhor visualização das estruturas anatômicas. Para auxílio na contagem foi utilizada uma lupa com 10x de aumento (Figura 7).



Figura 7 - procedimento para estimativa da idade das árvores de *Copaifera* sp.. **A)** retirada do cilindro de lenho com o trado de incremento; **B)** conjunto de cilindros, sequência de lixas e lupa de 10x de aumento; **C)** cilindros de lenho lixados; e **D)** contagem dos anéis de crescimento. Fonte: Roquette, J. G.

No total foram amostradas 17 árvores, sendo a idade das 13 remanescentes, e daquelas que estavam ocas (duas entre as dezessete), obtida por meio da técnica estatística de regressão linear, descrita no item "3.3. Processamento e análise dos dados". O Incremento Médio Anual do DAP (IMA) foi obtido pela razão entre o DAP do indivíduo e a sua idade.

3.2.5. Coleta e análise do solo

Cada indivíduo teve coletado em seu entorno quatro amostras de solo para compor uma única amostra representativa. As coletas foram realizadas em forma cruzada a uma distância de aproximadamente 3 m de cada indivíduo com o uso de pá reta e com o auxílio de facão, atingindo uma profundidade entre 10 e 15 cm (Figuras 8 e 9).

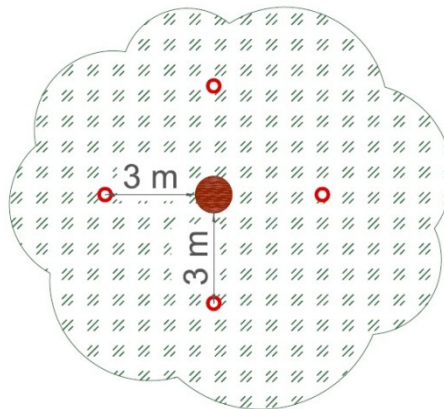


Figura 8 - desenho amostral da coleta do solo sob cada árvore de *Copaifera* sp.



Figura 9 - uso da pá reta para coleta do solo. Fonte: Roquette, J. G.

Após a coleta, o solo foi armazenado em sacos plásticos e no período de dois dias as amostras foram encaminhadas para análise em laboratório especializado. No total foram obtidos 21 parâmetros relacionados às características químicas e físicas do solo.

Os métodos de análises constam descritos na Tabela 2. Para aqueles parâmetros que não constam na referida tabela, os resultados foram obtidos com base em relações entre as características obtidas pelos métodos analíticos.

Tabela 2 - parâmetros e métodos de análise do solo do entorno das árvores de *Copaifera* sp. amostradas em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Parâmetro do Solo	Método de Análise
pH	Solução de cloreto de cálcio 0,01M, na proporção 1:2,5 (solo: CaCl ₂) (IAC, 2001)
P e K ⁺	Extraídos com solução HCl 0,05M + H ₂ SO ₄ 0,025M (Mehlich1), sendo o P determinado espectroscopicamente e o K pelo método do fotômetro de chamas (SILVA et al., 1998)
Ca ²⁺ , Mg ²⁺ e Al ³⁺	Extraídos com solução de cloreto de potássio 1M, sendo Ca e Mg determinados pelo método de espectrofotometria de absorção atômica (EAA) e o Al pelo método volumétrico por titulação com hidróxido de sódio (SILVA et al., 1998)
H ⁺	Acidez potencial (H ⁺ + Al ³⁺) extraída com solução de acetato de cálcio a pH=7 e H ⁺ calculado pela fórmula $H^+(cmol_c/kg) = [(H^+ + Al^{3+}) - (Al^{3+})]$ (EMBRAPA, 1997)
Matéria Orgânica (M.O.)	Oxidação com bicromato de potássio e determinação colorimétrica (IAC, 2001)
Areia, silte e argila	Dispersante NaOH e determinação pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997)

Os demais parâmetros edáficos observados para cada copaíba foram calculados de acordo com Silva et al. (1998) e IAC (2001), sendo eles: Soma de Bases (S), Saturação de Bases (V), Relações Ca²⁺/Mg²⁺, Ca²⁺/K⁺ e Mg²⁺/K⁺, Saturação por Ca²⁺ (Sat.Ca), Saturação por Mg²⁺ (Sat.Mg), Saturação por K⁺ (Sat.K), Saturação por H⁺ (Sat.H) e Saturação por Al³⁺ (Sat.Al).

3.3. PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

O processamento e análise de dados foi realizado no Laboratório de Crescimento e Produção Florestal da Faculdade de Engenharia Florestal - FENF, da Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT, em três etapas complementares entre si, sendo elas:

1ª etapa - Estimação dos dados faltantes da variável idade;

2ª etapa - Redução do número de variáveis de acordo com a produtividade de óleo-resina;

3ª etapa - Ajuste de equações para estimativa da produtividade de óleo-resina.

Após a 1ª etapa, e antes de iniciar 2ª, os dados referentes à produtividade do óleo-resina das copaibeiras, em volume, foram submetidos à análise estatística descritiva, a fim de produzir informação para a região e poder compará-la com os valores de produtividade observados em outras regiões.

3.3.1. Estimação dos dados faltantes da variável idade

A Análise de Regressão foi aplicada para estimativa da idade dos indivíduos que não tiveram esta variável mensurada. A idade (variável dependente) foi estimada a partir de sua relação com o DAP (variável independente), considerando a forte correlação entre as duas variáveis.

Previamente ao ajuste do modelo, realizou-se o exame das variáveis a fim de verificar se atendem as suposições estatísticas de normalidade, homocedasticidade e linearidade, eliminando a possibilidade das relações serem mal representadas (HAIR et al., 2009).

O método utilizado para estimativa da variável estatística (equação de regressão) foi o *stepwise*. Com o intuito de melhorar a correlação entre a idade e o DAP, as variáveis foram transformadas antes dos modelos serem ajustados.

Após as etapas do método *stepwise* para construção da equação de regressão, selecionou-se para análise gráfica de resíduos as

quatro equações que apresentaram o maior coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{\text{ajust.}}$), em conjunto com o menor erro padrão de estimativa ($S_{yx}\%$). Além destes parâmetros, para validação da variável estatística, foi verificada também a sua significância pelo teste F, assim como a dos coeficientes estimados, de acordo com o teste t, ambos a um nível de 5% de probabilidade.

3.3.2. Redução do número de variáveis de acordo com a produtividade do óleo-resina

A redução do número de variáveis foi realizada utilizando a técnica estatística multivariada de interdependência conhecida como Análise Fatorial. Esta técnica nos permite verificar quais as relações existentes entre um conjunto de variáveis por meio da estrutura de suas variâncias.

Como o objetivo da Análise Fatorial consistiu somente na redução do número de variáveis, tendo como referência a relação com a produtividade de óleo-resina, adotou-se o método da Análise de Componentes Principais - ACP para extração dos fatores (HAIR et al., 2009).

A matriz de correlação (dados de entrada), utilizada para aplicação da ACP, foi elaborada de acordo com os dados observados para as variáveis relacionadas na Tabela 3. Foram extraídos todos os fatores cujo autovalor foi superior a 1 (critério da raiz latente). Em seguida, os fatores foram rotacionados pelo método VARIMAX (rotação ortogonal) para simplificar a matriz fatorial e diminuir as ambiguidades da análise preliminar, reduzindo o número de cargas cruzadas (HAIR et al., 2009). Foram consideradas significativas as correlações entre fatores e variáveis em que o valor da carga fatorial foi igual ou superior a 0,5. Por fim, foram selecionadas para a estimativa da produtividade de óleo-resina aquelas variáveis que de acordo com os resultados da ACP se enquadraram no mesmo fator que a variável de referência (óleo-resina).

Tabela 3 - variáveis utilizadas para verificar as relações com a produtividade de óleo-resina de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS E ETÁTICA						
DAP	Ht	Hf	Hc	Dc	IMA	Idade
(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/ano)	(anos)
VARIÁVEIS EDÁFICAS						
pH	P	K	Ca	Mg	Al	H
-	(mg/dm ³)	(mg/dm ³)	(cmol _c /dm ³)	(cmol _c /dm ³)	(cmol _c /dm ³)	(cmol _c /dm ³)
M.O.	Areia	Silte	Argila	S	V	Ca/Mg
(g/dm ³)	(g/Kg)	(g/Kg)	(g/Kg)	(cmol _c /dm ³)	(%)	-
Ca/K	Mg/K	Sat.Ca	Sat.Mg	Sat.K	Sat.H	Sat.Al
-	-	(%)	(%)	(%)	(%)	$m\% = Al / (Al + S) \times 100$

Em que: DAP = diâmetro a altura do peito; Ht = altura total; Hf = altura do fuste; Dc = média dos diâmetros da copa; IMA = incremento médio anual do DAP; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H = hidrogênio; M.O. = matéria orgânica; S = soma de bases; V = saturação de bases; Ca/Mg = relação Ca^{2+}/Mg^{2+} ; Ca/K = relação Ca^{2+}/K^{+} ; Mg/K = relação Mg^{2+}/K^{+} ; Sat.Ca = saturação por Ca^{2+} ; Sat.Mg = saturação por Mg^{2+} ; Sat.K = saturação por K^{+} ; Sat.H = saturação por H^{+} ; e Sat.Al = saturação por Al^{3+} .

O tamanho absoluto da amostra foi de 870 observações, compreendendo 30 para cada uma das 29 variáveis métricas. De acordo com Hair et al. (2009), o tamanho da amostra mais aceitável para aplicação da Análise Fatorial deve consistir em uma proporção de 10 observações para cada variável, além do número de variáveis não poderem ultrapassar o número de observações, portanto, verifica-se a adequação da amostra para aplicação da ACP.

3.3.3. Ajuste de equações para estimativa da produtividade de óleo-resina

Após a seleção das variáveis mais correlacionadas com a produtividade de óleo-resina, dentre aquelas que constam na Tabela 3, procedeu-se a aplicação da Análise de Regressão.

Sendo a Análise de Regressão uma técnica estatística de dependência, o objetivo de sua aplicação foi de possibilitar a previsão da produtividade de óleo-resina de copaíba (variável dependente) a partir de outras variáveis de fácil mensuração.

Da mesma forma que para o ajuste da equação da idade em função do DAP (item 3.3.1.), previamente a aplicação da Análise de Regressão, foi realizado o exame das variáveis a fim de verificar se atendem as suposições estatísticas de normalidade, homocedasticidade e linearidade, para, havendo necessidade, realizar a transformação de uma ou mais variáveis.

O método utilizado para estimativa da variável estatística (equação de regressão) foi o *stepwise*. Este método, também conhecido como passo-a-passo, permite ao pesquisador avaliar a contribuição de cada variável independente na previsão da variável dependente (HAIR et al., 2009), caso haja mais de uma variável relacionada com a produtividade de óleo-resina.

Normalmente, inicia-se a construção da equação de regressão com a inclusão da variável independente mais fortemente correlacionada com a variável dependente. Em seguida, são adicionadas outras variáveis que podem explicar, de modo estatisticamente significativo, a variância não explicada remanescente da equação anterior. A cada passo é necessário verificar, ainda, se existe contribuição significativa para cada variável independente adicionada a equação, de acordo com o valor de F parcial de cada uma delas (HAIR et al., 2009).

A partir do momento que não exista contribuição estatisticamente significativa de outras variáveis independentes adicionadas ao modelo, finaliza-se a construção da variável estatística (HAIR et al., 2009).

