



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS - FCA



PPGCIFA - UFAM

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E
AMBIENTAIS - PPGCIFA**

**MANEJO DE PLANTIOS DE PAU-ROSA (*Aniba rosodora* Ducke) PARA A PRODUÇÃO
DE BIOMASSA E ESTIMATIVA DE ÓLEO ESSENCIAL NA TERRA INDÍGENA
ANDIRÁ-MARAU (ETNIA SATERÉ-MAWÉ)**

Manaus – AM

2025

LENNON SIMÕES AZEVEDO

MANEJO DE PLANTIOS DE PAU-ROSA (*Aniba rosodora* Ducke) PARA A PRODUÇÃO
DE BIOMASSA E ESTIMATIVA DE ÓLEO ESSENCIAL NA TERRA INDÍGENA
ANDIRÁ-MARAU (ETNIA SATERÉ-MAWÉ)

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Universidade Federal do Amazonas (PPG-CIFA/UFAM), como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração: Silvicultura Tropical.

Orientador: Dr. Manuel de Jesus Vieira Lima Júnior.

Coorientadora: Dra. Sônia Sena Alfaia.

Manaus – AM

2025

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

- A994m Azevedo, Lennon Simões
 Manejo de plantios de pau-rosa (*Aniba rosodora* Ducke) para a produção de biomassa e estimativa de óleo essencial na Terra Indígena Andirá-Marau (Etnia Sateré-Mawé) / Lennon Simões Azevedo. - 2025.
 70 f. : il., color. ; 31 cm.
- Orientador(a): Manuel de Jesus Vieira Lima Júnior.
 Coorientador(a): Sônia Sena Alfaia.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Manaus, 2025.
1. Sistemas de plantio. 2. Produtividade. 3. Rendimento de óleo. 4. Bioeconomia. I. Lima Júnior, Manuel de Jesus Vieira. II. Alfaia, Sônia Sena. III. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais. IV. Título
-

LENNON SIMÕES AZEVEDO

MANEJO DE PLANTIOS DE PAU-ROSA (*Aniba rosodora* Ducke) PARA A PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ESTIMATIVA DE ÓLEO ESSENCIAL NA TERRA INDÍGENA ANDIRÁ-MARAU (ETNIA SATERÉ-MAWÉ)

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Universidade Federal do Amazonas (PPG-CIFA/UFAM), como parte dos requisitos para obtenção do título de **Mestre em Ciências Florestais e Ambientais**, área de concentração: Silvicultura Tropical.

Aprovado em 05 de maio de 2025:

Dr. Manuel de Jesus Vieira Lima Júnior
(Orientador)

Dr. Paulo de Tarso Barbosa Sampaio (INPA)

Dr. Guilherme Silva Modolo (UFAM)

Manaus – AM

2025

DEDICATÓRIA

À Deus, família e esposa.

AGRADECIMENTOS

À Deus pelo amparo nas horas difíceis.

À minha esposa querida, Susane Carvalho, pelo incentivo, paciência e compreensão.

Ao meu amigo, José Carlos, por todo o suporte e compartilhamento de conhecimento ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Manuel de Jesus Vieira Lima Júnior, pela confiança e apoio no decorrer do trabalho.

À minha coorientadora, Prof.^a Sônia Alfaia por todo apoio logístico à Terra Indígena Andirá-Marau, por meio do projeto Amazônia +10, o qual me proporcionou a coleta de dados analisados nesta pesquisa.

À equipe do Laboratório de Solos, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, pelo profissionalismo e ajuda nas análises realizadas neste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais – PPG-CIFA, da Universidade Federal do Amazonas – UFAM, pela realização deste programa de mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão de bolsas de estudos.

À Secretaria do Meio Ambiente do Município de Maués, na pessoa de Jane Crespo, pelo suporte logístico naquela localidade.

Ao povo Sateré-Mawé por toda receptividade e suporte, principalmente os parentes da Ilha Michilis: Josimar, Jocimar, Josebias e Anderson.

RESUMO

Visando estimular o manejo sustentável por meio de plantios de espécies ameaçadas de extinção, como é o caso do pau-rosa, este estudo teve como objetivo avaliar o manejo de *Aniba rosodora* Ducke em plantios com 7 anos de idade para produção de biomassa e extração de óleo essencial em comunidades indígenas do rio Marau. O estudo foi realizado na terra indígena Andirá-Marau, no município de Maués-AM, em três comunidades com diferentes ambientes: Ilha Michilis (180 ha) – Sistemas Agroflorestal (Safs); Monte Horebe (43,8 ha) – Monocultura; e Nova Esperança (0,82 ha) – Floresta. Para a caracterização dendrométrica foi realizado o censo florestal dos indivíduos de pau-rosa com DAP $\geq 5,0$ cm, distribuídos aleatoriamente nas áreas. A biomassa (total, copa e fuste) foi estimada por meio de equações alométricas a partir dos parâmetros Altura (H) e Diâmetro (DAP). O vigor dos brotos foi avaliado a partir das variáveis da rebrota (nº brotos, comprimento, diâmetro) após um período de 12 meses posterior à poda. Para a Análise Física e Química dos solos nas áreas de SAF e Monocultura foram estabelecidas três (3) parcelas em cada área, cada uma com dimensões de 30 m x 45 m, subdivididas em 3 Subparcela de 15 m x 30 m, onde foram coletadas amostras de solos nas camadas de 0-10 e 10-20 cm de profundidade. Os aspectos físicos do solo foram determinados a partir da classificação textural (teores de areia, silte e argila) e análise química de: pH, Al, Ca, Mg, P, C, N, Zn, Cu, Mn e Fe. O plantio de Ilha Michilis apresentou um total de 152 indivíduos, DAP médio de 8,00 cm, altura de 5,88 m, biomassa total de 3109,07 kg (cerca de 20,45 kg/indivíduo) e nos compartimentos copa e fuste valores médios de 9,00 kg e 12,51 kg respectivamente. Na comunidade Monte Horebe foram inventariadas 67 árvores com DAP médio de 7,68 cm, altura média de 6,57 m e biomassa total de 1521,55 kg (7,59 kg/indivíduo) e biomassa média da copa e do fuste de 8,88 kg e 13,83 kg. No plantio de Nova Esperança foram encontrados 21 indivíduos com DAP médio de 4,24 cm, altura média de 5,04 m, biomassa total de 150,55 kg (58,33 kg/indivíduo) e biomassa média da copa e do fuste de 4,12 e 3,41 kg. O Safs produziu mais brotações e maior comprimento médio: 10 brotos e 44,82 cm, porém teve um menor diâmetro médio com 4,62 mm. Em Monocultura os valores foram: número de brotos 9, comprimento médio de 41,48 cm e um diâmetro médio de 9,5 mm. Quanto à Análise Física do solo, prevaleceu em ambientes de Monocultura os solos argilosos siltosos e em Safs os solos franco-argilo-siltoso. Apesar dos dois ambientes apresentarem elevada acidez, os níveis de Fósforo na área de Safs se sobressaiu em relação aos plantios em Monocultura. Os níveis de Ca, Mg e K foram bem abaixo dos encontrados na literatura. O teor de Nitrogênio foi um fator limitante em ambos os ambientes com valores muito abaixo dos encontrados em outros trabalhos.

Palavras-chave: Sistemas de plantio; Produtividade; Rendimento de óleo; Bioeconomia.

ABSTRACT

Aiming to stimulate sustainable management through planting of endangered species, such as rosewood, this study aimed to evaluate the management of *Aniba rosodora* Ducke in 7-year-old plantations for biomass production and essential oil extraction in indigenous communities of the Marau River. The study was carried out in the Andirá-Marau indigenous land, in the municipality of Maués-AM, in three communities with different environments: Ilha Michilis (180 ha) – Agroforestry Systems (SAFS); Monte Horebe (43.8 ha) – Monoculture; and Nova Esperança (0.82 ha) – Forest. For dendrometric characterization, a forest census of rosewood individuals with DBH ≥ 5.0 cm, randomly distributed in the areas, was carried out. Biomass (total, crown and stem) was estimated through allometric equations from the parameters Height (H) and Diameter (DBH). Shoot vigor was evaluated based on regrowth variables (number of shoots, length, diameter) after a period of 12 months after pruning. For the Physical and Chemical Analysis of the soils in the AFS and Monoculture areas, three (3) plots were established in each area, each with dimensions of 30 m x 45 m, subdivided into 3 subplots of 15 m x 30 m, where soil samples were collected in the 0-10 and 10-20 cm depth layers. The physical aspects of the soil were determined from the textural classification (sand, silt and clay contents) and chemical analysis of: pH, Al, Ca, Mg, P, C, N, Zn, Cu, Mn and Fe. The Ilha Michilis plantation had a total of 152 individuals, average DBH of 8.00 cm, height of 5.88 m, total biomass of 3109.07 kg (approximately 20.45 kg/individual) and in the crown and stem compartments average values of 9.00 kg and 12.51 kg respectively. In the Monte Horebe community, 67 trees were inventoried with an average DBH of 7.68 cm, average height of 6.57 m and total biomass of 1521.55 kg (7.59 kg/individual) and average biomass of the crown and stem of 8.88 kg and 13.83 kg. In the Nova Esperança plantation, 21 individuals were found with an average DBH of 4.24 cm, average height of 5.04 m, total biomass of 150.55 kg (58.33 kg/individual) and average biomass of the crown and stem of 4.12 and 3.41 kg. The Safs produced more shoots and a greater average length: 10 shoots and 44.82 cm, but had a smaller average diameter of 4.62 mm. In Monoculture, the values were: number of shoots 9, average length of 41.48 cm and an average diameter of 9.5 mm. Regarding the Physical Analysis of the soil, silty clayey soils prevailed in Monoculture environments and in Safs, silty clayey soils. Although both environments presented high acidity, the Phosphorus levels in the Safs area stood out in relation to the Monoculture plantations. The levels of Ca, Mg and K were well below those found in the literature. The nitrogen content was a limiting factor in both environments with values well below those found in other studies.

Keywords: planting systems, productivity, oil yield, bioeconomy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Área indígena Sateré-Mawé.	20
Figura 2 - Inventário Florestal: A - DAP; B - Diâmetro da copa; e C - Identificação do indivíduo.....	21
Figura 3 - Ilha Michilis com plantios de pau-rosa em Sistema Agroflorestal Sustentável - SAFs.	22
Figura 4 - Monte Horebe com plantios de pau-rosa em Sistema de Monocultivo.....	23
Figura 5 - Nova Esperança com plantios de pau-rosa em Floresta.	23
Figura 6 - Representação da altura total e de fuste da árvore, comprimento e diâmetro de copa.	24
Figura 7 - A - Indivíduo de pau-rosa podado; B - Sacos com biomassa retirada da copa.	27
Figura 8 - A: Medição da rebrota; B: Rebrota de plantio em Monocultura; C: Rebrota de plantio em SAFS.....	27
Figura 9 - Representação exemplificativa das áreas e metodologia de amostragem e coleta de solo: A - Ilha Michilis: Sistema Agroflorestal e B - Monte Horebe: Monocultura.....	29
Figura 10 - Coleta de solos nas áreas de SAFs e Monocultura.	30
Figura 11 - Secagem das amostras de solo.....	31
Figura 12 - Procedimentos laboratoriais para a análise química do solo.	32
Figura 13 - Variáveis dendrométricas – A: Altura Total (ht); e B: Diâmetro à Altura do Peito (DAP).	34
Figura 14 - Variáveis dendrométricas – A: Biomassa seca acima do solo (bsas); B: Biomassa seca no fuste (bsf); C: Biomassa seca na copa (bsc).	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indivíduos inventariados nas áreas de estudo.....	21
Tabela 2 - Estimativa do rendimento do óleo de pau-rosa.	26
Tabela 3 - Amostras coletadas em áreas de SAF'S e Monocultura.....	29
Tabela 4 - Médias e desvios dos valores de biomassa e variáveis dendrométricas nos plantios.	34
Tabela 5 - Estimativa de rentabilidade da produção de óleo de pau-rosa nos sistemas de plantios.	36
Tabela 6 - Valores médios e desvios das variáveis da rebrota.	37
Tabela 7 - Análise física do solo.	37
Tabela 8 - Níveis de pH, KCl e Alumínio trocável.	38
Tabela 9 - Níveis de Macronutrientes em Monocultura e Sistema Agroflorestal - SAFS.	39
Tabela 10 - Níveis de Micronutrientes em Monocultura e Sistema Agroflorestal - SAFS.	40
Tabela 11 - Níveis de Macronutrientes em Monocultura e Sistema Agroflorestal - SAFS. ...	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 GERAL.....	12
2.2 ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS – PFNM	13
3.1.1 Bioeconomia na Amazônia.....	14
3.2 PAU-ROSA.....	16
3.2.1 Caracterização da espécie	16
3.2.2 Silvicultura da espécie	17
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
4.2 INVENTÁRIO FLORESTAL.....	21
4.2.1 Diâmetro à Altura do Peito (DAP).....	24
4.2.2 Altura Total, Altura do Fuste, Altura e Diâmetro da Copa	24
4.3 QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA COM USO DO MÉTODO INDIRETO.....	25
4.3.1 Volume - V.....	25
4.3.2 Biomassa seca acima do solo - BSAS.....	25
4.3.3 Biomassa seca na copa - BSC.....	25
4.3.4 Biomassa seca no fuste - BSF	25
4.4 ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL	26
4.5 INTERVENÇÃO SILVICULTURAL - PODA DOS PLANTIOS EM SAF'S E MONOCULTURA.....	26
4.6 VIGOR DOS BROTOS APÓS A PODA.....	27
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA E DO VIGOR DAS BROTAÇÕES	28
4.8 AMOSTRAGEM, COLETA E ANÁLISE DO SOLO	28
4.8.1 Amostragem e coleta de solo	28
4.8.2 Análise física e química do solo	31
4.8.3 Influência dos sistemas de plantio na disponibilidade de nutrientes no solo	32
5 RESULTADOS	33