Além dos modelos ajustados pelo método *stepwise*, ajustou-se também alguns modelos de funções volumétricas utilizados na volumetria de árvores (Tabela 4). Porém, foram modificados de acordo com as variáveis de interesse neste estudo, no caso a variável dependente como produtividade de óleo-resina e variável(eis) independente(s) resultante(s)

da Análise Fatorial (item 3.3.2.). Para seleção e validação das equações de regressão, utilizaram-se os mesmos critérios descritos para seleção e validação das equações de idade em função do DAP (item 3.3.1.).

Tabela 4 - modelos de funções volumétricas à serem aplicados no ajuste de equações de produtividade de óleo-resina de árvores do gênero *Copaifera* em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. Fonte: Péllico Netto (1982)

Modelo	Autor
$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2$	Hohenadl - Krenn
$\log v = \beta_0 + \beta_1 \log d$	Husch
$\log v = \beta_0 + \beta_1 \log d + \beta_2 d^2$	Brenac
$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 h$	Spurr
$v = \beta_0 + \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 h$	Stoate
$v = \beta_1 d^2 + \beta_2 d^2 h + \beta_3 d h^2 + \beta_4 h^2$	Näslund
$v = \beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 d^2 + \beta_3 d h + \beta_4 d^2 h + \beta_5 h$	Meyer
$\log v = \beta_0 + \beta_1 \log d + \beta_2 \log h$	Schumacher - Hall
$\log v = \beta_0 + \beta_1 \log(d^2 h)$	Spurr
$\log v = \beta_0 + \beta_1 \log d + \beta_2 \log^2 d + \beta_3 \log h + \beta_4 \log^2 h$	Prodan (B.W.)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. AJUSTE DA EQUAÇÃO PARA ESTIMATIVA DA VARIÁVEL IDADE

Após o exame das variáveis independente e dependente, DAP e idade, respectivamente, com relação às suas distribuições (Figura 10), foi verificado que ambas atendem as suposições estatísticas para aplicação da análise de regressão simples, com exceção do teste de normalidade de Lilliefors para a variável DAP, presente na Tabela 5, que rejeitou a hipótese de sua distribuição ser normal, isto a um nível de significância igual a 5%.

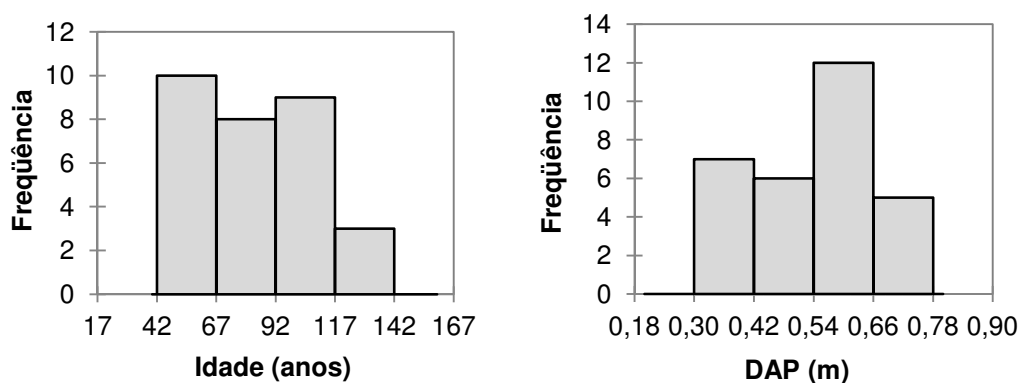


Figura 10 - histogramas das variáveis idade e DAP de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Tabela 5 - testes de normalidade para as variáveis DAP e idade de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Variável	Teste de Normalidade	Resultado	p-valor
DAP	Shapiro-Wilk	W = 0,919*	0,189
	Anderson-Darling	A ² = 0,626*	0,083
	Lilliefors	D(padronizado) = 0,885 ^{ns}	0,034
Idade	Shapiro-Wilk	W = 0,964*	0,760
	Anderson-Darling	A ² = 0,206*	0,840
	Lilliefors	D(padronizado) = 0,491*	0,744

Em que: * = Aceita Ho = a amostra segue uma distribuição normal ($\alpha=0,05$); ^{ns} = Rejeita Ho = a amostra não segue uma distribuição normal ($\alpha=0,05$).

Analisando a Figura 11 é possível perceber a existência de uma observação atípica em torno da idade de 140 anos. Esta observação foi eliminada no intuito de melhorar a correlação entre as variáveis, alterando o valor do Coeficiente de Correlação de Pearson de 0,671 para 0,761. Ademais, nota-se na mesma figura uma tendência à linearidade e homocedasticidade dos dados, o que é desejável para aplicação da análise de regressão.

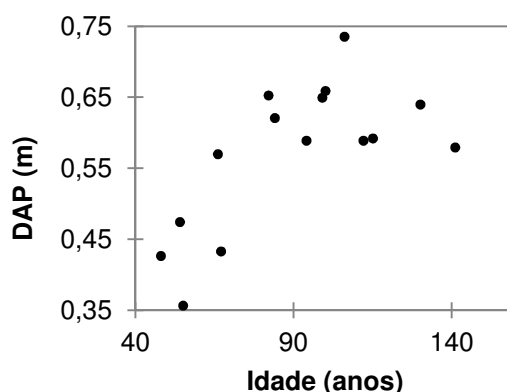


Figura 11 - gráfico de dispersão para as variáveis DAP e idade de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

De acordo com Hair et al. (2009), tratando-se de Análise de Regressão, amostras com menos que 30 observações são apropriadas para análise apenas por regressão simples, utilizando uma única variável independente, razão pela qual a técnica foi aplicada para estimativa dos 15 dados faltantes da idade em função do DAP.

Mesmo após verificar o atendimento das suposições estatísticas pelas variáveis DAP e idade, o ajuste das equações, por meio da análise de regressão simples, apresentou melhores resultados com as transformações inversa, raiz quadrada e/ou, principalmente, logarítmicas das variáveis.

Na Tabela 6 constam os resultados das estimativas dos interceptos (β_0) e coeficientes de regressão (β_i), dos valores dos coeficientes de determinação ajustados ($R^2_{ajust.}$), dos erros padrões das estimativas ($S_{yx}\%$) e valores de F, referentes às quatro melhores

equações ajustadas e selecionadas para análise gráfica dos resíduos (Figura 12).

Tabela 6 - parâmetros estatísticos dos modelos para estimativa da idade (I) em função do DAP para árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Modelo	β_0	β_1	$R^2_{ajust.}$	$S_{yx}\%$	F	
1.1	$\frac{1}{I} = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{DAP}$	0,048*	-0,046*	0,656	19,33	25,75*
1.2	$\ln I = \beta_0 + \beta_1 \ln DAP$	5,127*	1,224*	0,614	4,43	21,71*
1.3	$\ln I = \beta_0 + \beta_1 \sqrt{DAP}$	1,853*	3,410*	0,616	4,42	21,86*
1.4	$\ln I = \beta_0 + \beta_1 DAP$	3,080*	2,344*	0,613	4,43	21,58*

Em que: I = idade; DAP = diâmetro a altura do peito; β_0 = intercepto; β_1 = coeficiente de regressão; $R^2_{ajust.}$ = coeficiente de determinação ajustado; $S_{yx}\%$ = erro padrão da estimativa; e F = razão F para significância do modelo; * = significativo ($\alpha=0,05$) pelo teste t para β_0 e β_1 e pelo teste F para o modelo.

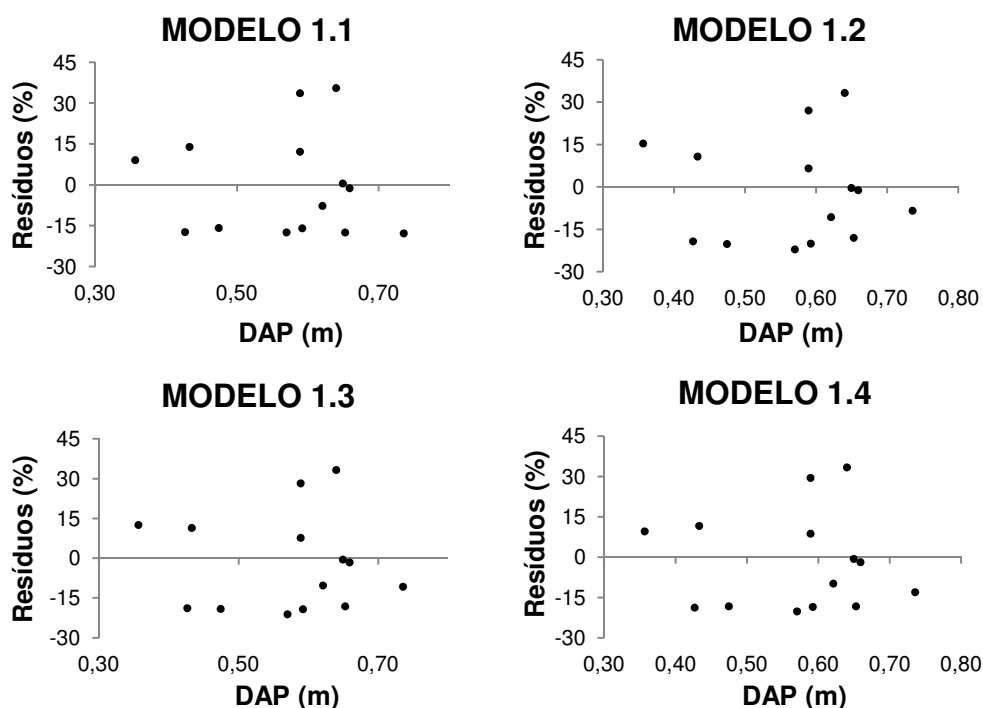


Figura 12 - gráficos de resíduos dos modelos para estimativa da idade em função do DAP para árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Os modelos 1.2, 1.3 e 1.4 apresentaram parâmetros estatísticos semelhantes, sendo selecionado para estimar a idade o modelo número 1.3, o qual apresentou um erro padrão de estimativa de 4,42%, indicando um bom ajuste para os dados. Apesar do modelo 1.1 ter apresentado maior $R^2_{ajust.}$ (0,656) em relação aos demais, ele foi descartado em razão do valor elevado do erro padrão de estimativa (19,33%).

Nota-se, também, que a distribuição dos resíduos apresentou padrão semelhante para todos os modelos, com tendência à superestimação da idade para as classes intermediárias e maiores de DAP. No entanto, verifica-se que algumas das medidas nestas mesmas classes apresentaram um valor residual subestimado maior do que aquelas que foram superestimadas.

Em trabalhos em que foram ajustadas equações a partir da relação entre as variáveis idade e DAP, utilizou-se, em geral, a variável DAP como dependente, sendo encontrados valores do $R^2_{ajust.}$ maiores que os obtidos neste estudo (FINGER et al., 1996; CANTO e SCHNEIDER, 2004; SCHNEIDER et al., 2006; SANQUETTA et al., 2010).

A heterogeneidade da floresta tropical natural, associada com a amplitude diamétrica das copaíbas observadas, abrangendo indivíduos em diferentes fases de crescimento, podem ter sido a causa dos valores do coeficiente de determinação ajustado terem sido inferiores aos de outros trabalhos publicados.

Após a definição da equação de regressão mais adequada para estimativa da idade das árvores que não tiveram esta variável mensurada, partiu-se para a próxima etapa: a redução do número de variáveis para o ajuste de equações de produtividade de óleo-resina de copaíba.

4.2. PRODUTIVIDADE DE ÓLEO-RESINA DE COPAÍBA

Dentre as 30 árvores de copaíba selecionadas para a extração do óleo-resina, apenas 9 (30,0%) se mostraram produtivas. Na Figura 13,

pode-se observar a distribuição das árvores de copaíba que se apresentaram como produtivas de acordo com a classe de DAP. Vale ressaltar ainda, que das 30 árvores perfuradas, 5 se apresentaram ocas, estando estas distribuídas entre todas as classes de DAP. Percebe-se que houve um aumento na proporção de indivíduos produtivos de óleo-resina na classe de 0,54 a 0,66 m de DAP em relação às outras, tendo esta proporção sido reduzida na classe de diâmetro seguinte.

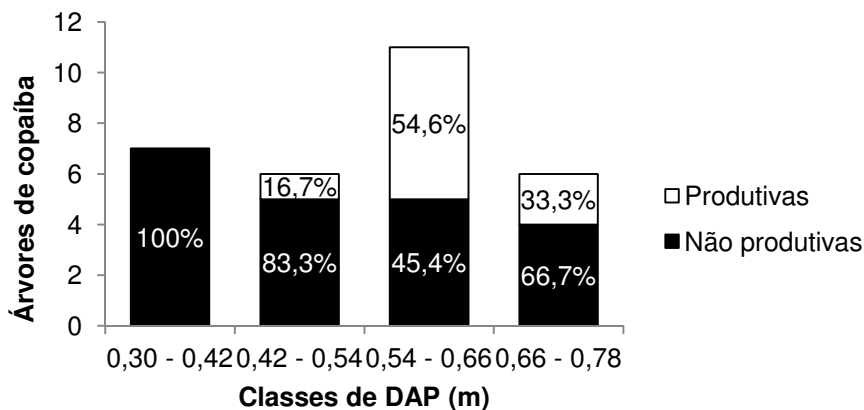


Figura 13 - distribuição das árvores de *Copaifera* sp. produtivas e não produtivas de acordo com a classe de DAP em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

A distribuição de árvores produtivas em relação ao DAP se assemelha aos resultados obtidos em outros estudos, que verificaram que indivíduos com menores diâmetros em determinadas populações eram pouco ou não produtivos. Enquanto que classes intermediárias apresentaram maiores valores para produtividade de óleo-resina, voltando a condição de pouca ou nenhuma produção para as classes de maior diâmetro (ALENCAR, 1982; PLOWDEN, 2001; PLOWDEM 2003; RIGAMONTE-AZEVEDO et al., 2006; BARBOSA et al., 2009; SOUZA, 2010).

Semelhante relação também foi verificada por Baima et al. (1999), ao observarem em campo que copaíbas com DAP inferiores a 60 cm não exsudaram óleo-resina, enquanto aquelas com DAP entre 60 e 93 cm exsudaram o produto proporcionalmente ao aumento do diâmetro, porém não mencionaram se houve um decréscimo da produtividade ao atingir diâmetros maiores.

Para Plowden (2001; 2003) ficou claro que árvores de *Copaifera* sp. muito jovens, muito velhas, ou ocas, não produzem ou produzem pouca quantidade de óleo-resina em seus troncos, sendo a idade e um tamanho mínimo de DAP condições prévias para a seleção de árvores para extração. O autor ainda indica que pode haver um conjunto de circunstâncias em algumas árvores de copaíba que induzem a produção de óleo-resina acima de valores médios nos tecidos vivos durante a meia-idade, e um conjunto diferente de circunstâncias que levam à criação de cavidades cheias de óleo-resina no cerne em idades avançadas.

Conforme relatado por Alencar (1982) e Plowden (2001), o óleo-resina produzido serviria como uma segunda linha de defesa da árvore contra o ataque de microrganismos, sendo exudado por fendas na madeira em deterioração.

Nas Figuras 14 e 15, observa-se a distribuição dos indivíduos produtivos e improdutivos de acordo com as classes de idade e de incremento médio anual (IMA) do DAP, respectivamente. O IMA do DAP de cada indivíduo foi utilizado por permitir avaliar a condição de produtivo ou não produtivo em relação a fase de senescência ou de crescimento em condições desfavoráveis, fatores que levariam a valores baixos de incremento.

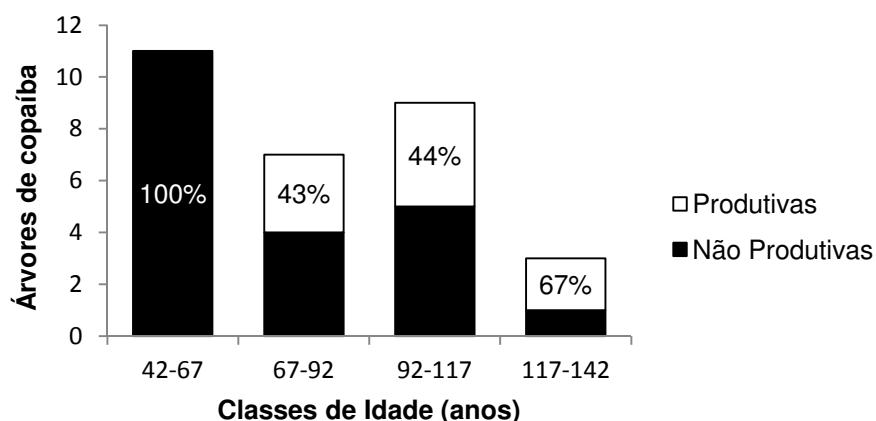


Figura 14 - distribuição das árvores de *Copaifera* sp. produtivas e não produtivas de acordo com a classe de idade em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

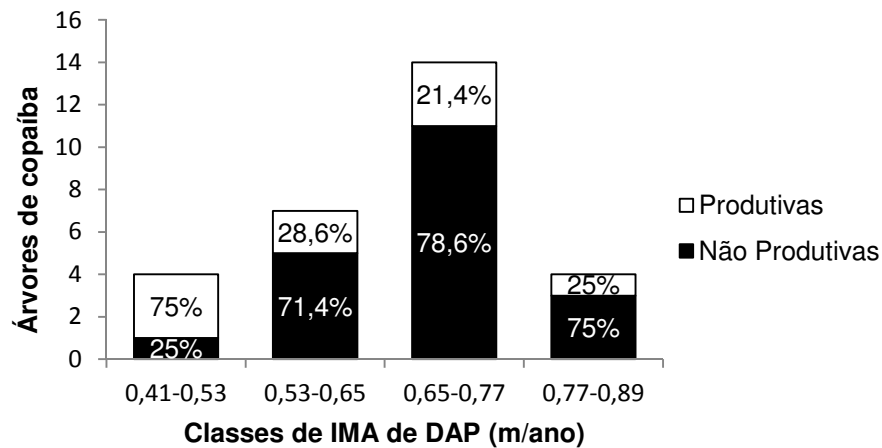


Figura 15 - distribuição das árvores de *Copaifera* sp. produtivas e não produtivas de acordo com a classe de incremento médio anual de DAP em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Conforme pode ser observado na Figura 14 houve um aumento na proporção de indivíduos produtivos de acordo com as classes de idade. O aumento da proporção de indivíduos produtivos de acordo com o aumento de idade pode ser devido ao acúmulo de óleo-resina no cerne das árvores durante décadas (PLOWDEN, 2003). No entanto, de acordo com o mesmo autor, eventualmente a capacidade de estoque do óleo-resina pode ser diminuída com a senescência do indivíduo, tornando-se, conseqüentemente, oco.

Enquanto a quantidade de indivíduos produtivos aumenta conforme o aumento da idade, o inverso é percebido com relação ao incremento médio anual do DAP. Na Figura 15, nota-se que a medida que o IMA do DAP diminuiu, a proporção de indivíduos produtivos aumentou, isto pode estar relacionado com o crescimento em condições desfavoráveis (déficit hídrico, elementos tóxicos no solo, ataque de pragas ou doenças, etc.), bem como com a fase de senescência do indivíduo.

Embora os resultados apresentados sugerem que a produção do óleo-resina esteja relacionada com o aumento da idade do indivíduo, além da presença de algum fator que reduza o seu crescimento (senescência ou condição adversa), estudos mais aprofundados precisam ser realizados para testar e confirmar esta hipótese.

Com relação a produtividade de óleo-resina para a população de *Copaifera* sp. amostrada neste estudo, na Tabela 7, Figuras 16 e 17, podem ser observadas as informações referentes a estatística descritiva dos valores quantificados em litros. Ressalta-se que todas as extrações foram realizadas durante o período de seca da região, com apenas uma perfuração no tronco das árvores, com escoamento durante um período de 24 horas, e vedação com galhos encontrados no entorno de cada árvore, sendo previamente descascados.

Tabela 7 - estatística descritiva referente à produtividade de óleo-resina de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Estatística	Produtividade de óleo-resina (L.árvore⁻¹) em 24 h
N.º de observações	30
Mínimo	0,000
Máximo	2,352
1º Quartil	0,000
Mediana	0,000
3º Quartil	0,029
Média	0,124
Variância (n-1)	0,190
Desvio-padrão (n-1)	0,436
Coeficiente de variação (%)	349,9
Assimetria (Pearson)	4,699
Curtose (Pearson)	21,430

Observa-se a partir dos resultados da estatística descritiva que a variável produtividade de óleo-resina tem grande variação (CV=349,9%) e distribuição fora da normalidade, apresentando-se, de acordo com os valores de curtose e assimetria, como leptocúrtica e positiva, ou seja, sua distribuição se dá de forma pontiaguda e deslocada à esquerda.

O perfil da distribuição dos dados de produtividade de óleo-resina indicado nos valores obtidos a partir da estatística descritiva pode

ser visualizado no histograma da Figura 16. Na Figura 17 é possível verificar de forma mais clara a distribuição fora da normalidade para a variável produtividade de óleo-resina de *Copaifera* sp.

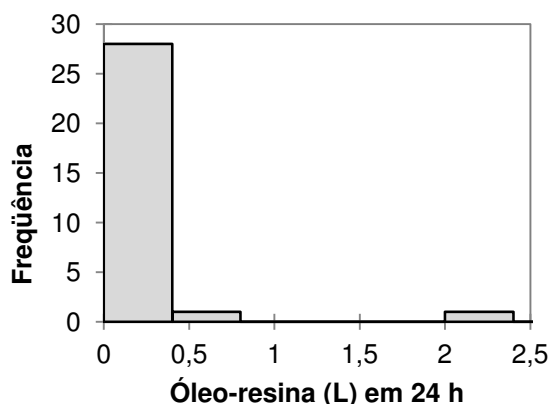


Figura 16 - histograma da variável produtividade de óleo-resina de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

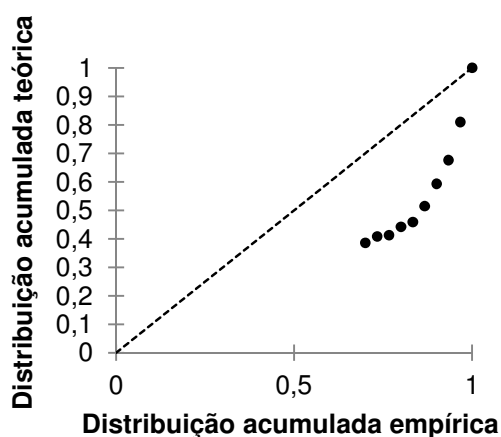


Figura 17 - gráfico de probabilidade normal da variável produtividade de óleo-resina de árvores de *Copaifera* sp. em 24 h em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Ademais, os resultados dos testes de normalidade (Shapiro-Wilk, Anderson-Darling e Lilliefors) comprovaram a rejeição da hipótese de distribuição normal a um nível de significância de 10%. Este padrão de distribuição pode ser atribuído principalmente à quantidade de árvores não produtivas observadas na área em estudo.