5.1 BIOMASSA E PRODUTIVIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL DE PAU-ROSA.....	33
5.1.1 Rentabilidade da produtividade de óleo essencial	36
5.2 VIGOR DOS BROTOS APÓS A PODA.....	36
5.3 ANÁLISE FÍSICA DO SOLO	37
5.4 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO	38
5.4.1 Acidez do solo (pH em água e KCl e Al trocável)	38
5.4.2 Macronutrientes (Cálcio, Magnésio, Potássio e Fósforo).....	39
5.4.3 Micronutrientes (Cobre, Zinco, Manganês e Ferro)	39
5.4.4 Nitrogênio orgânico, Carbono orgânico e Matéria Orgânica do Solo (MOS)	40
6 DISCUSSÃO.....	42
6.1 VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS EM AMBIENTE DE SAFs, MONOCULTIVO E FLORESTA.....	42
6.2 BIOMASSA ACIMA DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE ÓLEO.....	43
6.3 VIGOR DAS BROTAÇÕES APÓS SISTEMA DE PODA	45
6.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICA DO SOLO.....	46
6.5 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO.....	47
6.5.1 Acidez do solo (pH em água e KCl e Al trocável)	47
6.5.2 Macronutrientes (Cálcio, Magnésio, Potássio e Fósforo).....	48
6.5.3 Micronutrientes (Cobre, Zinco, Manganês e Ferro)	50
6.5.4 Nitrogênio orgânico, Carbono orgânico e Matéria Orgânica do Solo (MOS)	52
6.5.5 Manejo da Matéria Orgânica do Solo.....	54
7 CONCLUSÃO.....	56
8 RECOMENDAÇÕES.....	57
9 CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

1 INTRODUÇÃO

A Amazônia representa o maior, o mais rico, diversificado e mais preservado Bioma do planeta contendo uma variedade de espécies de fauna, flora e de serviços ecossistêmicos de interesse global devido à preocupação com a preservação e conservação ambiental (Shanley & Medina, 2005; Fearnside, 2008; Prado, 2021; BRASIL, 2022). Ao longo da última década, tal preocupação, fez com que a bioeconomia ganhasse destaque no cenário mundial devido às mudanças climáticas, à emissão de poluentes, à segurança alimentar, aos impactos ambientais e à perda da biodiversidade (Pereira, 2020). Potenciais avanços técnicos-científicos, em áreas como a domesticação de espécies, a restauração florestal, a manutenção da floresta em pé, a implantação de sistemas agroflorestais entre outros, têm evidenciado que a bioeconomia representa uma importante estratégia de desenvolvimento sustentável conciliando a produção com a conservação dos recursos naturais. No contexto amazônico, a bioeconomia deve contemplar aspectos relacionados à realidade, às especificidades e às potencialidades da região, inclusive o conhecimento tradicional no uso sustentável da biodiversidade (Lopes *et al.*, 2023; Silva, 2024).

Uma das potencialidades da Amazônia é o serviço ecossistêmico de provisão, àquele ofertado pelos produtos oriundos da floresta, como fonte de alimento, fibras naturais, óleos essenciais, sementes e resinas que, com exceção da madeira, também são denominados de Produtos Florestais Não Madeireiros - PFNM (Fearnside *et al.*, 2018; Rosa *et al.*, 2020) obtidos principalmente por meio do extrativismo e constituindo-se de práticas de subsistências, de geração de renda, da manutenção da biodiversidade (Arruda, 1999; Pereira *et al.*, 2015). Contudo, com a exploração predatória desordenada, a falta de manejo e de fiscalização, diversas espécies de valor econômico, ambiental e cultural estão ameaçadas de extinção (Rosa *et al.*, 1997). Dentre as espécies potencialmente em risco está o pau-rosa, intensamente explorado desde a década de 1920 para produção de óleo essencial nas indústrias de perfumaria e de alto valor comercial.

O pau-rosa identificado cientificamente como *Aniba rosodora* Ducke, da família Lauraceae, é encontrado nos estados brasileiros do Amapá, Amazonas e Pará e nos países como a Colômbia, Equador, Peru, Suriname, Venezuela e Guiana Francesa (Camargo & Ferraz, 2016), é uma das espécies da Amazônia com maior valor econômico de uso, devido ser uma importante fonte natural do álcool linalol, obtido do óleo essencial extraído de todas as partes da planta e utilizado amplamente como fixador de fragrâncias e mais recente no “bouquet” na perfumaria fina, tanto no mercado nacional quanto internacional.

Atualmente as populações nativas de pau-rosa estão em áreas protegidas por lei ou remotas, tornando a obtenção de subprodutos da espécie árdua e onerosa, além disso, a espécie encontra-se no Anexo II da Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Flora Selvagem em Perigo de extinção, o que fez com o IBAMA por meio da Instrução Normativa Nº 09, de 25 de agosto de 2011, disciplinasse sobre os procedimentos a serem adotados para a exploração do pau-rosa em florestas primitivas por meio do Manejo Florestal Sustentável na Amazônia, exigindo dos produtores a realização de um Censo Florestal 100%, (espécie com DAP > 10 cm), localização espacial, estabelecimento do diâmetro mínimo de corte em 25 cm e o aproveitamento da árvore inteira ou da poda parcial da copa, com aproveitamento de galhos e folhas, atentando para a necessidade de se deixar, no caso do aproveitamento total, um toco com um mínimo de 50 cm do solo, para haver a possibilidade da rebrota da espécie.

A exaustão das reservas mais acessíveis, a inclusão da espécie na lista das ameaçadas em risco de extinção e as restrições impostas pela legislação favoreceu a implantação de plantios de pau-rosa por agricultores, populações e povos tradicionais (Leite *et al.*, 2001; May & Barata, 2004; Ferraz *et al.*, 2009; Lara *et al.*, 2021). A utilização de plantios contribui para o avanço e transformações da cadeia produtiva do óleo essencial de pau-rosa, fortalece tanto a agricultura familiar quanto as condições econômicas e sociais dos produtores em comunidades indígenas amazônicas e culmina no uso eficiente e sustentável de recursos renováveis.

O manejo dos plantios de pau-rosa, por meio das sucessivas podas das copas das árvores, a quantificação da biomassa aérea e uma vigorosa rebrota, é um instrumento útil para avaliação dos sistemas de plantios (Sampaio *et al.*, 2007), devido a sua aplicação para inferir em produtividade de biomassa de galhos e folhas, em menor espaço de tempo, em quantidade de óleo e na ciclagem de nutrientes. Portanto, o objetivo do trabalho foi contribuir para o manejo sustentável do pau-rosa (*Aniba rosodora* Ducke) em plantios com 7 anos de idade gerando informações técnico-científicas sobre a produtividade de biomassa e estimativa de extração de óleo essencial em comunidades indígenas do rio Marau em Maués.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Diagnosticar plantios de pau-rosa (*Aniba rosodora* Ducke) em diferentes sistemas observando variáveis importantes para a produtividade de biomassa e estimativa de óleo essencial em comunidades indígenas do rio Marau.

2.2 ESPECÍFICOS

- a) Determinar a biomassa aérea de indivíduos de pau-rosa em sistemas de plantios;
- b) Estimar a produtividade do óleo essencial de pau-rosa;
- c) Verificar o crescimento da rebrota após a poda; e
- d) Investigar a influência dos sistemas de plantios na disponibilidade de nutrientes nos solos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PRODUTOS FLORESTAIS NÃO MADEIREIROS – PFNM

O Brasil é considerado o país com a maior biodiversidade global apresentando uma rica e diversa variedade de espécies (BRASIL, 2022). Dentre essa riqueza, a Amazônia compreende o maior, o mais diversificado e mais preservado bioma do planeta contendo uma rica biodiversidade de fauna e flora e diversos benefícios ofertados pelos serviços ecossistêmicos (Shanley & Medina, 2005; Fearnside, 2008; Prado, 2021).

A magnitude dos serviços ecossistêmicos da Amazônia é de interesse local, regional e global devido a influência que exerce (Fearnside *et al.*, 2018; Rosa *et al.*, 2020): no clima, no solo e no ar (regulação); na oferta de alimentos, de fibras, de madeiras etc. (provisão); e no ecoturismo, lazer, crenças etc. (culturais). Com relação aos serviços de provisão, os produtos advindos da floresta, com exceção da madeira, utilizados na alimentação, na produção de medicamentos, cosméticos, utensílios entre outros usos são denominados como Produtos Florestais Não Madeireiros (PFNMs) a citar: sementes, folhas, frutos, flores, castanhas, palmitos, raízes, ramos, cascas, fibras, óleos essenciais, resinas, cipós, ervas etc.

A tradicional forma de obtenção desses produtos é o extrativismo que consiste na coleta e extração dos recursos naturais praticado desde os primórdios da vida dos seres humanos até os dias atuais (Arruda, 1999). O extrativismo de PFNMs constitui-se como prática de subsistência sendo fonte de alimento, de medicamentos, de fibras e forragens para moradia etc. (Carneiro-Filho, 2000; Pereira *et al.*, 2015; Ferreira *et al.*, 2021). Além de ser uma relevante atividade econômica e cultural para as comunidades tradicionais, possibilita a manutenção da biodiversidade e a funcionalidade dos serviços ecossistêmicos (Drummond, 1996; Balzon *et al.*, 2004; Guerra *et al.*, 2008; Fachinello, 2010; Pedrozo *et al.*, 2011; Elias & Santos, 2016; Giatti *et al.*, 2021).

Na Amazônia, no século XVII, a exploração de produtos florestais foi motivada pelo comércio de cacau, urucum, guaraná, castanha-do-brasil etc., conhecidos como “drogas do sertão” (Giatti *et al.*, 2021), já entre os anos 1890 até 1960 (1º e 2º ciclo da borracha) a exploração da seringueira (*Hevea brasiliensis L.*), para obtenção do látex, era a principal atividade econômica (Aubertin, 2000; Silva-Araújo, 2017) causando um significativo aumento populacional e o desmatamento de vastas áreas de florestas na região.

A exploração da madeira do pau-rosa assim como a extração da seringa, também foi de grande destaque na economia extrativista com o uso do linalol por indústrias de sabonetes e

de perfumaria (Homma, 2014) desde a década de 1920, com a escassez das reservas da Guiana Francesa até a década de 1980, quando o esgotamento dos estoques de matérias-primas mais acessíveis deu indícios de que a espécie estava ameaçada de extinção. Além disso, segundo Giatti *et al.* (2021), após o declínio da exploração da borracha, a castanha-do-brasil foi o único produto que continuou sendo obtido para comercialização internacional e a que segue até o presente sendo importante para a manutenção do vínculo das populações tradicionais de indígenas, quilombolas e ribeirinhos com seus territórios florestais.

Com o colapso da economia gomífera, a implantação da Zona Franca de Manaus e a falta de políticas públicas a atividade extrativista deixou de ser a principal economia da região e a agricultura e a pecuária extensiva se intensificaram e ganharam papel de destaque (Seráfico & Seráfico, 2005; Silva *et al.*, 2014; Ferreira *et al.*, 2021).

A obtenção dos produtos florestais não madeireiros está longe de ser uma atividade de importância apenas no passado, pois tais produtos naturais seguem até o presente sendo utilizados para o autoconsumo, o comércio (local, regional ou internacional), a conservação da biodiversidade etc. (Shackleton & Pandey, 2014), ou seja, constitui-se como uma relevante estratégia para o desenvolvimento econômico, social, ambiental e cultural das comunidades que manejam tais recursos. Contudo, as informações a respeito do potencial econômico dos produtos, o quantitativo de produção em escala, os custos, os padrões de comercialização entre outros dados ainda são escassos e obtidos de forma rudimentar pelos extrativistas das comunidades tradicionais e agricultores familiares.