Na Tabela 8 constam relacionados os valores de produtividade média de óleo-resina obtidos por outros pesquisadores, além da região do

estudo, época da extração e porcentagem de árvores produtivas. Com relação à produtividade média de óleo-resina de copaíba ($0,124 \text{ L.árvore}^{-1}$ em 24 h) na área do estudo, verifica-se que ela está dentro do intervalo das encontradas em outras pesquisas realizadas em Floresta Amazônica (ALENCAR, 1982; FERREIRA e BRAZ, 2001; PLOWDEN, 2001; PLOWDEN, 2003; RIGAMONTE-AZEVEDO et al., 2006; WADT et al., 2007; BARBOSA et al., 2009).

Tabela 08 - valores de produtividade média de óleo-resina de árvores de *Copaifera* sp. para a região da Floresta Amazônica em uma única extração

Autor(es)	Época	Árvores produtivas(%)	Produtividade média(L.árvore ⁻¹)	Tempo de extração(dia)
Alencar (1982)	Chuva	34,1	0,16 a 0,235 (dependendo da textura do solo)	Não informado
Ferreira e Braz (2001)	Chuva	40,9	0,57	7 a 10
	Seca	72,0	1,7	7 a 10
Plowden (2001; 2003)	Seca	26,5	0,034	Não informado
	chuva	25,0	0,123	Não informado
Rigamonte-Azevedo et al. (2006)	Chuva	32,2	0,94	1
Wadt et al. (2007)	Seca e chuva	-	0,192	Não informado
Barbosa et al. (2009)	Seca	5,8 (apenas uma árvore entre 17 produziu)	0,031	1
	Chuva	43,7	0,326	1
Roquette	Seca	30,0	0,124	1

Apesar da produtividade média de óleo-resina de copaíba verificada neste estudo não ser muito diferente das encontradas em outras pesquisas, o valor apontado para a região de contato Floresta Amazônica e Cerrado é inferior ao relatado por Rigamonte-Azevedo et al.

(2004) como o esperado para produtividade média em geral, que seria na ordem de 0,3 a 3 L.árvore⁻¹.

Quanto ao método de extração, o uso do trado para perfuração garantiu à maioria dos indivíduos a regeneração de tecidos do local afetado. Aproximadamente após um período de um ano os orifícios realizados para extração do óleo-resina se apresentavam cicatrizados, alguns com a presença do óleo-resina em seu entorno (Figura 18). Tal fato, aparentemente, denota que seja utilizado pelas árvores para auxiliar na cicatrização, podendo prevenir, ainda, o ataque por organismos patogênicos.

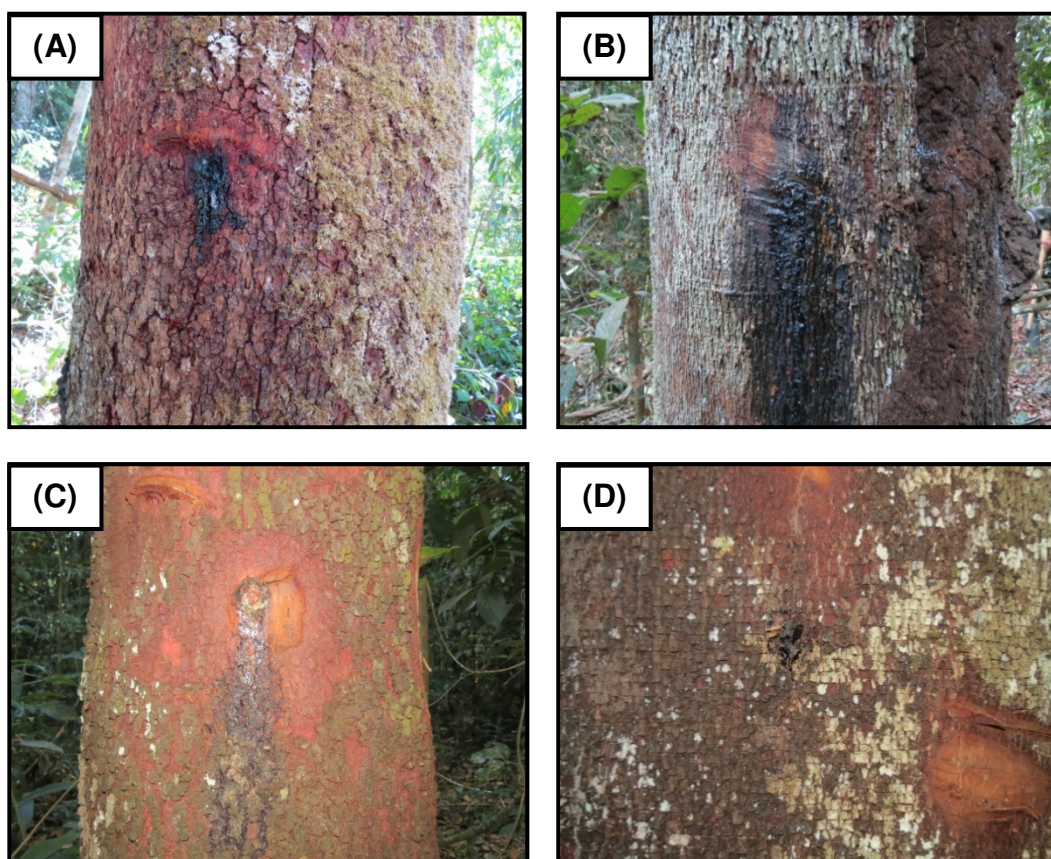


Figura 18 - cicatrização do tronco de árvores de *Copaifera* sp. com presença de óleo-resina após, aproximadamente, um ano da abertura do orifício e extração (A, B, C e D). Fonte: Roquette, J. G.

Apesar da maioria dos indivíduos terem o orifício de extração recuperado, outros não foram bem sucedidos no processo de regeneração, sendo verificada a ocorrência de fendas no local perfurado.

Ademais, foi observado também indivíduos cuja cicatrização não continha vestígios de óleo-resina e outros em que o óleo-resina havia cristalizado (Figura 19).

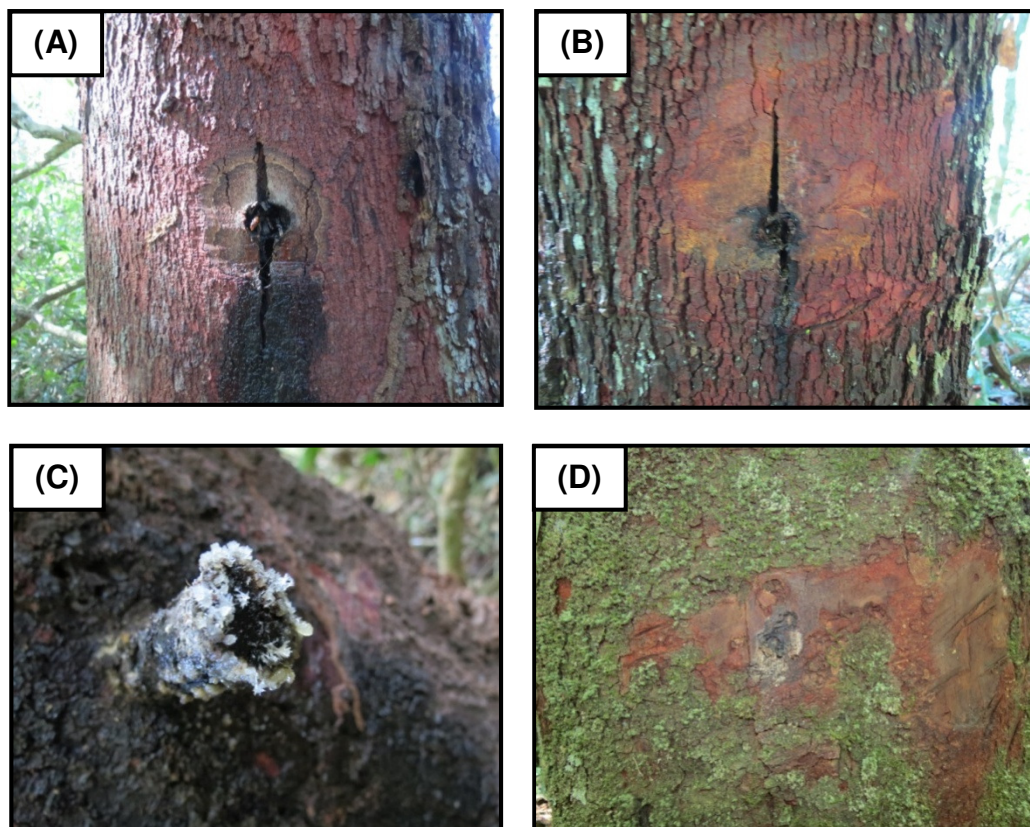


Figura 19 - fendilhamento ocorrido nos locais de extração do óleo-resina vedados com talo de madeira (**A** e **B**); presença de óleo-resina cristalizado em talo utilizado para vedação do orifício de extração (**C**); e cicatrização do orifício de extração sem a presença de óleo-resina (**D**). Fonte: Roquette, J. G.

A presença do óleo-resina nos orifícios realizados para extração do mesmo corrobora com a hipótese de Alencar (1982) e Plowden (2001), de que sua função seria a de defesa das árvores de copaíba contra ataque de animais, fungos e bactérias, sendo exudado aos locais que sofreram algum tipo de ataque. No entanto, a forma de atuação e razão da produção do óleo-resina ainda carecem de estudos para serem melhor compreendidas.

4.3. REDUÇÃO DO NÚMERO DE VARIÁVEIS DE ACORDO COM A PRODUTIVIDADE DE ÓLEO-RESINA

Na Tabela 9 é apresentada a matriz de correlação de Pearson utilizada para aplicação da análise de componentes principais. Nota-se que dentre as variáveis estudadas a Altura do Fuste (Hf) foi a única que apresentou correlação acima de 0,5 com a variável produtividade de óleo-resina.

Após a análise de componentes principais preliminar (não rotacionada), foram extraídos 8 fatores com autovalor acima de 1 (Tabela 10). Esta quantidade de fatores extraídos denota a grande variação inerente aos dados, além da pouca relação entre muitas das variáveis utilizadas. Isto pode ser atribuído a natureza das medidas, divididas em dois grupos distintos, as relacionadas ao porte das árvores e as relacionadas as características do solo.

Tabela 10 - autovalores, variabilidade(%) e % acumulada dos fatores extraídos pela análise de componentes principais preliminar

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Autovalor	10,54	5,01	3,60	2,01	1,77	1,30	1,23	1,07
Variabilidade(%)	36,33	17,29	12,40	6,95	6,11	4,50	4,23	3,67
% acumulada	36,33	53,62	66,02	72,97	79,08	83,58	87,81	91,49

Além do critério da raiz latente, utilizado neste estudo, o número de fatores a serem extraídos poderia considerar a porcentagem de variância acumulada. Neste caso, o número de fatores ultrapassaria 8, pois deveriam explicar pelo menos 95% da variância do conjunto de dados (HAIR et al., 2009). No entanto, como o objetivo da análise consistiu somente na redução do número de variáveis, conforme o relacionamento com a produtividade de óleo-resina, apenas os fatores extraídos pelo critério da raiz latente foram suficientes para prosseguir com o processamento dos dados.

Tabela 9 - Matriz de Correlação de Pearson (n) para as variáveis relacionadas às árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Variáveis	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	V17	V18	V19	V20	V21	V22	V23	V24	V25	V26	V27	V28	V29	
V1 DAP	1																													
V2 Ht	0,627	1																												
V3 Hf	0,142	0,358	1																											
V4 Hc	0,571	0,832	-0,220	1																										
V5 Dc	0,566	0,414	0,148	0,344	1																									
V6 Idade	0,856	0,465	0,012	0,478	0,467	1																								
V7 IMA	-0,365	-0,146	0,142	-0,237	-0,196	-0,770	1																							
V8 pH	0,241	0,133	0,019	0,128	0,381	0,232	-0,087	1																						
V9 P	-0,110	-0,048	-0,025	-0,035	-0,079	-0,077	0,009	-0,060	1																					
V10 K	-0,145	-0,137	-0,198	-0,025	0,150	-0,048	-0,220	-0,139	-0,220	1																				
V11 Ca	0,010	0,004	-0,054	0,037	0,184	0,075	-0,124	0,538	-0,067	0,003	1																			
V12 Mg	0,259	0,216	0,160	0,131	0,267	0,222	-0,081	0,531	0,052	-0,190	0,769	1																		
V13 Al	-0,143	-0,085	0,144	-0,174	-0,204	-0,186	0,205	-0,754	0,071	-0,091	-0,674	-0,631	1																	
V14 H	-0,083	-0,069	0,254	-0,223	0,104	-0,038	0,001	-0,161	-0,193	-0,174	0,486	0,407	0,140	1																
V15 M.O.	-0,025	-0,025	0,339	-0,227	0,127	-0,005	0,024	-0,170	-0,090	-0,258	0,395	0,363	0,271	0,965	1															
V16 Areia	-0,235	-0,108	-0,096	-0,056	-0,359	-0,198	0,001	-0,457	0,029	0,449	-0,472	-0,472	0,122	-0,481	-0,530	1														
V17 Silte	0,259	0,149	0,109	0,091	0,362	0,220	-0,022	0,352	-0,097	-0,386	0,461	0,421	-0,019	0,578	0,634	-0,965	1													
V18 Argila	0,225	0,095	0,091	0,045	0,354	0,190	0,006	0,482	-0,009	-0,462	0,469	0,480	-0,150	0,446	0,492	-0,997	0,942	1												
V19 (S)	0,076	0,100	0,003	0,103	0,242	0,110	-0,142	0,501	-0,080	0,138	0,962	0,830	-0,700	0,447	0,352	-0,353	0,353	0,349	1											
V20 (V)	0,107	0,072	-0,175	0,179	0,152	0,147	-0,171	0,723	0,038	0,096	0,805	0,724	-0,919	-0,071	-0,174	-0,192	0,103	0,215	0,824	1										
V21 Ca/Mg	-0,296	-0,101	-0,222	0,026	-0,139	-0,192	-0,001	0,253	-0,132	0,161	0,557	0,017	-0,319	0,116	0,043	-0,182	0,201	0,174	0,454	0,393	1									
V22 Ca/K	0,164	0,141	0,033	0,128	0,106	0,139	0,011	0,571	0,012	-0,529	0,825	0,772	-0,587	0,433	0,388	-0,645	0,588	0,654	0,736	0,666	0,360	1								
V23 Mg/K	0,258	0,167	0,098	0,116	0,103	0,189	0,042	0,491	0,056	-0,687	0,643	0,766	-0,479	0,403	0,385	-0,612	0,544	0,624	0,566	0,530	0,036	0,937	1							
V24 Sat. Ca	0,082	0,053	-0,188	0,167	0,166	0,114	-0,139	0,709	0,004	0,097	0,868	0,700	-0,890	0,032	-0,072	-0,275	0,212	0,290	0,861	0,972	0,504	0,714	0,539	1						
V25 Sat. Mg	0,208	0,057	-0,146	0,146	0,196	0,195	-0,134	0,670	0,039	0,026	0,683	0,756	-0,885	-0,084	-0,179	-0,144	0,053	0,168	0,722	0,924	0,065	0,614	0,590	0,884	1					
V26 Sat. K	-0,177	-0,178	-0,292	-0,013	-0,023	-0,136	-0,079	-0,013	-0,080	0,823	-0,240	-0,349	-0,182	-0,646	-0,715	0,643	-0,660	-0,630	-0,115	0,139	0,112	-0,607	-0,721	0,074	0,072	1				
V27 Sat.H	0,062	-0,004	0,162	-0,100	0,241	0,145	-0,196	0,430	-0,217	-0,174	0,770	0,720	-0,592	0,670	0,559	-0,495	0,487	0,491	0,740	0,524	0,208	0,737	0,686	0,571	0,529	-0,451	1			
V28 Sat. Al	-0,138	-0,095	0,092	-0,154	-0,242	-0,186	0,204	-0,714	0,063	-0,018	-0,901	-0,826	0,908	-0,197	-0,085	0,369	-0,304	-0,383	-0,910	-0,946	-0,399	-0,783	-0,650	-0,949	-0,876	0,065	-0,755	1		
V29 Oleo-resina	0,101	0,212	0,533	-0,096	0,033	0,115	-0,128	0,026	0,123	-0,089	-0,073	0,061	-0,023	0,110	0,128	-0,022	0,081	0,004	-0,007	-0,102	-0,095	-0,009	0,018	-0,107	-0,101	-0,098	0,175	0,022	1	

Após a rotação ortogonal dos fatores extraídos, a interpretação da matriz fatorial (Tabela 11) permitiu agrupar as variáveis e identificar aquelas mais correlacionadas com cada fator (Tabela 12).

Tabela 11 - matriz fatorial após rotação varimax dos fatores extraídos pela ACP preliminar e seleção das cargas fatoriais significativas das variáveis relacionadas às árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
DAP	0,093	-0,065	0,441	0,092	0,064	0,249	0,646	-0,402
Ht	0,048	0,005	0,044	0,026	0,279	0,048	0,940	-0,035
Hf	-0,067	0,230	-0,202	0,041	0,822	0,068	0,114	-0,228
Hc	0,090	-0,131	0,166	0,003	-0,197	0,010	0,914	0,099
Dc	0,168	-0,074	0,234	0,518	0,149	0,427	0,331	-0,273
Idade	0,108	-0,016	0,799	0,031	0,020	0,182	0,449	-0,247
IMA	-0,112	-0,031	-0,945	-0,025	-0,003	0,069	-0,077	-0,064
pH	0,706	-0,379	0,010	0,057	0,107	0,470	0,044	-0,033
P	-0,013	-0,220	0,104	-0,623	0,138	-0,034	-0,116	0,022
K	0,030	-0,186	0,209	0,743	-0,024	-0,443	-0,158	0,248
Ca	0,836	0,363	0,032	0,059	-0,053	0,222	-0,025	0,289
Mg	0,810	0,332	0,015	-0,066	0,099	0,201	0,122	-0,216
Al	-0,930	0,229	-0,093	-0,042	-0,018	0,014	-0,039	-0,036
H	0,080	0,929	0,000	0,099	0,099	0,269	-0,127	0,059
M.O.	-0,033	0,893	0,001	0,034	0,151	0,356	-0,098	0,015
Areia	-0,209	-0,242	-0,027	0,058	-0,007	-0,928	-0,039	-0,045
Silte	0,128	0,357	0,062	0,011	0,034	0,887	0,091	0,107
Argila	0,230	0,205	0,016	-0,078	-0,001	0,927	0,024	0,026
(S)	0,865	0,352	0,048	0,162	0,028	0,082	0,050	0,214
(V)	0,967	-0,151	0,057	-0,006	-0,079	0,010	0,048	0,120
Ca/Mg	0,302	0,015	-0,083	0,081	-0,098	0,128	-0,035	0,886
Ca/K	0,725	0,341	-0,085	-0,330	-0,048	0,432	0,138	0,075
Mg/K	0,624	0,355	-0,091	-0,443	-0,040	0,417	0,158	-0,226
Sat.Ca	0,947	-0,076	0,035	0,028	-0,094	0,090	0,040	0,225
Sat.Mg	0,943	-0,131	0,055	-0,031	-0,098	-0,031	0,030	-0,214
Sat. K	0,022	-0,629	0,070	0,485	-0,050	-0,527	-0,155	0,179
Sat.H	0,672	0,546	0,115	0,056	0,156	0,259	-0,114	-0,035
Sat.Al	-0,969	-0,085	-0,091	-0,043	0,017	-0,145	-0,042	-0,108
Óleo-resina	-0,030	0,030	0,181	-0,154	0,877	-0,007	0,001	0,072

Em que: DAP = diâmetro a altura do peito; Ht = altura total; Hf = altura do fuste; Dc = média dos diâmetros da copa; IMA = incremento médio anual do DAP; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H = hidrogênio; M.O. = matéria orgânica; S = soma de bases; V = saturação de bases; Ca/Mg = relação Ca^{2+}/Mg^{2+} ; Ca/K = relação Ca^{2+}/K^{+} ; Mg/K = relação Mg^{2+}/K^{+} ; Sat.Ca = saturação por Ca^{2+} ; Sat.Mg = saturação por Mg^{2+} ; Sat.K = saturação por K^{+} ; Sat.H = saturação por H^{+} ; e Sat.Al = saturação por Al^{3+} .

Tabela 12 - cargas fatoriais significantes após rotação varimax e agrupamento das variáveis nos fatores extraídos da ACP preliminar das variáveis relacionadas às árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
pH	0,706							
Ca	0,836							
Mg	0,810							
Al	-0,930							
(S)	0,865							
(V)	0,967							
Ca/K	0,725							
Mg/K	0,624							
Sat.Ca	0,947							
Sat.Mg	0,943							
Sat.H	0,672	0,546						
Sat.Al	-0,969							
H		0,929						
M.O.		0,893						
Sat.K		-0,629				-0,527		
Idade			0,799					
IMA			-0,945					
Dc				0,518				
P				-0,623				
K				0,743				
Hf					0,822			
Óleo-resina					0,877			
Areia						-0,928		
Silte						0,887		
Argila						0,927		
DAP							0,646	
Ht							0,940	
Hc							0,914	
Ca/Mg								0,886

Em que: DAP = diâmetro a altura do peito; Ht = altura total; Hf = altura do fuste; Dc = média dos diâmetros da copa; IMA = incremento médio anual do DAP; P = fósforo; K = potássio; Ca = cálcio; Mg = magnésio; Al = alumínio; H = hidrogênio; M.O. = matéria orgânica; S = soma de bases; V = saturação de bases; Ca/Mg = relação Ca^{2+}/Mg^{2+} ; Ca/K = relação Ca^{2+}/K^{+} ; Mg/K = relação Mg^{2+}/K^{+} ; Sat.Ca = saturação por Ca^{2+} ; Sat.Mg = saturação por Mg^{2+} ; Sat.K = saturação por K^{+} ; Sat.H = saturação por H^{+} ; e Sat.Al = saturação por Al^{3+} .

Dentre o conjunto de variáveis utilizadas neste estudo, a variável altura do fuste (Hf) foi a única correlacionada significativamente com o fator em que a variável de produtividade de óleo-resina também apresentou correlação significativa. Sendo assim, a altura do fuste foi a

única variável selecionada para o ajuste de equações de estimativa da produtividade de óleo-resina pelo método *stepwise*.

Pondera-se que além da variável estatística da análise de componentes principais (fatores) indicar o relacionamento da produtividade de óleo-resina de copaíba somente com a altura do fuste, a matriz de correlação entre as variáveis apresentou, também, correlação acima de 0,5 somente com a mesma variável (ver Tabela 9). No diagrama fatorial da análise de componentes principais (Figura 20), nota-se que as características dendrométricas, edáficas e etática formaram distintos fatores.