3.1.1 Bioeconomia na Amazônia

A bioeconomia é um termo empregado de forma bastante distinta, amplo e ainda em construção, contudo, se trata do uso de matéria-prima, de base biológica, para a produção de bens e serviços (Birner, 2018; Vivien *et al.*, 2019; Lopes & Chiavari, 2022), constituindo-se como uma alternativa para o desenvolvimento sustentável da região Amazônica.

Segundo Bugge *et al.* (2016), a bioeconomia apresenta 3 (três) visões/dimensões: a biotecnológica que foca no crescimento econômico por meio de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) aplicados à inovação de biotecnologia; a biorecursos que busca promover o desenvolvimento de novas cadeias produtivas, melhorar o uso da terra e dos recursos (água, fertilizantes, matérias-primas etc.), além de pesquisas multidisciplinares; e por fim, a bioecológica que prioriza o uso sustentável para manutenção da biodiversidade por meio

da produção autossustentável que gerem menos impactos e otimizem o uso de energia e dos recursos naturais.

Em se tratando de bioeconomia amazônica além do enfoque no uso sustentável dos recursos da biodiversidade, leva-se em consideração a interação entre o conhecimento tradicional, científico e tecnológico, os processos produtivos e de manejo (Viana, 2019; Lopes & Chiavari, 2022), bem como o protagonismo das populações tradicionais no desenvolvimento local e regional com a inclusão socioprodutiva e conservação ambiental (EMBRAPA, 2023).

Desde a década de 1990, os produtos florestais não madeireiros ganharam destaque na Amazônia principalmente pela preocupação internacional com a preservação ambiental. Espécies da região como o guaraná, açaí, pupunha, castanha-do-brasil, bacuri e cupuaçu foram as com maior crescimento no mercado nacional e interesse internacionalmente (Vasconcelos *et al.*, 2010). Dentre os principais produtos da bioeconomia na região, as espécies mais promissoras, que possuem uma cadeia produtiva definida, que são apreciadas tanto no mercado nacional como internacional e de importância econômica, social e ambiental destacam-se: a castanha-do-brasil e o açaí.

Para se ter uma ideia mais ampla acerca desse fruto e de sua importância, na safra de 2020, foram produzidas mais de 33,1 mil toneladas. Desse total, 14,7 t (45%) foi destinado ao mercado externo e 18,3 t (55%) para consumo interno. Em apenas uma das cooperativas da região do Pará, a Associação dos Moradores Agroextrativistas das Comunidades (ASMACARU), comercializou impressionantes 30 toneladas do fruto em 2022.

Outro produto que tem ganhado cada vez mais mercado é o Açaí, um fruto presente na alimentação das populações regionais e que, a partir dos anos 2000, vem assumindo o protagonismo nas preferências dos consumidores regionais e internacionais devido as suas propriedades, daí a sua importância econômica e nutricional nos últimos 20 anos (CONAB, 2019; Marques, 2023), sendo o Brasil considerado o país que mais produz, consome e exporta o açaí.

Entre as diversas formas de apreciação do açaí destacam-se (Homma *et al.*, 2006; Nogueira *et al.*, 2013; Cedrim *et al.*, 2018; Miranda *et al.*, 2022): o uso alimentício (suco, sorvete, bombons, energéticos etc.), na medicina, nos setores farmacêutico, na construção civil, na recuperação ambiental,

A Amazônia, por sua exuberância, riqueza e heterogeneidade cultural, ambiental, social e econômica demonstra diferentes potenciais para o desenvolvimento regional sustentável, contudo, necessita de alternativas e estratégias de bioeconomia para agregação de valor aos bens e serviços oriundos da floresta; o aprimoramento de técnicas silviculturais com

espécies nativas; a inserção e ampliação de novos produtos com o aumento da escala, qualidade, regularidade e logística de matérias-primas da diversidade da Amazônia; a estruturação de cadeias produtivas entre outros.

3.2 PAU-ROSA

3.2.1 Caracterização da espécie

O pau-rosa identificado cientificamente como *Aniba rosodora*, Ducke, da família Lauraceae, é uma espécie endêmica da região Amazônica, com ocorrência em países como Suriname, Guiana Francesa, Venezuela, Peru, Colômbia, Equador e Brasil (Camargo & Ferraz, 2016). No Brasil, a área de ocorrência se dá entre a região sul e norte do rio Amazonas em duas faixas que se estende desde o Juruti Velho (limite ocidental do estado do Pará), até o baixo rio Purus (estado do Amazonas). Essa faixa abrange a região do Baixo Amazonas com destaque para os municípios de Barreirinha, Maués e Parintins ao qual há um número significativo de indivíduos com um alto potencial de manejo, este se dá por meio de populações tradicionais ao longo dos rios Andirá, Marau e Uaicurapá com destaque para o povo Sateré Mawé.

A árvore em grande porte atinge 30 m de altura e 2 m de diâmetro apresentando as seguintes características (Alencar & Fernandes, 1978; Costa; Ohashi; Daniel, 1995; Leite *et al.*, 1999; Higuchi *et al.*, 2003, Camargo & Ferraz, 2016):

O tronco é liso, reto, cilíndrico e ramificado no ápice formando uma copa estreita ou ovalada; e a casca, de cor pardo-amarelada/avermelhada, é deiscente, que se desprende facilmente em grandes placas causando depressões irregulares.

As folhas, geralmente com 6-25 cm de comprimento e 2,5-10 cm de largura, estão distribuídas ao longo dos ramos jovens de maneira alternada e nos ramos mais velhos agrupados nas porções terminais; são simples, de formato obovadas-elípticas/lanceoladas, finas e levemente arqueadas para cima; a base é obtusa e imediatamente arredondada; as margens são lisas, planas ou recurvadas; o ápice é acuminado; a face adaxial é glabra, de textura coriáceas e cor verde-escura e a face abaxial é pilosa e amarelo-pálida/fosca.

As flores são hermafroditas, diminutas (1-1,8 mm de comprimento), de cor amarelo-ferruginosas e dispostas em panículas subterminais de 4-17 cm de comprimento e o sistema de reprodução é de fecundação cruzada.

A frutificação é irregular, o fruto é classificado como uma baga glabra, de coloração violáceo-escura quando maduro, é ovóide a elipsóide, com dimensões médias de 2,8 (2,4 a 3,1)

cm de comprimento e 2,0 (1,8 a 2,3) cm de diâmetro; o exocarpo é fino, liso, delgado e glabro; o mesocarpo é uma polpa carnosa de coloração amarelo-esverdeada, estando inserido em uma cúpula lenhosa, espessa de 1 cm de comprimento e provida de lenticelas com aspectos também lenhosos. Os frutos quando estão maduros se desprendem da cúpula e caem no chão podendo ser predados após a dispersão ou ainda na copa dificultando assim a disponibilidade de sementes e, conseqüentemente, a propagação da espécie.

A semente, assim como o fruto, também tem o formato ovóide ou elipsóide, com dimensões médias de 2,4 (1,9 a 2,9) cm de comprimento e 1,6 (1,2 a 2,0) cm de diâmetro; o tegumento é liso, delgado, opaco e com a testa de cor marrom-claro com estrias longitudinais marrom-escura; o hilo é puntiforme e saliente no polo basal da semente; a semente internamente possui dois cotilédones grandes, de cor amarelo-claros, com reservas, convexos, duros e lisos; o eixo embrionário rudimentar, da mesma cor da semente, é reto, central, próximo da base e tem cerca de 3 mm de comprimento.

3.2.2 Silvicultura da espécie

A produção de sementes de pau-rosa é prejudicada pela intensa predação de pássaros, como os tucanos, que também são os dispersores, e pela alta infestação de uma espécie de coleóptero, *Heillipus*, e lepidópteros que atacam os frutos antes da sua maturação (Spironello *et al.*, 2003). Além disso, segundo Sampaio *et al.* (2003), o fato de a semente da espécie ser recalcitrantes dificulta a germinação e, conseqüentemente, a produção de mudas, sendo a disponibilidade de sementes um dos principais fatores limitantes na cadeia produtiva do pau-rosa. A germinação de sementes de pau-rosa é considerada do tipo hipógea-criptocotiledonar, o tegumento apresenta resistência física à emissão da radícula, portanto, a cuidadosa retirada do tegumento auxilia na redução pela metade do tempo da germinação, porém, quando ocorre o dessecamento da semente, o tegumento enrijece e aumenta a resistência física dificultando o processo germinativo.

A produção de mudas pode ser realizada por meio de semeadura direta ou em sementeiras para posterior repicagem. Para o seu desenvolvimento inicial (período de seis meses), o pau-rosa necessita de 30% a 50% de sombreamento (Gonçalves *et al.*, 2005), para maior incremento de biomassa aérea, apesar de ser considerada uma espécie heliófila quando juvenil (Alencar & Fernandes, 1978). Posteriormente, recomenda-se que as mudas de pau-rosa, com 25 cm de altura, sejam plantadas em covas de dimensão de 30 cm x 30 cm x 30 cm, no início do período chuvoso, preferencialmente sob sombreamento de 50 % durante cerca de 18

meses (Krainovic, 2011; Sampaio *et al.*, 2021) e roçadas anualmente para eliminar a competição com plantas invasoras.

Além da propagação de sementes, a espécie pode ser propagada por meio de estacas, possibilitando a clonagem de indivíduos com os genótipos superiores para produção de mudas mais resistentes, em quantidade e com qualidade do óleo necessária para o estabelecimento de plantios comerciais (Sampaio *et al.*, 2007; 2021), bem como para conservação de recursos genéticos do pau-rosa. A seleção de mudas de indivíduos com maior produtividade e qualidade auxilia não só em maior ganho genético, mas também contribui para conservação *in situ* da espécie, para a instalação de plantios comerciais, além de diminuir a pressão das populações naturais remanescentes.

Plantios manejados por meio da poda da copa das árvores possibilita uma maior produtividade de óleo proveniente das folhas e galhos (Sampaio *et al.*, 2000). Contudo, o sucesso dos plantios dependerá principalmente da capacidade de rebrota e do crescimento vigoroso dos brotos das árvores de pau-rosa, já que a biomassa está diretamente relacionada à produtividade do óleo, além da quantidade de luz disponível à copa, favorecendo o aumento da quantidade de biomassa aérea, a limpeza e preparo da área entre outros, a fim de consolidar os sistemas de plantios como uma alternativa para o manejo da espécie e maximização da produtividade de biomassa aérea e, conseqüentemente, de óleo essencial.

As árvores de pau-rosa foram intensamente exploradas, desde a década de 1920, devido à alta demanda das indústrias da perfumaria pelo álcool de linalol, que apresenta um aroma doce, amadeirado, intenso e agradável e, portanto, amplamente utilizado como fixador natural de perfume. A extração do óleo, líquido de aparência oleosa à temperatura ambiente, é realizada por meio da destilação por arraste com vapor d'água de qualquer parte da planta, sendo extraída principalmente da madeira (Araújo *et al.*, 1971; Ohashi *et al.*, 1997). Contudo, estudos demonstram que a biomassa aérea de folhas e galhos está diretamente relacionada com a produção de óleo, portanto, o manejo da poda da copa das árvores é de extrema importância para a conservação da espécie.

A quantidade extraída e exportada de óleo essencial atingiu o máximo durante a década de 1950 (599 t e 444 t respectivamente) mantendo-se acima de 100 toneladas/ano até a década de 1980. O óleo de pau-rosa era enviado para os Estados do Sul do Brasil e a maior parte exportado para os países como França, Estados Unidos da América, Japão, Holanda, Inglaterra e Rússia (Pinto & Ramalho, 1970).

Os principais fatores da redução da produção do óleo essencial foram porque a espécie em populações naturais se tornou rara devido ao método de colheita destrutivo, sendo então

obtida em áreas de difícil acesso e com um custo elevado (abate, arraste e transporte da tora) e o surgimento do linalol sintético obtido a um preço menor do que o produto natural. Segundo Ferraz *et al.* (2009), a falta de fiscalização pelos órgãos ambientais e a ausência de políticas públicas referente ao ordenamento da exploração com técnicas e métodos sustentáveis também colaboraram para o desaparecimento da espécie e, conseqüentemente, à diminuição da disponibilidade de óleo para o mercado. Logo, a prática da exploração extrativista predatória das árvores de pau-rosa causou uma drástica redução das populações naturais (Costa; Ohashi; Daniel, 1995), fazendo com que a espécie fosse colocada na lista de em risco de extinção por meio da Portaria nº 37-N, de 03 de abril de 1992, pelo IBAMA. Desde então, algumas estratégias foram adotadas (BRASIL, 1992; 1998; 2011) como o corte de árvores de diâmetro superior a 25 cm de DAP e, no mínimo, acima dos 50 cm do solo, a poda das árvores para possibilitar a rebrota, a equivalente reposição das árvores extraídas por meio de plantios e utilização comercial da espécie a partir de Plano de Manejo Florestal Sustentável – PMFS.