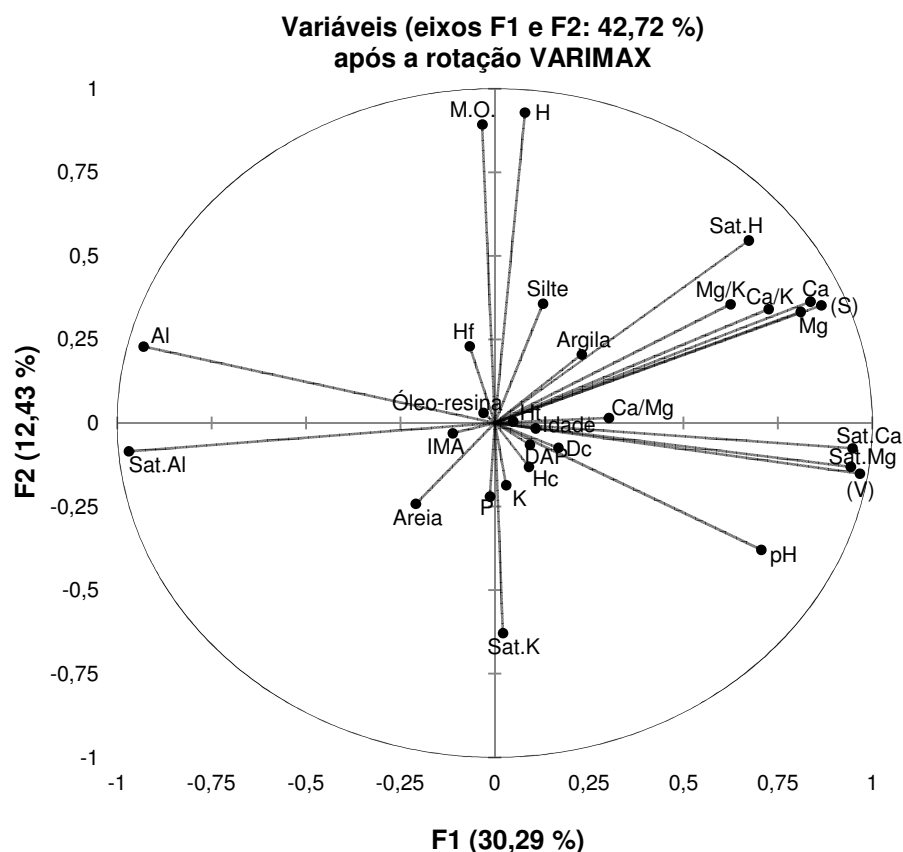


Figura 20 - diagrama fatorial da análise de componentes principais após rotação dos fatores pelo método VARIMAX

Considerando que o óleo-resina de copaíba é produzido no interior do tronco das árvores, o resultado obtido com a análise de componentes principais, indicando o relacionamento da produtividade com a altura do fuste, pode estar associado a maior quantidade de óleo-

resina acumulado em razão da existência de maior número de células responsáveis pela síntese do composto. No entanto, estudos relacionados a histologia do tronco devem ser realizados de modo que sejam avaliadas a quantidade e disposição destas células e dos canais secretores ao longo do fuste, assim como se estas variáveis tem relação direta com a produtividade de óleo-resina.

Resultados obtidos por Medeiros e Vieira (2008), em estudo realizado na Reserva Florestal Adolpho Ducke, no município de Manaus-AM, Brasil, sugeriram que a intensidade de competição entre as copaíbas e árvores em seu entorno influenciam positivamente a produtividade de óleo-resina.

A relação encontrada entre a produtividade de óleo-resina com a altura do fuste, bem como com a intensidade de competição (MEDEIROS e VIEIRA, 2008), indicam que a indução desta última sob as árvores de copaíba, favorecendo o crescimento em altura para interceptação da energia luminosa, pode servir como estratégia para o aumento da produção deste produto não madeireiro. Contudo, é importante salientar que dificilmente a indução da competição trará respostas em curto prazo para o aumento da produtividade de óleo-resina em copaíbas que ocupam o dossel, devendo a técnica ser aplicada visando um aumento futuro da produtividade da população manejada, com o planejamento da competição orientado para aquelas árvores nas classes inferiores de DAP.

Como técnicas silviculturais para induzir a competição, árvores adultas no entorno de copaíbas jovens poderiam ser removidas para criar clareiras sobre suas copas, elevando a interceptação de energia solar por suas folhas, ou ainda, eliminar as árvores que estão competindo com as árvores no entorno das copaíbas, de modo que o crescimento em altura das copaíbas aumente devido à intensificação da competição. No entanto, estas hipóteses relacionadas às estratégias de competição para estimular o aumento da produtividade de óleo-resina devem ser melhor investigadas por meio de pesquisa experimental, considerando que, de acordo com Castro e Garcia (1996), os efeitos da competição sobre o

desenvolvimento e produção de plantas é muito variável, sendo inclusive dependentes do estágio de desenvolvimento em que se encontram.

4.4. AJUSTE DE EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DE ÓLEO-RESINA

Considerando que as copaíbas amostradas presentes na menor classe de DAP [0,30 - 0,42 m] e de idade [42 - 67 anos] não foram produtivas. Assim como em outros trabalhos realizados foi observado que árvores com DAP inferior a 0,4 m não produzem ou produzem pouco óleo-resina (ALENCAR, 1982; PLOWDEN, 2001; PLOWDEM 2003; RIGAMONTE-AZEVEDO et al., 2006; MEDEIROS e VIEIRA, 2008; BARBOSA et al., 2009; SOUZA, 2010), dessa forma, optou-se por excluir os dados das copaíbas inclusas nestas duas classes, de modo que não prejudiquem o ajuste das equações para estimativa da produtividade de óleo-resina. A estatística descritiva referente a este novo conjunto de dados é apresentada na Tabela 13.

Tabela 13 - estatística descritiva referente à produtividade de óleo-resina de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil, após a exclusão das observações inclusas na menor classe de DAP e de idade

Estatística	Produtividade de óleo-resina (L.árvore⁻¹) em 24 h (continua)
N.º de observações	19
Mínimo	0,000
Máximo	2,352
1º Quartil	0,000
Mediana	0,000
3º Quartil	0,110
Média	0,197
Variância (n-1)	0,291
Desvio-padrão (n-1)	0,539
Coeficiente de variação (%)	274,3
Assimetria (Pearson)	3,625
Curtose (Pearson)	11,998

Nota-se que, após a exclusão das observações presentes na menor classe de DAP e de idade, ocorreu um aumento no valor da média de produtividade de óleo-resina de 0,124 L.árvore⁻¹ para 0,197 L.árvore⁻¹ em 24 h, além da redução do coeficiente de variação de 349,9% para 274,3%.

Apesar da elevação da média e redução da variação da produtividade média de óleo-resina entre as copaíbas, os testes de normalidade realizados ainda continuaram a indicar que os dados não possuem distribuição normal. De modo contrário, com relação a altura do fuste, todos os testes de normalidade indicaram distribuição normal dos dados (Tabela 14).

Tabela 14 - testes de normalidade para as variáveis produtividade de óleo-resina (óleo-resina) e altura do fuste (Hf) de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Variável	Teste de Normalidade	Resultado	p-valor
Óleo-resina	Shapiro-Wilk	W = 0,409 ^{ns}	<0,0001
	Anderson-Darling	A ² = 4,435 ^{ns}	<0,0001
	Lilliefors	D(padronizado) = 1,559 ^{ns}	<0,0001
Hf	Shapiro-Wilk	W = 0,918 [*]	0,106
	Anderson-Darling	A ² = 0,686 [*]	0,840
	Lilliefors	D(padronizado) = 0,788 [*]	0,104

Em que: * = Aceita Ho = a amostra segue uma distribuição normal ($\alpha=0,05$); ^{ns} = Rejeita Ho = a amostra não segue uma distribuição normal ($\alpha=0,05$).

O comportamento dos dados de produtividade de óleo-resina e altura do fuste pode ser melhor visualizado nas Figuras 21 e 22, em que constam os histogramas e os gráficos de probabilidade normal das variáveis. A ausência de normalidade dos dados de produtividade de óleo-resina é atribuída, principalmente, às árvores não produtivas, impondo a necessidade de transformação dos mesmos antes da aplicação da análise de regressão.

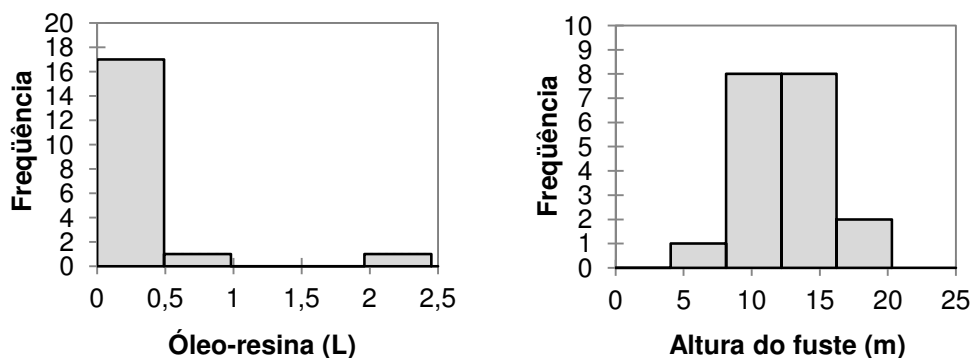


Figura 21 - histogramas das variáveis produtividade de óleo-resina e altura do fuste (H_f) de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

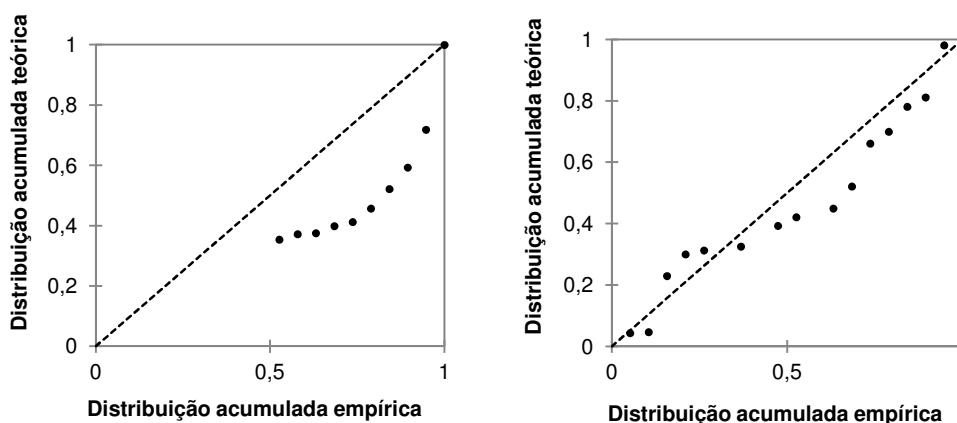


Figura 22 - gráficos de probabilidade normal das variáveis produtividade de óleo-resina e altura do fuste (H_f) de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Além da normalidade, foram verificadas visualmente, por meio do gráfico de dispersão (Figura 23), as suposições estatísticas de homocedasticidade e linearidade entre as variáveis.

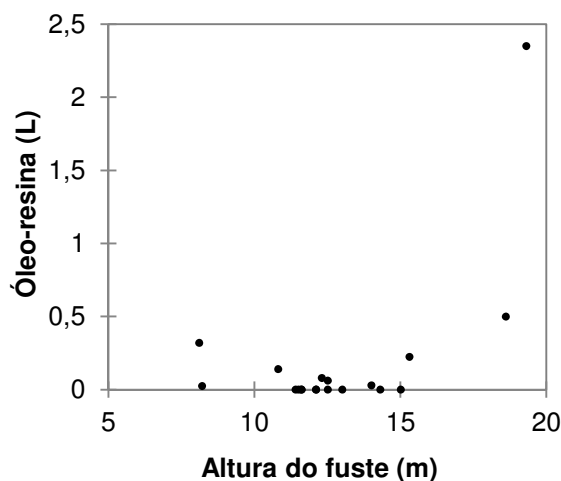


Figura 23 - gráfico de dispersão para as variáveis produtividade de óleo-resina e altura do fuste (H_f) de árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

O comportamento dos dados em relação a homocedasticidade e linearidade também corroboram com a necessidade de transformação das variáveis, principalmente a de produtividade de óleo-resina de copaíba.

Nas Tabelas 15 e 16 constam, respectivamente, os modelos selecionados para a análise gráfica dos resíduos (Figura 24) e os parâmetros estatísticos de seus ajustes.

Tabela 15 - modelos selecionados para estimativa da produtividade de óleo-resina em função da altura do fuste para *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Modelos	
2.1	$\frac{1}{(0,1 + y^2)} = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{H_f} + \beta_2 (H_f * H_f^2 * H_f^3 * \sqrt{H_f})$
2.2	$\frac{1}{(0,1 + y^3)} = \beta_0 + \beta_1 H_f + \beta_2 H_f^2 + \beta_3 H_f^3$
2.3	$\frac{1}{(0,1 + y^2)} = \beta_0 + \beta_1 H_f^2 + \beta_2 H_f^3$
2.4	$\frac{1}{(0,1 + y^3)} = \beta_0 + \beta_1 (H_f * H_f^2) + \beta_2 (H_f * H_f^2 * H_f^3 * \sqrt{H_f})$

Em que: y = produtividade de óleo-resina (L); e H_f = altura do fuste (m).

Tabela 16 - parâmetros estatísticos dos modelos selecionados para estimativa da produtividade de óleo-resina em função da altura do fuste para árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	$R^2_{ajust.}$	$S_{yx}\%$	F
2.1	16,375*	-0,047*	-9,378*	-	0,846	13,11	50,41*
2.2	26,925*	-5,725*	0,578*	0,018*	0,943	6,78	99,82*
2.3	1,201 ^{ns}	0,163*	-0,009*	-	0,849	12,97	51,68*
2.4	8,064*	0,002*	-8,3 ⁽⁻⁸⁾ *	-	0,953	6,12	184,96*

Em que: β_0 = intercepto; β_i = coeficientes de regressão; $R^2_{ajust.}$ = coeficiente de determinação ajustado; $S_{yx}\%$ = erro padrão da estimativa; e F = razão F para significância do modelo.

* Significativo ($\alpha=0,05$) pelo teste t para β_0 , β_1 , β_2 e β_3 e pelo teste F para o modelo.

^{ns} Não significativo ($\alpha=0,05$) pelo teste t para β_0 , β_1 , β_2 e β_3 e pelo teste F para o modelo.

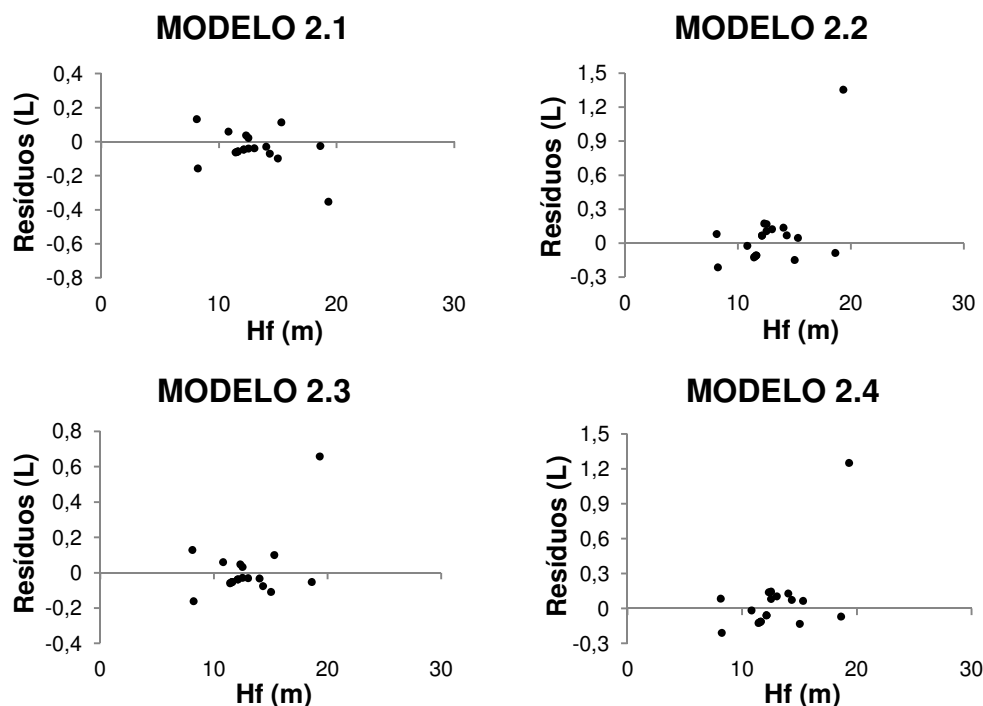


Figura 24 - gráficos de resíduos dos modelos de estimativa da produtividade de óleo-resina em função da altura do fuste (Hf) para árvores de *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

A análise de regressão pelo método *stepwise* produziu resultados satisfatórios para os ajustes de equações após as transformações das variáveis (ver Tabela 16), tendo aproximadamente

80% da variação da produtividade de óleo-resina explicada pela variação da altura do fuste, considerando o maior R^2_{ajust} observado (modelo 2.4).

O modelo 2.3 foi excluído durante a seleção do melhor modelo por apresentar valor do intercepto não significativo, a um nível de 95% de probabilidade pelo teste t.

Com exceção do modelo 2.1, os gráficos de resíduos apresentaram padrão semelhante de distribuição dos resíduos. Em todos os modelos selecionados, nota-se uma observação atípica, consistindo na árvore com maior altura do fuste (19,3 m), além de ter sido também a mais produtiva (2,35 L). Acrescenta-se ainda, que a segunda árvore com maior altura do fuste (18,6 m), também foi a segunda com maior produtividade (0,5 L), porém com valor próximo do observado para as demais copaíbas produtivas.

Apesar dos modelos 2.2 e 2.4 apresentarem melhores resultados que o modelo 2.1, com relação ao R^2_{ajust} e $S_{yx}\%$, após a análise dos gráficos de resíduos, selecionou-se este último como o melhor ajustado.

Apesar de possuir os piores parâmetros de R^2_{ajust} e $S_{yx}\%$ dentre os quatro modelos selecionados para análise, a seleção do modelo $\frac{1}{(0,1+y^2)} = \beta_0 + \beta_1 \frac{1}{Hf} + \beta_2 (Hf * Hf^2 * Hf^3 * \sqrt{Hf})$ (2.1) como o melhor ajustado ocorreu devido ao erro da estimativa da produtividade de óleo-resina da árvore com maior altura do fuste ter sido bem inferior aos erros observados nos ajustes dos modelos 2.2 e 2.4, conforme pode ser visualizado nos gráficos da Figura 24, possibilitando um menor erro caso haja outras copaíbas com produtividade semelhante na população estudada.

Com relação aos modelos de funções volumétricas obtidos na literatura, e adaptados conforme a seleção das variáveis de interesse para este estudo (Tabela 17), não foram verificados bons ajustes para a estimativa da produtividade de óleo-resina, sendo o melhor modelo ajustado o de Brenac, com $R^2_{ajust} = 0685$ e $S_{yx}\% = 26,96$, seguido pelo modelo de Hohenadl - Krenn, com $R^2_{ajust} = 0686$ e $S_{yx}\% = 153,83$. Os demais modelos ou tiveram os valores do coeficiente de determinação

ajustado menor e erro padrão de estimativa maior, ou os valores do intercepto e/ou coeficientes de regressão não significativos pelo teste t, a um nível de 95% de probabilidade.

Tabela 17 - modelos de funções volumétricas adaptados para o ajuste de equações de produtividade de óleo-resina para *Copaifera* sp. em Floresta Estacional Semidecidual na região centro norte do Estado de Mato Grosso, Brasil

Modelo	Autor (es)
$y = \beta_0 + \beta_1 Hf + \beta_2 Hf^2$	Hohenadl - Krenn
$\log y = \beta_0 + \beta_1 Hf$	Husch
$\log y = \beta_0 + \beta_1 \log Hf + \beta_2 Hf^2$	Brenac
$y = \beta_0 + \beta_1 x^2 Hf$	Spurr
$y = \beta_0 + \beta_1 x^2 + \beta_2 x^2 Hf + \beta_3 Hf$	Stoate
$y = \beta_0 + \beta_1 x^2 + \beta_2 x^2 Hf + \beta_3 x Hf^2 + \beta_4 Hf^2$	Näslund mod.
$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \beta_3 x Hf + \beta_4 x^2 Hf + \beta_5 Hf$	Meyer
$\log y = \beta_0 + \beta_1 \log x + \beta_2 \log Hf$	Schumacher - Hall
$\log y = \beta_0 + \beta_1 \log(x^2 Hf)$	Spurr
$\log y = \beta_0 + \beta_1 \log x + \beta_2 \log^2 x + \beta_3 \log Hf + \beta_4 \log^2 Hf$	Prodan (B.W.)

Em que: β_0 = intercepto; β_i = coeficiente de regressão; y = produtividade de óleo-resina (L); x = DAP (m) ou idade (anos); e Hf = altura do fuste.

Outros autores aplicaram a análise de regressão linear para estimativas de produtividade de óleo-resina em copaíbas estudadas em diferentes regiões da floresta amazônica (RIGAMONTE-AZEVEDO et al., 2006; BARBOSA et al., 2009), porém utilizando como variável explicativa o DAP.

Rigamoente-Azevedo et al. (2006) concluíram que mesmo o melhor modelo ajustado em seus estudos não poderia ser utilizado para prever a produção das copaíbas com base no DAP, tendo apresentado coeficiente de determinação (R^2) igual 0,1 e significância maior que 37%. Do mesmo modo que os autores citados, Barbosa et al. (2009) também não obtiveram sucesso ao prever a produção de óleo-resina com base

no DAP, tendo apresentado valor do R^2 igual a 0,2632 para a equação ajustada.

As correlações verificadas por Rigamonte-Azevedo et al. (2006) e Barbosa et al. (2009) foram semelhantes à observada por Alencar (1922) para o DAP ($r = 0,162$), no entanto diferiram da encontrada por Medeiros e Vieira (2008). Este últimos verificaram as correlações entre a produtividade de óleo-resina e DAP para duas coletas, sendo a segunda realizada 12 meses após a primeira, e obtiveram correlação significativa para a coleta 1 ($r = 0,614$) e coleta 2 ($r = 0,331$), porém não aplicaram a análise de regressão para os dados.

Além do DAP, Alencar (1982) verificou as correlações da produtividade de óleo-resina com a altura total e diâmetro médio da copa em 82 árvores de *Copaifera multijuga* Hayne, porém não foram significativas, sendo iguais a 0,184 e 0,212, respectivamente. Ferreira e Braz (2001) também verificaram a influência de outras variáveis na produtividade de óleo resina de copaíba, entre elas a posição da copa no dossel, altura comercial e total das árvores, ambiente de várzea ou terra firme e período chuvoso ou seco, porém só encontraram relação, sem apresentar resultados estatísticos referente às correlações, para os diferentes ambientes e períodos de coleta.