As restrições exigidas pelas legislações estimularam a implantação e expansão das áreas de plantios de pau-rosa, a seleção de matrizes para produção de propágulos e novos métodos silviculturais (Araujo *et al.*, 1971; Leite *et al.*, 2001; May & Barata, 2004; Ferraz *et al.*, 2009; Lara *et al.*, 2021) como o manejo regular das copas das árvores para produção de óleo essencial a partir de folhas e galhos que notadamente apresenta um maior percentual de biomassa após a poda e uma qualidade semelhante ao da madeira (Sampaio *et al.*, 2005), contudo, para produzir a mesma quantidade de óleo que o tronco da árvore será necessária uma proporção significativamente maior de biomassa e, portanto, um número superior de indivíduos.

Atualmente, o uso de linalol ainda tem mercado na indústria de perfumaria, pois seus componentes adicionam notas de madeira que são desejáveis em diversas fragrâncias fazendo com que permaneça o interesse da indústria pelo óleo essencial, demonstrando a importância da produção de mudas com qualidade e quantidade necessária para implantação e a expansão de plantios em escala comercial, em consórcios econômicos ou plantios puros, e a viabilidade do manejo do pau-rosa de modo a tornar o produto competitivo no mercado (Alencar & Fernandes, 1978).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área indígena Andirá-Marau localizada nas divisas entre os estados do Amazonas e do Pará totaliza uma área de 788.528 hectares (Figura 1). Politicamente, divide-se em três áreas caracterizadas pelos rios que contornam o seu território: o **rio Andirá**, no município de Barreirinha, o **rio Uaicurapá** no município de Parintins e o **rio Marau**, no município de Maués (Silva *et al.*, 2010). Além desses municípios, a terra indígena também engloba os municípios de Aveiro e Itaituba no estado do Pará.

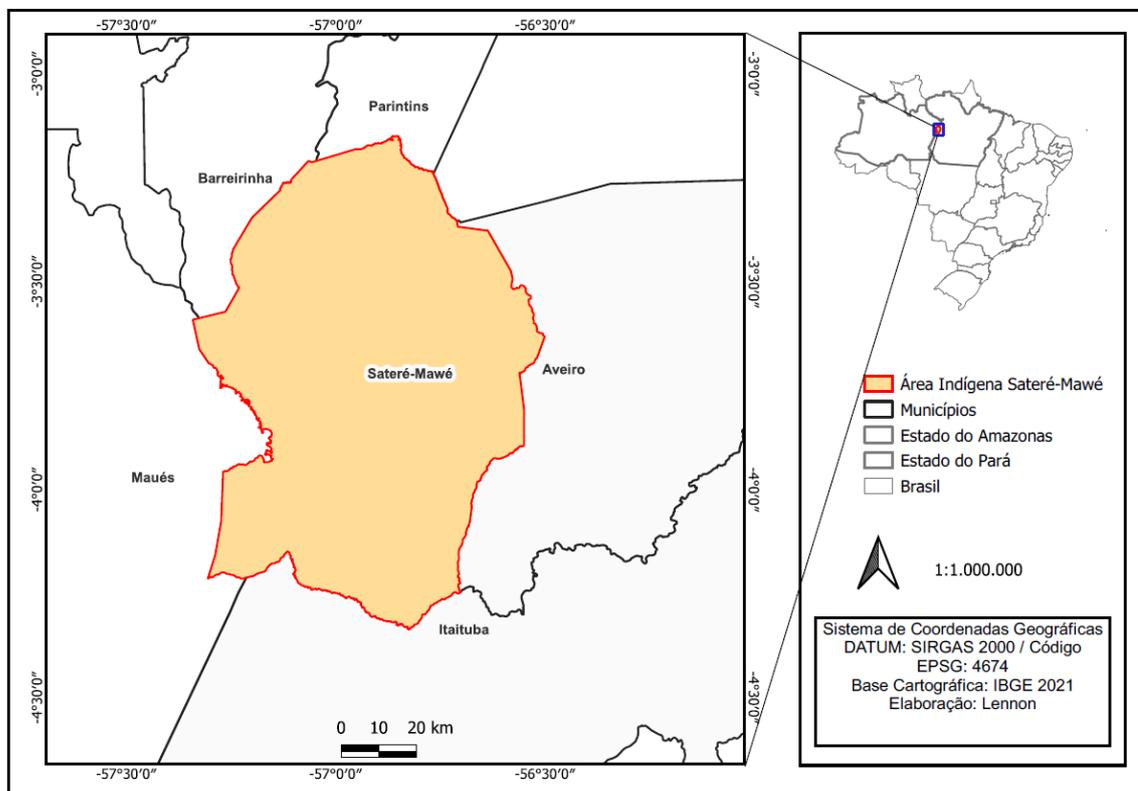


Figura 1 - Área indígena Sateré-Mawé.

O clima em Maués segundo a classificação de Köppen-Geiger (1948), é do tipo “Af”, caracterizando-se como quente e úmido, com chuvas regulares e abundantes, com uma pluviosidade média anual de 2.101 mm e uma temperatura média anual de 27,2 °C. O solo é classificado como latossolo vermelho amarelo distrófico (Krainovic, 2017).

O estudo foi realizado em três comunidades indígenas do rio Marau (Ilha Michilis - IM, Monte Horebe - MH e Nova Esperança - NE), no município de Maués, que possuíam plantios de pau-rosa (*Aniba rosodora*) com 7 anos de idade.

4.2 INVENTÁRIO FLORESTAL

Um censo florestal (Figura 2) foi realizado nos plantios com indivíduos igual ou superior a 5 cm de diâmetro localizados na calha do rio Marau nas comunidades: Ilha Michilis (3° 45' 16.24"S; 57° 14' 15.62"O) com uma área total de 180 ha; Monte Horebe (3° 44' 57.51"S; 57° 14' 45.95"O) com 43,8 ha; e Nova Esperança (3° 44' 47.34"S; 57° 15' 23.43"O) com 0,82 ha.



Figura 2 - Inventário Florestal: A - DAP; B - Diâmetro da copa; e C - Identificação do indivíduo.

Os plantios caracterizavam-se por não serem parametrizados, ou seja, não possuíam espaçamentos bem definidos, portanto, os indivíduos estavam distribuídos aleatoriamente ao longo das áreas, sendo necessária a ajuda dos proprietários na localização e identificação das árvores.

Os indivíduos de pau-rosa foram identificados sequencialmente com placas de alumínio e mensurados o Diâmetro à Altura do Peito (DAP), a altura total, altura da copa, altura do fuste e comprimento da copa com o uso de uma trena e uma régua padronizada. A Tabela 1 mostra a quantidade de árvores inventariadas por comunidade.

Tabela 1 - Indivíduos inventariados nas áreas de estudo.

Proprietários	Nº de indivíduos	Local	Total
Aureliano	6	Ilha Michilis - SAF's	140
Claudemir	14		
Edianderson	39		
Enock	21		
Josebias	6		
Josimar	3		

Proprietários	Nº de indivíduos	Local	Total
Manuel Queiroz	8	Monte Horebe - Monocultivo	67
Eliza	6		
Neanderson	14		
Osmar	18		
Sidney	5		
Abias	16		
Abimalek	13		
Evelon	6		
Ezequiel	12		
Isael Batista	3		
Jaco	11		
Jose Augusto	6		
Aristides	20	Nova Esperança - Floresta	20
Total	-	-	227

A localização geográfica dos indivíduos foi definida a partir do uso do GPS Garmin 78 cs, e em seguida, os pontos foram transferidos para o software QGIS 3.32 para serem georreferenciados (Figura 3 a 5).

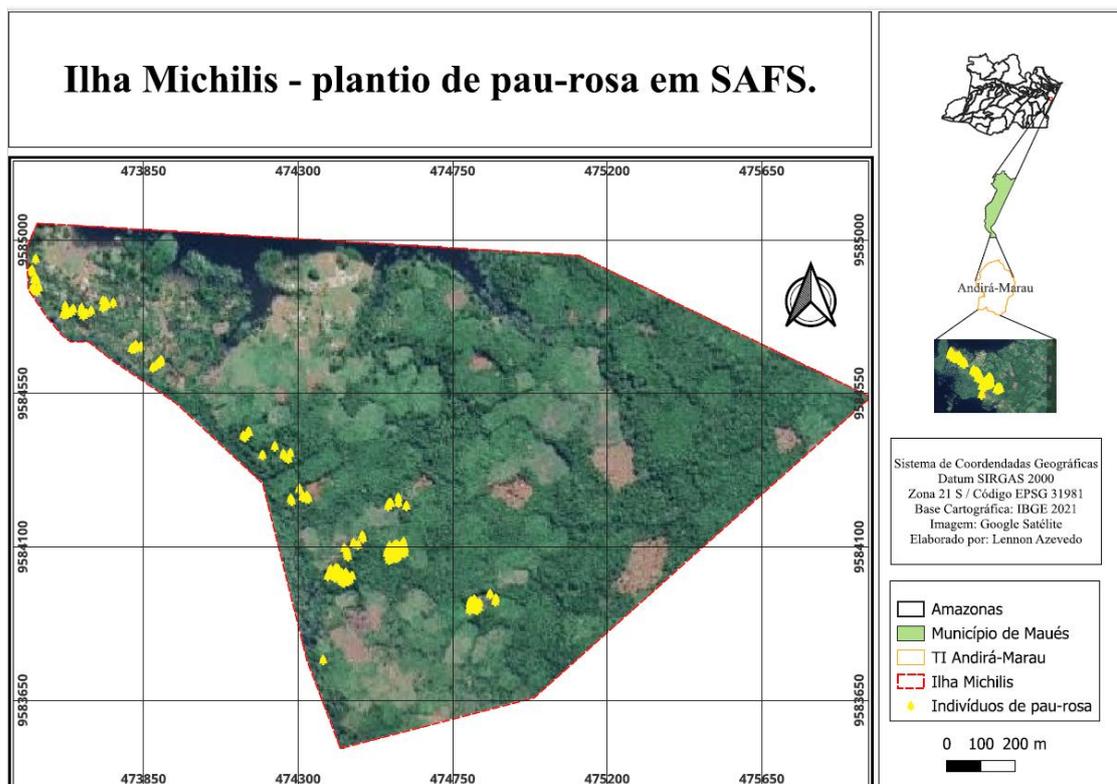


Figura 3 - Ilha Michilis com plantios de pau-rosa em Sistema Agroflorestal Sustentável - SAFs.

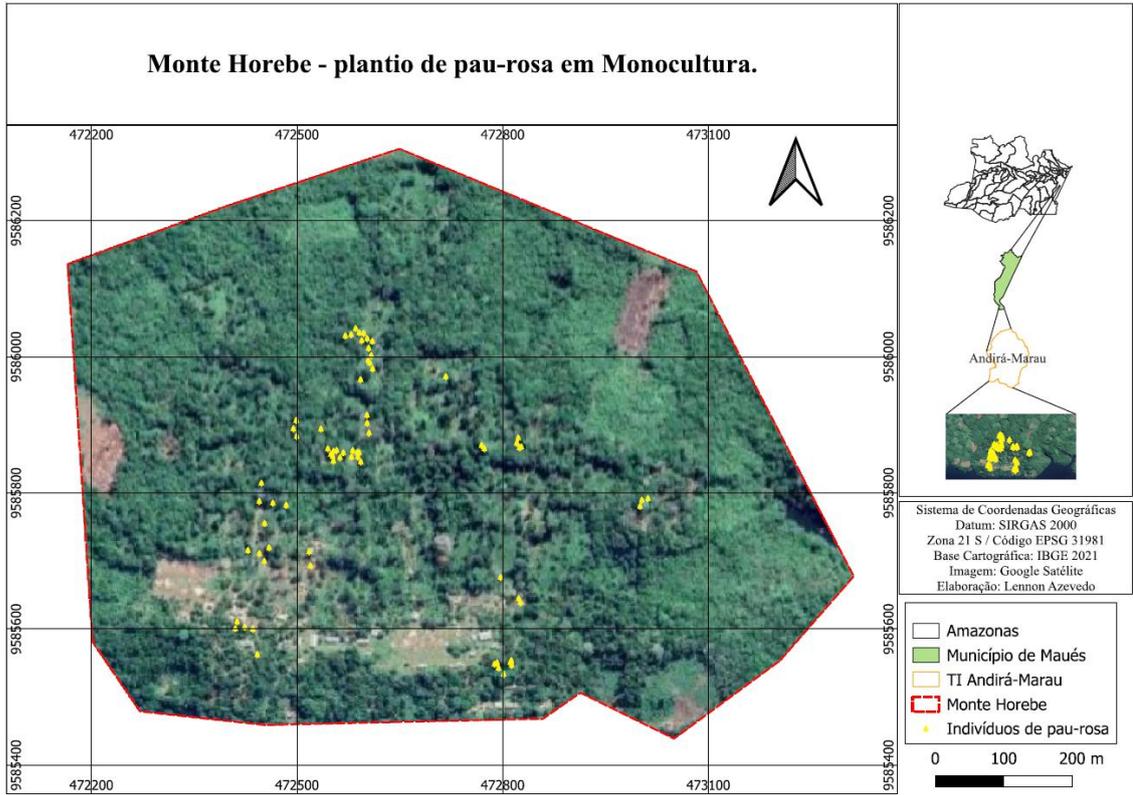


Figura 4 - Monte Horebe com plantios de pau-rosa em Monocultivo.

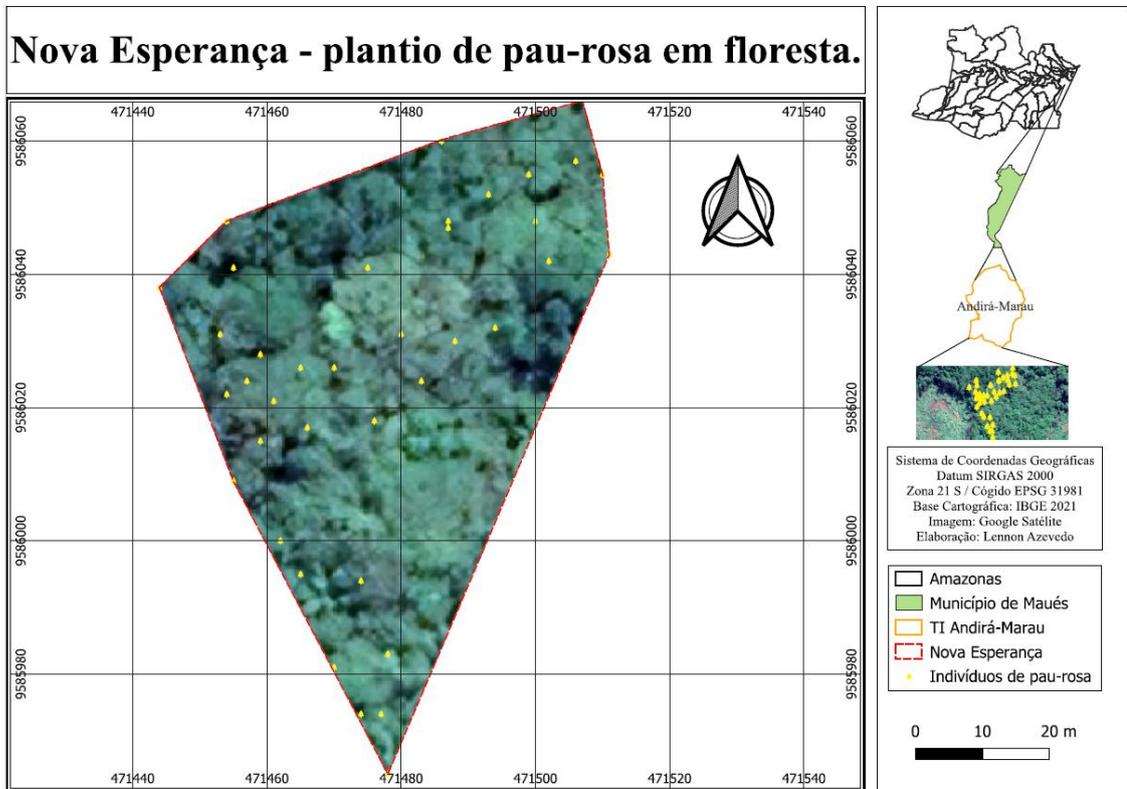


Figura 5 - Nova Esperança com plantios de pau-rosa em Floresta.

4.2.1 Diâmetro à Altura do Peito (DAP)

Durante a medição optou-se pela utilização da fita métrica, pelo fato de ser facilmente encontrada e de fácil manuseio, porém, os valores obtidos correspondem à Circunferência à Altura do Peito (CAP) e que para serem convertidas em valores de DAP foi necessária a divisão pelo valor de π (pi), resultando num valor em centímetros (cm) como mostra a equação abaixo:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Onde:

DAP – Diâmetro à Altura do Peito

CAP – Circunferência à Altura do Peito

π (pi) – 3,1416

4.2.2 Altura Total, Altura do Fuste, Altura e Diâmetro da Copa

Para a mensuração da altura total da árvore (h_t) foi utilizada uma régua graduada de 5 metros com uma marcação de fita a cada 1 metro (para uma melhor visualização e aferição da altura) (Figura 6). Após, foi medida a altura do fuste (h_f - distância entre a base da árvore e o início da copa) e, em seguida, com a diferença dos valores da altura total com a altura do fuste determinou-se a altura da copa do indivíduo que compreende o comprimento da copa (cc). Além disso, para a aferição do diâmetro da copa (dc) foram tomadas duas medidas (X e Y) da projeção da copa utilizando uma trena de 30 m. Todos os valores medidos foram registrados numa ficha de campo com unidade de medida em metros.

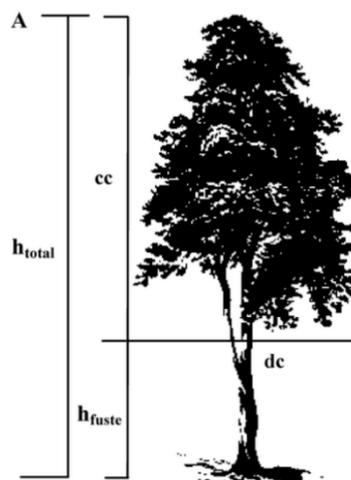


Figura 6 - Representação da altura total e de fuste da árvore, comprimento e diâmetro de copa.

4.3 QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA COM USO DO MÉTODO INDIRETO

Após a realização do Inventário Florestal e, em posse dos dados dendrométricos, a determinação da biomassa dos plantios foi definida a partir do método indireto, utilizando-se as equações propostas por Krainovic *et al.* (2017), como segue abaixo (ver anexo A):

4.3.1 Volume - V

$$V = 0,000071579 \times DAP^{1,624} \times H^{1,189}$$

Onde:

DAP – Diâmetro à Altura do Peito

H – Altura Total

V – Volume em m³

4.3.2 Biomassa seca acima do solo - BSAS

$$BSAS = 0,14867 \times DAP^{1,50003} \times H^{0,93917}$$

4.3.3 Biomassa seca na copa - BSC

$$BSC = 0,4507 \times DAP^{1,1659} \times H^{0,2965}$$

4.3.4 Biomassa seca no fuste - BSF

$$BSF = BSAS - BSC$$

As equações acima estimam a produtividade de biomassa em Quilograma (kg) a partir dos parâmetros Altura (H) e Diâmetro (DAP) não sendo necessário o abate das árvores.

Neste estudo optou-se pela equação de biomassa seca acima do solo (BSAS) para estimar a quantidade de biomassa total nos plantios (kg). Além disso, optou-se pelo uso da equação da biomassa da copa (já considerando os galhos grossos, galhos finos e folhas) e do fuste para a estimativa dos compartimentos de forma individualizada.

As equações foram utilizadas para as três áreas deste estudo: Ilha Michilis (SAFs), Monte Horebe (Monocultura) e Nova Esperança (Floresta) para entender qual plantio estocou a maior parte da biomassa.

4.4 ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL

A produtividade do óleo essencial de pau-rosa nos plantios avaliados foi estimada de acordo com os critérios estabelecidos na Instrução Normativa N° 09, de 25 de agosto de 2011, do IBAMA, como mostra a Tabela 2:

Tabela 2 - Estimativa do rendimento do óleo de pau-rosa.

	Proporções da árvore	%
Rendimento (kg)	Tronco	1,1
	Galhos grossos > 10cm	1,2
	Folhas e galhos finos	1,9
	Árvore inteira	1,25

Após a determinação da biomassa por meio das equações (acima do solo, seca na copa e seca no fuste), em cada área de plantio e com o uso dos parâmetros de rendimento definidos pelo IBAMA, para cada proporção da árvore, foi realizada a estimativa da produtividade do óleo essencial para a biomassa total acima do solo (rendimento de uma árvore inteira - 1,25%) e dos compartimentos fuste (rendimento do tronco - 1,1%) e copa (rendimento dos galhos grossos – 1,2 % e dos galhos finos - 1,9%), ambos os rendimentos foram somados para a obtenção de um único valor para a produtividade da copa.

A partir da estimativa de produtividade do óleo calculou-se ainda, por árvore inteira e por compartimentos fuste e copa, a estimativa de rentabilidade dos plantios aqui avaliados, considerando o preço do óleo de pau-rosa no mercado internacional a \$ 400,00 o quilograma que, em seguida, foi convertido para a moeda nacional perfazendo um total de 2.282,00 reais o quilograma do óleo com a cotação do dólar a 5,706 reais.

4.5 INTERVENÇÃO SILVICULTURAL - PODA DOS PLANTIOS EM SAF'S E MONOCULTURA

A retirada da biomassa da copa foi realizada pelos próprios produtores dada as suas disponibilidades em realizarem as podas das árvores. Inicialmente, foram selecionados 15 indivíduos no total. Desse total, 8 (oito) estavam localizados na comunidade de Ilha Michilis (plantio em SAFs) e 7 (sete) na comunidade de Monte Horebe (plantio em Monocultura). A partir disso, os produtores foram orientados a realizarem a retirada da biomassa da copa a uma intensidade de 50% com o auxílio de terçado, e em seguida, as biomassas retiradas foram

acondicionadas em sacos de ráfia, identificadas por comunidade e pesadas com o auxílio de uma balança analógica (Figura 7).



Figura 7 - A - Indivíduo de pau-rosa podado; B - Sacos com biomassa retirada da copa.

4.6 VIGOR DOS BROTOS APÓS A PODA

Após um período de 12 meses da poda, foi verificado o desenvolvimento da rebrota em campo dos indivíduos, ou seja, a quantificação da rebrota a partir da contagem do número de brotações e a mensuração do comprimento e do diâmetro de cada broto (Figura 8). Os instrumentos utilizados para medição foram a trena e um paquímetro digital.

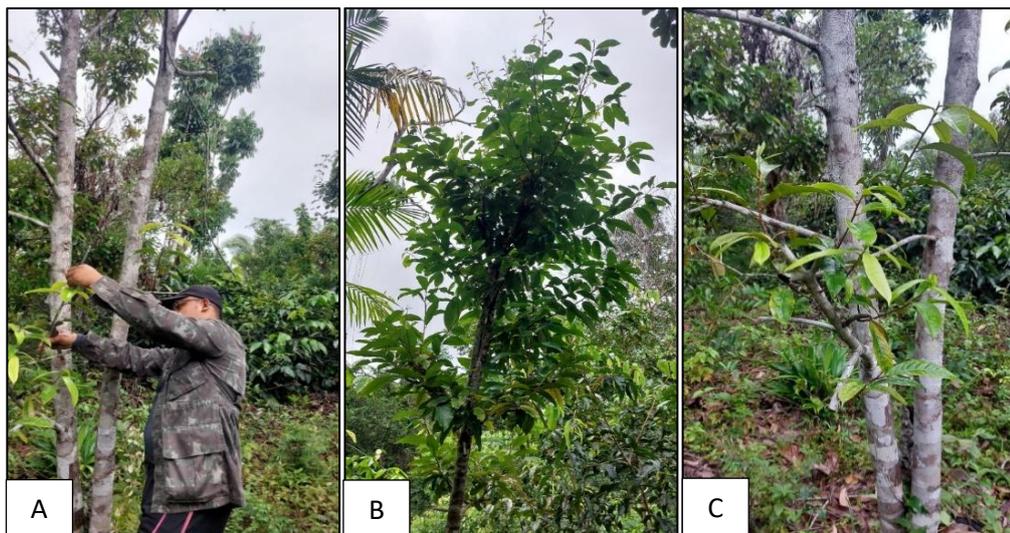


Figura 8 - A: Medição da rebrota; B: Rebrota de plantio em Monocultura; C: Rebrota de plantio em SAFS.