Embora muitos trabalhos não tenham encontrado correlação significativa entre a produtividade de óleo-resina e outras variáveis, relacionadas ao porte ou ambiente em que se desenvolvem, os estudos apresentados neste trabalho demonstraram, inicialmente, ser possível a predição da produtividade de óleo-resina para a população de copaíba estudada, tendo a altura do fuste como variável explicativa para árvores acima de 0,42 cm de DAP.

5. CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho permitem concluir que:

1) Copaíbas com DAP abaixo de 42 cm, e com menos que 67 anos, na população estudada ainda não produzem óleo-resina;

3) A produtividade média de óleo-resina para área em estudo é considerada baixa com relação às populações de outras regiões estudadas na região amazônica;

4) Houve grande variação de produtividade de óleo-resina na população de copaíbas estudada;

5) Não existe relação direta entre a produtividade de óleo-resina e as características edáficas do solo superficial (até 15 cm de profundidade);

6) Dentre as variáveis analisadas a altura do fuste foi a única que apresentou correlação significativa com a produtividade de óleo-resina;

7) A produtividade de óleo-resina pode ser estimada com boa precisão utilizando a análise de regressão linear, com modelos cuja variável independente é a altura do fuste.

6. RECOMENDAÇÕES

1) Avaliar a correlação entre a produtividade de óleo-resina e altura fuste em outras regiões da floresta amazônica e com maior número de copaíbas amostradas;

2) Analisar a histologia da madeira das copaíbas ao longo do fuste, especialmente nas regiões de produção de óleo-resina;

3) Verificar a sustentabilidade da extração em copaíbas velhas, no que tange a regeneração dos tecidos após a perfuração;

4) Testar a resposta das árvores quanto a produtividade de óleo-resina sob diferentes situações de estresse (injúrias mecânicas, desfolha, infestação por térmitas, etc.);

5) Avaliar o efeito da competição sobre o crescimento em altura do fuste das copaíbas em conjunto com a produtividade de óleo-resina.

6) Analisar a relação entre a produtividade de óleo-resina e as características físico-químicas do solo em profundidades maiores que 15 cm;

7) Analisar a composição química do óleo-resina da população de copaíbas estudada;

8) Avaliar a produtividade de óleo-resina da população de copaíbas estudada na época chuvosa;

9) Verificar o relacionamento dos tecidos foliares (nutrição e quantidade de óleo-resina) com a produtividade de óleo-resina extraído dos troncos de *Copaifera* sp.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, J. C. Estudos silviculturais de uma população natural de *Copaifera multijuga* Hayne – Leguminosae, na Amazônia Central. 2 – Produção de óleo-resina. **Acta Amazônica**, v.12(1), p.75-89. 1982.

ALENCAR, J. C. 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**, v.18(3-4), p.199-209. 1988

BAIMA, A. M . V.; SANTOS, L. S.; NUNES, D. S.; CARVALHO, J. O. P. Produção de óleo de copaíba na região do Tapajós. Comunicado Técnico. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa**. n.103, p.1-3, fev. 1999.

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 do Tupé, Manaus-AM. **In:** Biotupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo do Rio Negro, Amazônia Central. Vol. 2 Cap.11. UEA Edições, Manaus, 2009.

BARBOSA, K. S.; SCUDELLER, V. V.; ROSA, A. L. Potencial de produção de óleo resina de *Copaifera multijuga* Hayne nos dois períodos climáticos amazônico na Reserva de Desenvolvimento Sustentável do Tupé, Manaus-AM. **In:** Biotupé: Meio Físico, Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo do Rio Negro, Amazônia Central. Vol. 2. Cap.12. UEA Edições, Manaus, 2009.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SC.20 Porto Velho; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, p.452, 1978.

CANTO, J. L.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento da *Grevillea robusta* A. Cunn. na depressão central do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, v.14, n.2, p.29-35, 2004.

CASTRO, C. R. T.; GARCIA, R. Competição entre plantas com ênfase no recurso luz. **Ciência Rural**, Santa Maria-RS, v.26. n.1, p.167-174, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS. 2ª ed., rev. atual, p.212, 1997.

FERREIRA, L. A. **Potencial de extração e comercialização do óleo-resina de copaíba (*Copaifera* spp.): um estudo de caso na floresta do**

Antimary, Acre. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, Rio Branco-AC, 1999.

FERREIRA, L. A.; BRAZ, E. M. Avaliação do potencial de extração e comercialização do óleo-resina de copaíba (*Copaifera* spp.). In: Florística e Botânica Econômica do Acre, Brasil, 2001. Disponível em: <<http://www.nybq.org/bsci/acre/www1/evaluation.html>> Acesso em: 30/05/2012.

FINGER, C. A. G.; ELEOTÉRIO, J. R.; BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R. Crescimento diamétrico do pau-ferro (*Astronium balansae*) em reflorestamento no município de São Sepé, RS. **Ciência Florestal**, v.6, n.1, p.101-108, 1996.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. Bookman, 6ª Edição, 688p., 2009.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - IAC. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas-SP, IAC, p.285, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Manuais técnicos em geociências, n.1, p.271, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de geologia do estado de Mato Grosso**. 2009. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geologia/unidades_federacao/mt_geologia.pdf> Acesso em: 26.09.2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de geomorfologia do estado de Mato Grosso**. 2009. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geomorfologia/unidades_federacao/mt_geomorfologia.pdf> Acesso em: 26.09.2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de pedologia do estado de Mato Grosso**. 2009. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/pedologia/unidades_federacao/mt_pedologia.pdf> Acesso em: 26.09.2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa de potencial agrícola do Brasil**. 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. Normais climatológicas do Brasil 1961-1990: precipitação acumulada mensal e anual (mm). 1990. Disponível em: <www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas> Acesso em: 03.01.2014.

LANGENHEIM, J. H. Leguminous resin-producing trees. **In:** Africa and South America in MEGGERS, B. J., AYENSU, E. S.; DUCKWORTH, W. D. ed. Tropical Forest Ecosystems in Africa and South America: a comparative review. Smithsonian Institution Press, Washington, D. C., 1973.

LANGENHEIM, J. H. **Plants resins:** chemistry, evolution, ecology and ethnobotany. Timber Press, USA, p.586, 2003.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil. v.1, 4ª ed.. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2002.

MACHADO, F. S. **Manejo de produtos florestais não madeireiros:** um manual com sugestões para o manejo participativo em comunidades da Amazônia. Rio Branco, Acre: PESACRE e CIFOR, 2008.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria.** 2ª ed.. Guarapuava: UNICENTRO, 316 p., 2009.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. **Fichas de características das madeiras brasileiras.** 2ª ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Madeiras. 1989.

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

MEDEIROS, R. S. **Sustentabilidade de extração, produção e características químicas do óleo-resina de copaíba** (*Copaifera multijuga* Hayne) em Manaus-AM. Dissertação. Programa de Pós-graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, INPA, Manaus-AM, p.83, 2006.

MEDEIROS, R. S.; VIEIRA, G. Sustainability of extraction and production of Copaiba (*Copaifera multijuga* Hayne) oleoresin in Manaus -AM, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.256, p.282-288, 2008.

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 Mediciniais**, Botucatu-SP, v.8, n.3, p.14-23, 2006.

PÉLLICO NETTO, S. Estimativas volumétricas de árvores individuais - síntese teórica. Curitiba-PR, **V Seminário sobre Atualidades e Perspectivas Florestais**, p. 15-27, 1982.

PHILIPS, M. A.; CROTEAU, R. B. Resin-based defenses in conifers. **Trends in Plant Science**, 4(5), p.184-190, 1999.

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 Mediciniais**, Botucatu-SP, v.11, n.4, p.465-472, 2009.

PINTO, A.; AMARAL, P.; GAIA, C.; OLIVEIRA, W. **Boas práticas para o manejo florestal e agroindustrial de produtos florestais não madeireiros**: açaí, andiroba, babaçu, castanha-do-Brasil, copaíba e unha-de-gato. Belém-PA: Imazon; Manaus-AM: Sebrae-AM, 2010.

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

PLOWDEN, C. **The ecology, management and marketing of non-timber forest products in the Alto Rio Guamá indigenous reserve (eastern Brazilian Amazon)**. 2001. (Ph.D. in Ecology) - Penn State University, University Park, 2001.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Instituto Agrônomo de Campinas - IAC, p.258, 2001.

RIGAMONTE-AZEVEDO, O. C. **Copaíba**: estrutura populacional, produção e qualidade do óleo-resina em populações nativas do sudoeste da Amazônia. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-graduação em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, Rio Branco-AC, 2004.

RIGAMONTE-AZEVEDO, O. C.; WADT, P. G. S.; WADT, L. H. O. **Copaíba**: ecologia e produção de óleo-resina. Documento 91. EMBRAPA: Rio Branco, Acre, 2004.

RIGAMONTE-AZEVEDO, O. C.; WADT, P. G. S.; WADT, L. H. O. Potencial de produção de óleo-resina de copaíba (*Copaifera* spp.) de populações naturais do sudoeste da Amazônia. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.4, p.583-591, 2006.

RIGAMONTE-AZEVEDO, O. C.; WADT, P. G. S.; WADT, L. H. O.; VEIGA JUNIOR, V. F.; PINTO, A. C.; REGIANI, A. M. Variabilidade química e física do óleo-resina de *Copaifera* spp. no sudoeste da Amazônia brasileira. **Revista Brasileira de Ol. Fibros.**, Campina Grande, v.8, n.2/3, p.851-861, maio-dez., 2004.

SANQUETTA, C. R.; WEBER, S. H.; FORMAGINI, F.; BARBEIRO, L. S.; VIEIRA, G. Equações individuais e determinação de classes de crescimento para *Nectandra grandiflora* Ness a partir de dados de análise de tronco. **Scientia Agraria**, v.11, n.1, p.1-8, 2010.

SCHNEIDER, P. S. P.; SCHEEREN, L. W.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. Crescimento da *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud., na depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. **Floresta e Ambiente**, v.13, n.1, p.26-33, 2006.

SCUDELLER, V. V.; ROSA, A. L.; BARBOSA, K. S. Viabilidade econômica da extração do óleo-resina de *Copaifera multijuga* Hayne na Amazônia Central. **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre-RS, v.5, supl.1, p. 753-755, jul. 2007.

SHANLEY, P.; LEITE, A.; ALECHANDRE, A.; RIGAMONTE-AZEVEDO, O.C. Copaíba: *Copaifera* spp. In: SHANLEY, P; MEDINA, G. Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica. Belém-PA: CIFOR, IMAZON, 300p., 2005.

SILVA, F. C.; EIRA, P. A.; BARRETO, W. O.; PÉREZ, D. V.; SILVA, C. A. Análise químicas para avaliação da fertilidade do solo: métodos usados na Embrapa Solos. Documentos. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa**. n.3, p.1-40, out., 1998.

SOUZA, F. D. R. **O manejo do óleo-resina de *Copaifera* spp. realizado pelas etnias Arara (Karo) e Gavião (Ikolen) na terra indígena Igarapé Lourdes, Rondônia**. Dissertação (mestrado). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus-AM, 2010.

THIBAU, C. E. **Produção sustentada em florestas: conceitos e tecnologias, biomassa energética, pesquisas e constatações**. Belo Horizonte-MG: o autor, 512p., 2000.

VEIGA JUNIOR, V. F.; PINTO, A. C. O gênero *Copaifera* L. **Revista Química Nova**, vol.25, n.2, p.273-286, 2002.

WADT, L. H. O.; JÁUREGUI, K. M. C. H.; ARAÚJO, E. A.; FELINTO, A. S.; VIEIRA, A. H.; BENTES-GAMA, M. Efeito do tipo e época de extração na produção de óleo-resina de copaíba. **Anais...** Caxambu – MG, 2007.