4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA PRODUTIVIDADE DE BIOMASSA E DO VIGOR DAS BROTAÇÕES

Para os três plantios avaliados (Ilha Michilis - SAFs, Monte Horebe - Monocultura e Nova Esperança - Floresta) foi realizado o teste de Kruskal-Wallis para verificar, após a obtenção dos cálculos dos dados de produtividade de biomassa (equações alométricas), se havia diferença significativa tanto com relação a produtividade de biomassa acima do solo e nos compartimentos copa e fuste, quanto com as variáveis dendrométricas (DAP e Altura Total). Em relação as variáveis da rebrota (número de brotos, diâmetro do broto e comprimento do broto) foi aplicado o teste de Mann-Whitney para entender se havia diferença significativa quanto ao crescimento das brotações nos plantios em SAF's e Monocultivo. Em ambas as análises o nível de significância foi de 5% de probabilidade.

4.8 AMOSTRAGEM, COLETA E ANÁLISE DO SOLO

4.8.1 Amostragem e coleta de solo

As coletas de solos limitaram-se aos plantios de pau-rosa na Ilha Michilis e em Monte Horebe (Figura 9). Em tais plantios, para se estabelecer uma maior compreensão dos aspectos físicos e químicos do solo, foram distribuídas no total 6 (seis) parcelas para coleta de solos, 3 (três) delas submetidas ao Sistema Agroflorestal, correspondendo ao plantio de Ilha Michilis (IM), denominadas SAF 01, SAF 02 e SAF 03, e as outras 3 (três) em Monocultura correspondendo ao plantio em Monte Horebe - MH (MON 01, MON 02 e MON 03). Vale ressaltar que as parcelas foram distribuídas no meio dos plantios de modo a evitar os efeitos de borda e garantir uma melhor distribuição das parcelas dos solos ao longo da área de modo a se obter uma melhor representação tanto dos solos em SAF's quanto em Monocultivo.

Cada parcela apresentava as dimensões de 30 m x 45 m, subdivididas em 3 subparcelas de 30 m x 15 m. Nas subparcelas foram coletados aleatoriamente 5 (cinco) pontos de solo nas camadas de 0-10 cm e 5 (cinco) pontos nas de 10-20 cm. Cada ponto coletado nas respectivas camadas foi misturado por parcela para obtenção de uma única amostra composta, totalizando 12 amostras, ou seja, 6 (seis) amostras nas camadas de 0-10 cm e 6 (seis) nas camadas de 10-20 cm. Portanto, foram obtidas por camada 3 (três) amostras de solo submetido ao Sistema Agroflorestal e 3 (três) em Monocultura (Tabela 3).

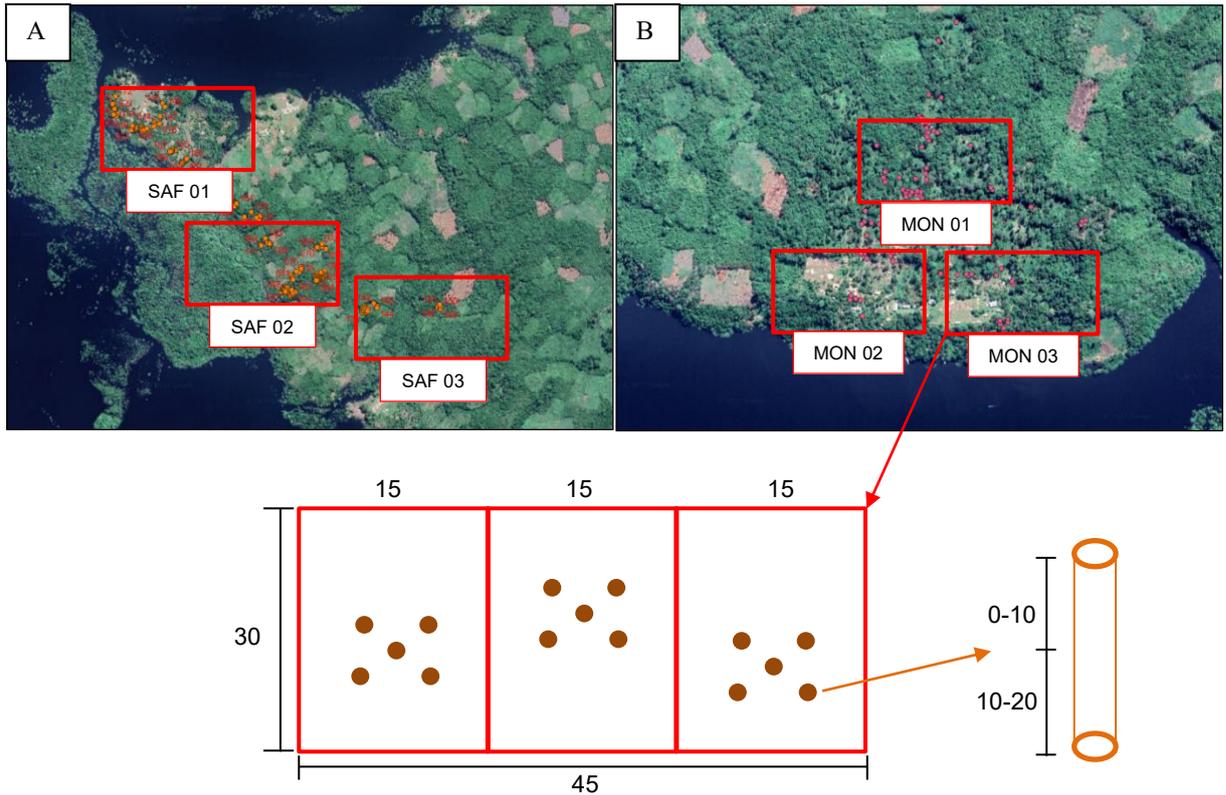


Figura 9 - Representação exemplificativa das áreas e metodologia de amostragem e coleta de solo: A - Ilha Michilis: Sistema Agroflorestal e B - Monte Horebe: Monocultura.

A metodologia utilizada para amostragem e coleta de solo foi adaptada da proposta por Vignoli *et al.* (2022), aos quais os autores objetivaram avaliar a fertilidade de solos em Sistemas Agroflorestais indígenas.

Tabela 3 - Amostras coletadas em áreas de SAF'S e Monocultura.

ÁREA / PARCELA	SUBPARCELA	PONTO DE COLETA (Por camadas)		AMOSTRA COMPOSTA (Por camadas)	
		0-10	10-20	0-10	10-20
SAF1	SAF1S1	5	5		
	SAF1S2	5	5	1	1
	SAF1S3	5	5		
SAF2	SAF2S1	5	5		
	SAF2S2	5	5	1	1
	SAF2S3	5	5		
SAF3	SAF3S1	5	5		
	SAF3S2	5	5	1	1
	SAF3S3	5	5		

ÁREA / PARCELA	SUBPARCELA	PONTO DE COLETA (Por camadas)		AMOSTRA COMPOSTA (Por camadas)	
		0-10	10-20	0-10	10-20
MON1	MON1S1	5	5		
	MON1S2	5	5	1	1
	MON1S3	5	5		
MON2	MON2S1	5	5		
	MON2S2	5	5	1	1
	MON2S3	5	5		
MON3	MON3S1	5	5		
	MON3S2	5	5	1	1
	MON3S3	5	5		
TOTAL				6	6

Em relação aos aspectos físicos (areia, silte e argila), buscou-se entender a classificação textural entre as profundidades (0-10 cm e 10-20 cm), entre as subparcelas de Sistema Agroflorestal (SAFs-1, SAFs-2 e SAFs-3) e entre as subparcelas de Monocultivo (MON-1, MON-2 e MON-3) de modo a indicar para cada produtor o tipo de solo a serem usados em futuros plantios e sua melhor localização (se em solos com SAF's ou Monocultivo). Por outro lado, quanto aos aspectos químicos do solo comparou-se a influência de cada ambiente (SAFs e Monocultivo) nos níveis médios de nutrientes do solo por profundidade (0-10 cm e 10-20 cm). Para a retirada do solo utilizou-se as seguintes ferramentas (Figura 10): Terçado – para a limpeza da área; Trena – para medir o tamanho do bloco de coleta; Fita – para sinalizar a área a ser coletada; Trado holandês – para perfurar e coletar o solo; e Sacos plásticos – para acondicionamento das amostras.

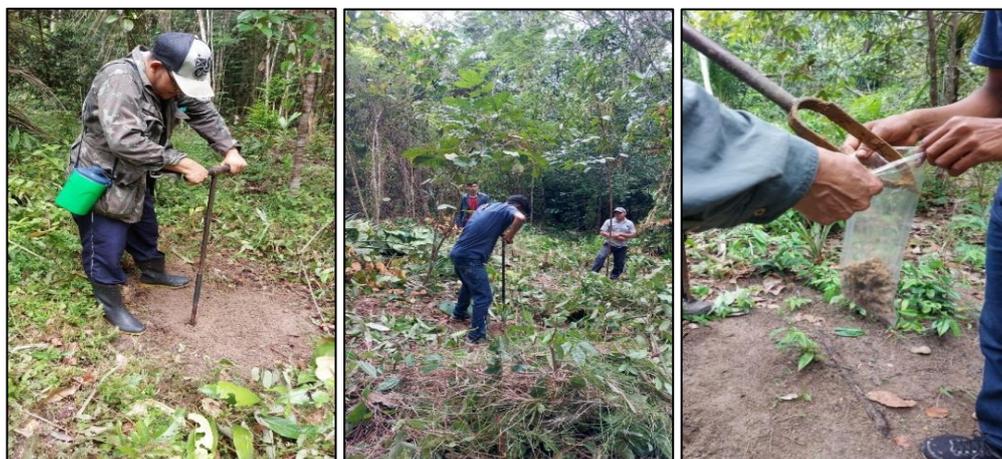


Figura 10 - Coleta de solos nas áreas de SAFs e em Monocultura.

O solo coletado (amostras) foi encaminhado e analisado no Laboratório Temático de Solos e Plantas, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA).

4.8.2 Análise física e química do solo

Para as proporções de areia, silte e argila no solo foi utilizado o método de dispersão rápida (EMBRAPA, 2011), sendo considerada apenas a porção do solo com partículas menores que 2 mm de diâmetro, com areia (0,06 e <2), silte (0,002 e <0,06) e argila (<0,002). As amostras de solo foram postas para secar ao ar livre e, posteriormente, destorroadas e peneiradas (Figura 11).



Figura 11 - Secagem das amostras de solo.

As análises químicas (Figura 12) também foram realizadas conforme a metodologia proposta pela EMBRAPA (2011), as quais determinou-se o pH em H₂O (na proporção solo/água 1:2,5), os teores trocáveis de Ca, Mg, K, Al e P disponível, carbono orgânico (C), nitrogênio (N) e os micronutrientes Zn, Mn e Fe (Figura 12). Os cátions trocáveis Ca, Mg e Al foram extraídos com KCl, e N, P, K, Zn, Mn e Fe extraídos com ácido duplo (H₂SO₄ 0,0125 M + HCl 0,05 M). O C orgânico foi determinado pelo método Walkley-Black e o nitrogênio por Kjeldahl. A matéria orgânica foi calculada a partir do teor de C orgânico.





Figura 12 - Procedimentos laboratoriais para a análise química do solo.

4.8.3 Influência dos sistemas de plantio na disponibilidade de nutrientes no solo

Quanto aos aspectos físicos, foi realizada a classificação textural com base no triângulo do solo obtendo-se as frações de Areia, Silte e Argila para os ambientes SAFs e Monocultivo.

Para os parâmetros químicos do solo foi aplicado a Estatística Descritiva para entender se havia diferença nas concentrações de nutrientes em cada ambiente (SAFs e Monocultura), bem como, na sua distribuição entre as profundidades do solo. Para ambas as análises foi utilizado o software R studio.

5 RESULTADOS

5.1 BIOMASSA E PRODUTIVIDADE DO ÓLEO ESSENCIAL DE PAU-ROSA

A maior variação observada quanto ao diâmetro a altura do peito (DAP) foi no plantio de Ilha Michilis (IM), cujos valores mínimos e máximos variaram entre 1,59 e 16,56 cm. No plantio de Monte Horebe (MH), o DAP dos indivíduos apresentou valores mínimos e máximos entre 1,91 e 16,56 cm, enquanto que o plantio de Nova Esperança (NE) variou entre 2,23 e 7,96 cm.

Em relação à altura total, a maior variação individual foi encontrada no plantio MH com valores mínimos e máximos resultando em 2,5 e 10 metros. O plantio de IM apresentaram os valores de altura total variando entre 2,5 e 10,8 metros. O plantio de NE continuou tendo as menores variações individuais apresentando valores mínimos e máximos entre 2,5 e 8,15 metros.

Os valores médios de biomassa total acima do solo foram de: 22,71; 20,59 e 7,53 kg/árvore distribuídos entre os plantios de Monte Horebe (Monocultura), Ilha Michilis (SAFS) e Nova Esperança (Floresta) respectivamente.

A biomassa total acima do solo para os três plantios foi de 4781,17 kg distribuídos em: 3109,07 kg (IM), 1521,55 kg (MH) e 150,55 kg (NE).

A biomassa total dos compartimentos resultou em 1989,46 kg para a copa e 2791,71 kg para o fuste em relação as três áreas de estudo. Quando analisada de forma separada, no plantio IM, resultou em 1312,16 kg para a biomassa da copa com uma produção de óleo de 40,68 kg. Em relação a biomassa do fuste, apresentou um valor de 1796,51 kg correspondendo a 57,80% desse compartimento e aproximadamente 19,77 kg de óleo de pau-rosa.

O plantio MH foi o que possuiu o segundo maior valor de biomassa da copa e do fuste, respectivamente 594,97 kg e 926,58 kg correspondendo a 39,10% e 60,90% da biomassa total. A produção estimada do óleo no compartimento copa resultou em 18,44 kg enquanto para o compartimento fuste o valor foi de 14,14 kg.

Quanto ao plantio NE, foi observado para o compartimento copa um total de 82,33 kg correspondendo a 54,69% da biomassa total com uma produção de óleo de 2,55 kg para a copa. Por outro lado, o compartimento fuste obteve uma biomassa de 68,22 kg o que corresponde 45,31% da biomassa total do compartimento e um valor estimado da produção de óleo de 0,75 kg.

Os valores médios de DAP, Altura Total, Biomassa Seca na Copa e Biomassa Seca no Fuste estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Médias e desvios dos valores de biomassa e variáveis dendrométricas nos plantios.

Plantio	DAP (cm)	HT (m)	BSAS (kg)	BSF (kg)	BSC (kg)
IM	7,76 ± 3,63	5,86 ± 1,69	20,59± 17,07	11,90 ± 12,07	8,69 ± 5,12
MH	7,68 ± 3,44	6,57 ± 2,10	22,71± 19,42	13,82 ± 14,36	8,88 ± 5,17
NE	4,23 ± 1,84	5,03 ± 1,86	7,52± 7,25	3,41 ± 4,74	4,12 ± 2,53

Legenda: Variáveis dendrométricas – DAP: Diâmetro à Altura do Peito; HT: Altura Total; BSAS: Biomassa acima do solo; BSF: Biomassa seca no fuste; BSC: Biomassa seca na copa; IM: Ilha Michilis – SAFs; NE: Nova Esperança – Floresta; MH: Monte Horebe – Monocultura.

Quando aplicado o teste de Kruskal-Wallis foram observadas diferenças significativas em relação a variável DAP entre os plantios de Ilha Michilis – IM e Nova Esperança bem como entre Monte Horebe - MH e Nova Esperança - NE. Ainda segundo o teste Kruskal-Wallis foi observado diferenças significativas em relação aos valores de Altura Total entre os plantios de IM-MH e entre MH-NE. Para os plantios IM-NE não houve diferença significativa. Os valores de p estiveram bem abaixo de 0,001 (Figura 13).

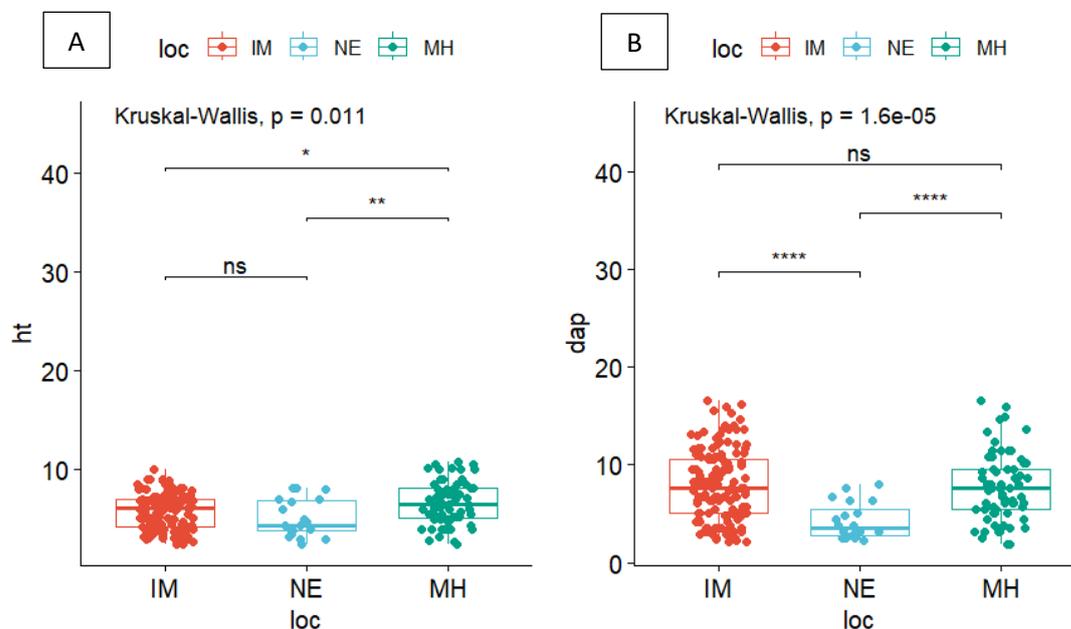


Figura 13 - Variáveis dendrométricas – A: Altura Total (ht); e B: Diâmetro à Altura do Peito (DAP).

Legenda: loc: localização do plantio; IM: Ilha Michilis – SAFs (pontos vermelhos); NE: Nova Esperança – Floresta (pontos azuis); MH: Monte Horebe – Monocultura (pontos verdes); ns – não significativo; * - pouco significativo; ** - significativo; **** - muito significativo pelo teste de Kruskal-Wallis.

Para a biomassa acima do solo foi encontrado diferença significativa apenas entre os plantios de IM – NE e MH-NE (Figura 14).

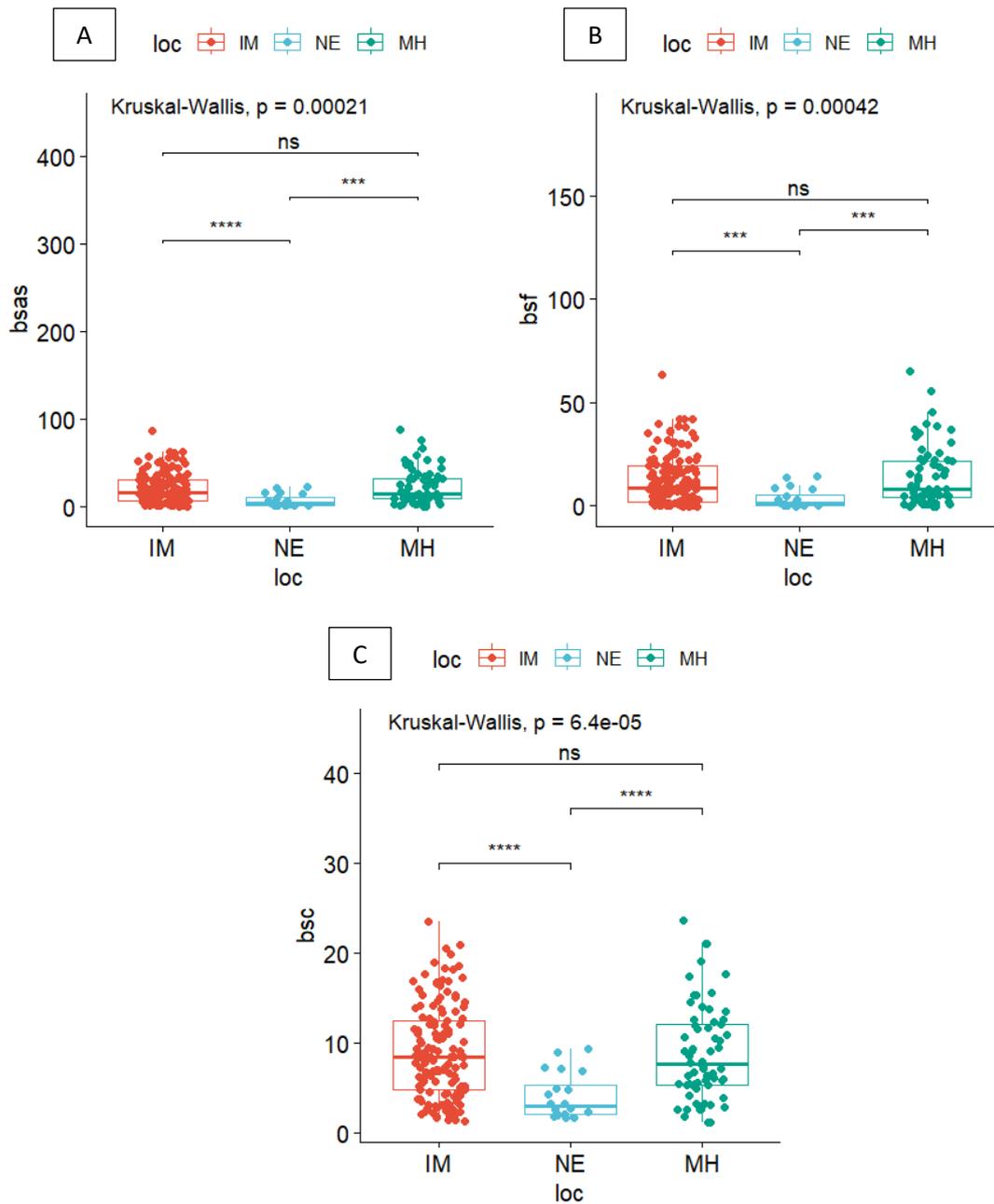


Figura 14 - Variáveis dendrométricas – A: Biomassa seca acima do solo (bsas); B: Biomassa seca no fuste (bsf); C: Biomassa seca na copa (bsc).

Legenda: loc: localização do plantio; IM: Ilha Michilis – SAFs (pontos vermelhos); NE: Nova Esperança – Floresta (pontos azuis); MH: Monte Horebe – Monocultura (pontos verdes); ns – não significativo; **** - muito significativo pelo teste de Kruskal-Wallis.

Quando analisadas de forma separadas, a biomassa do fuste e da copa apresentaram diferenças significativas nos plantios analisados: IM-NE e MH-NE. O valor de p para os dois compartimentos apresentou valor abaixo de 0,001.

Não houve diferença significativa entre os plantios IM-MH para as todas as variáveis dendrométricas avaliadas (DAP, Altura total, Biomassa acima do solo, Biomassa da copa e do fuste) apresentando um valor de p maior que 0,001 como observado nos gráficos acima.

5.1.1 Rentabilidade da produtividade de óleo essencial

A estimativa de rentabilidade dos plantios avaliados, por árvore inteira e por compartimentos fuste e copa estão apresentados na Tabela abaixo:

Tabela 5 - Estimativa de rentabilidade da produção de óleo de pau-rosa nos sistemas de plantios.

Plantio	Produtividade do óleo no fuste (kg)	Produtividade do óleo na copa – galhos grossos + galhos finos + folhas(kg)	Produtividade total do óleo (kg)	Preço do óleo no Mercado Internacional \$400	Valores em reais (dólar = R\$5,706)
IM	19,77	40,68	38,86	15545,35	88.701,78
MH	10,19	18,44	19,02	7607,77	43.409,92
NE	0,75	2,55	1,88	752,75	4.295,19
Total	30,71	61,67	59,76	23905,87	136.406,89

Legenda: IM: Ilha Michilis – SAFs; NE: Nova Esperança – Floresta; MH: Monte Horebe – Monocultura.

O plantio em SAFs, foi o que apresentou a maior estimativa de rentabilidade para os comunitários da Ilha Michilis com um valor do preço do óleo de pau-rosa no mercado internacional de \$15.545,35, equivalente a R\$ 88.701,78 convertido para a moeda nacional.

A comunidade Monte Horebe, com plantio em Monocultura, apresentou uma estimativa de rentabilidade de \$7.607,77 na produção do óleo de pau-rosa no mercado internacional, equivalente a R\$ 43.409,92.

Em Nova Esperança, área de Floresta, o preço do óleo em dólar foi de \$ 752,75 (R\$ 4.295,19), pois foi o sistema de plantio que apresentou a menor produção de óleo e, consequentemente, a menor rentabilidade.

5.2 VIGOR DOS BROTOS APÓS A PODA

O maior valor médio do número de brotos e comprimento dos brotos concentrou-se nos plantios em SAFs quando comparado com os plantios em Monocultura, entretanto, o plantio em Monocultura foi o que apresentou um maior diâmetro das brotações em relação ao SAFs como observa-se na Tabela 6 abaixo.

Tabela 6 - Valores médios e desvios das variáveis da rebrota.

Plantio	nº broto	comprimento (cm)	diâmetro (mm)
MON	9,37 ± 7,87 A	41,48 ± 21,51 A	9,5 ± 7,55 A
SAFs	10,12 ± 5,69 A	44,82 ± 16,78 A	4,62 ± 2,55 A
MÉDIA	9,75	43,15	7,05

Legenda: Variáveis da rebrota nos dois sistemas de plantio: MON – Monocultura; SAFs: Sistema Agroflorestal; A: letras iguais indicam que não há diferença entre as variáveis das rebrota quando comparado os dois sistemas de plantio segundo o teste de Mann-Whitney.

Não houve diferença significativa em relação aos parâmetros da brotação: número, diâmetro e comprimento quando realizado o teste de Mann-Whitney para dados não paramétricos entre os dois sistemas de plantio avaliados neste estudo.

5.3 ANÁLISE FÍSICA DO SOLO

O maior percentual de areia foi encontrado para a área de SAFs na profundidade de 10-20 cm (545 g/kg⁻¹ ou 54,5 %) e o menor valor foi encontrado em Monocultura na profundidade de 10-20 cm (300 g/kg⁻¹ ou 30%).

Quanto aos valores de argila o maior valor se deu em SAFs (327 g/kg⁻¹ ou 32,7%) e o menor na Monocultura (199 g/kg⁻¹ ou 19,9%), ambos nas camadas de 0-10 cm.

Os valores de silte complementaram a distribuição das partículas minerais com valores de 481 g/kg⁻¹ (48,1%) para a Monocultura e 128 g/kg⁻¹ (12,8%) para SAFs com ambos distribuídos na camada de 0-10 cm. A classificação textural está apresentada na Tabela 7 a seguir:

Tabela 7 - Análise física do solo.

Subárea	Profundidade cm	Areia total	Silte	Argila	Classificação Textural
		g/kg ⁻¹			
mon1	0-10 cm	320	481	199	Franco-argilo-siltoso
	10-20 cm	305	467	228	Franco-argilo-siltoso
mon2	0-10 cm	317	444	239	Argilo-siltoso
	10-20 cm	310	387	303	Argilo-siltoso
mon3	0-10 cm	317	439	245	Argilo-siltoso
	10-20 cm	300	375	325	Argilo-siltoso
safsl	0-10 cm	510	244	245	Franco-argilo-arenoso
	10-20 cm	476	235	288	Franco-argilo-arenoso

Subárea	Profundidade cm	Areia total	Silte	Argila	Classificação Textural
		g/kg ⁻¹			
safs2	0-10 cm	523	250	226	Franco-argilo-arenoso
	10-20 cm	545	179	276	Franco-argilo-arenoso
safs3	0-10 cm	544	128	327	Argilo-arenoso
	10-20 cm	516	270	214	Franco-argilo-arenoso

Legenda: mon1, mon2, mon3 – Indicam as subáreas de Monocultura; safs1, safs2 e safs3 – Indicam as subáreas de SAFs: Sistema Agroflorestal.

5.4 ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO

5.4.1 Acidez do solo (pH em água e KCl e Al trocável)

Os valores de pH variaram de acordo com a profundidade do solo. Na Monocultura, o pH em água esteve entre 4,09 (camada de 0-10 cm) e 4,15 (camada de 10-20 cm), enquanto que no SAFs variou de 4,17 a 4,19 nas camadas analisadas.

O pH em KCl apresentou valores entre 3,79 e 3,66 na Monocultura e entre 3,83 e 3,71 no SAFs, para as camadas de 0-10 cm e 10-20 cm.

Os teores de Alumínio trocável (Al³⁺) também apresentaram variação conforme a profundidade. Na Monocultura, os valores oscilaram entre 1,53 cmolc/kg⁻¹ (0-10 cm) e 1,50 cmolc/kg⁻¹ (10-20 cm). No SAFs foram observados os maiores teores com 1,64 cmolc/kg⁻¹, para ambas as camadas (0-10 cm e 10-20 cm).

Os valores da acidez do solo estão apresentados na Tabela 8 a seguir:

Tabela 8 - Níveis de pH, KCl e Alumínio trocável.

Ambiente	pH				Al ³⁺	
	H ₂ O		KCl		cmol.kg ⁻¹	
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
MON	4,09	4,15	3,79	3,66	1,53	1,50
SAFS	4,17	4,19	3,83	3,71	1,64	1,64
MÉDIA	4,13	4,17	3,81	3,68	1,59	1,57
CV (%)	1,37	0,75	0,76	0,96	4,85	6,21

Legenda: MON – Monocultura; SAFs: Sistema Agroflorestal; pH: Potencial Hidrogeniônico em H₂O (água) e KCl (Cloreto de Potássio); Al³⁺: Alumínio trocável; CV: Coeficiente de Variação (%).

5.4.2 Macronutrientes (Cálcio, Magnésio, Potássio e Fósforo)

Em relação ao teor de Cálcio (Ca) houve um decréscimo no plantio em SAFs com a maior concentração na profundidade de 0-10 cm com um valor de 0,17 cmol.kg^{-1} . Os valores de Magnésio (Mg) também decresceram com o aumento de profundidade, passando de 0,14 a 0,13 cmol.kg^{-1} .

Os valores de Potássio (K) se repetiram tanto para as camadas como para o ambiente: Monocultura e SAFs corresponderam a 0,05 na camada de 0-10 cm e 0,04 para a camada de 10-20 cm.

O maior teor de Fósforo (P) disponível no solo foi encontrado em SAFs com valor de 8,47 mg/kg^{-1} na profundidade de 0-10 cm, na camada de 10-20 cm o valor foi de 7,63 mg/kg^{-1} . Na área de Monocultura o maior teor de P também foi na profundidade de 0-10 cm apresentando 5,91 mg/kg^{-1} , seguido de 4,07 mg/kg^{-1} na camada de 10-20 cm.

A tabela a seguir refere-se aos macronutrientes (Cálcio, Magnésio, Potássio e Fósforo) em sistemas de plantio em Monocultivo e Agroflorestal – SAF.

Tabela 9 - Níveis de Macronutrientes em Monocultura e Sistema Agroflorestal - SAF.

Ambiente	Ca ⁺²		Mg ⁺²		K ⁺		P	
	cmolc.kg ⁻¹				mg/kg ⁻¹			
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
MON	0,07	0,07	0,14	0,13	0,05	0,04	5,91	4,07
SAFs	0,17	0,15	0,10	0,10	0,05	0,04	8,47	7,63
MÉDIA	0,12	0,11	0,12	0,11	0,05	0,04	7,19	5,85
CV	57,31	54,88	21,64	20,01	5,64	9,02	25,10	43,00

Legenda: MON – Monocultura; SAF: Sistema Agroflorestal; Ca⁺²: Cálcio trocável; Mg⁺²: Magnésio trocável; K⁺: Potássio; P: Fósforo; CV: Coeficiente de Variação (%).

5.4.3 Micronutrientes (Cobre, Zinco, Manganês e Ferro)

Nos teores de Cobre (Cu) foi observado uma variação de acordo com o aumento da profundidade entre 0,18 (camada de 0-10 cm) e 0,22 mg/kg^{-1} (camada de 0-10 cm) nos plantios com monocultura. Nos plantios com SAFs essa variação foi em torno de 0,29 (camada de 0-10 cm) a 0,32 mg/kg^{-1} (camada de 10-20 cm).

Os teores de Zinco (Zn) decaíram com a profundidade no plantio em Monocultura (0,37 a 0,33 mg/kg⁻¹, enquanto em SAFs o resultado foi o oposto, pois, na camada de 0-10 obteve-se um valor de 1,35 mg/kg⁻¹ (0-10 cm) e 1,61 mg/kg⁻¹ (10-20 cm).

As concentrações de Manganês (Mn) tanto em Monocultura quanto em SAFs, seguiram o mesmo padrão de distribuição, decrescendo com aumento da profundidade. O maior valor individual encontrado foi de 3,55 mg/kg⁻¹ (0-10 cm) em Monocultura e o menor valor em SAFs com 1,26 mg/kg⁻¹ (10-20 cm).

Para os teores de Ferro (Fe) os maiores valores médios foram encontrados em SAFs com 106,55 mg/kg⁻¹ na camada de 10-20 cm e 107,19 mg/kg⁻¹ na camada de 0-10 cm. Para o plantio em monocultura os valores variaram entre 77,65 mg/kg⁻¹ (10-20 cm) a 82,49 mg/kg⁻¹ (0-10 cm).

A tabela a seguir refere-se aos micronutrientes (Cobre, Zinco, Manganês e Ferro) em sistemas de plantio em Monocultivo e Agroflorestal – SAF.

Tabela 10 - Níveis de Micronutrientes em Monocultura e Sistema Agroflorestal - SAF.

Ambiente	Cu ⁺²		Zn ⁺²		Mn ⁺²		Fe ⁺²	
	mg/kg ⁻¹							
	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20	0-10	10-20
MON	0,18	0,22	0,37	0,33	3,55	2,56	82,49	77,65
SAFs	0,29	0,32	1,35	1,61	1,90	1,76	106,55	107,19
MÉDIA	0,24	0,27	0,86	0,97	2,72	2,16	94,52	92,42
CV (%)	32,28	27,82	80,68	93,93	43,03	26,10	18,00	22,60

Legenda: MON – Monocultura; SAFs: Sistema Agroflorestal; Cu⁺²: Cobre; Zn⁺²: Zinco; Mn⁺²: Manganês; Fe⁺²: Ferro; CV: Coeficiente de Variação (%).

5.4.4 Nitrogênio orgânico, Carbono orgânico e Matéria Orgânica do Solo (MOS)

O maior valor de Nitrogênio (N) do solo ocorreu no plantio em Monocultura com 1,65 g/kg⁻¹ na camada de 0-10 cm. Em SAFs para a mesma camada esse valor foi de 1,32 g/kg⁻¹. Para a profundidade de 10-20 cm o teor de N foi diminuindo apresentando 1,44 g/kg⁻¹ para monocultura e 1,18 g/kg⁻¹ para SAFs.

Os teores de C variaram de acordo com o aumento da profundidade (Tabela 9). Para a Monocultura esses valores estiveram entre 13,82 (camada de 0-10 cm) a 15,67 (camada de 10-20 cm). Os maiores teores de C concentraram-se nos plantios com SAFs e oscilaram entre 17,10 e 18,38 g/kg⁻¹, respectivamente nas profundidades de 0-10 cm a 10-20 cm.

A maior quantidade de MO foi encontrada em área de SAFs na profundidade de 10-20 cm com 31,68 g/kg⁻¹ contrastando com o plantio em Monocultura que apresentou o menor valor com 23,83 g/kg⁻¹ na camada de 0-10 cm.

A tabela a seguir refere-se aos macronutrientes (Nitrogênio, Carbono e Matéria Orgânica) em sistemas de plantio em Monocultivo e Agroflorestal – SAF.

Tabela 11 - Níveis de Macronutrientes em Monocultura e Sistema Agroflorestal - SAF.

Ambiente	N		C		MO	
	g/kg ⁻¹					
	0-10		0-10	10-20	0-10	10-20
MON	1,65	1,44	13,82	15,67	27,01	23,83
SAFS	1,32	1,18	17,10	18,38	31,68	29,48
MÉDIA	1,48	1,31	15,46	17,02	29,35	26,65
CV (%)	0,76	0,96	14,99	11,26	14,99	11,26

Legenda: MON – Monocultura; SAF: Sistema Agroflorestal; N: Nitrogênio; C: Carbono; MO: Matéria Orgânica; CV: Coeficiente de Variação (%).

6 DISCUSSÃO

6.1 VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS EM AMBIENTE DE SAFs, MONOCULTIVO E FLORESTA

A diferença apresentada para as variáveis DAP e Altura Total ficou mais evidente entre o plantio de Nova Esperança (Floresta) em relação ao Monte Horebe (Monocultivo). A principal diferença em relação aos plantios analisados está relacionada ao ambiente em que estão inseridos, como foi o caso do plantio em floresta onde foi possível observar que esses indivíduos cresciam mais adensados e com menos luminosidade em comparação aos ambientes de Monocultivos (em que a disponibilidade de luz era maior), o que pode explicar a redução de DAP e Altura (Rondon, 2002).

É imprescindível, pela característica da espécie, uma maior disponibilidade de luz em se tratando de plantios com sete anos de idade, tanto para seu crescimento em diâmetro como para a altura e, conseqüentemente, a produção de biomassa. Estes resultados sugerem que, para o sucesso do estabelecimento dessa espécie em ambientes naturais ou em plantios comerciais, provavelmente a cobertura vegetal ao qual é submetida uma espécie de crescimento rápido, em sistema de policultivo, pode favorecer o desenvolvimento de mudas de pau-rosa, desde que não haja competição por outros recursos primários como água, nutrientes e principalmente por luz.

Em relação aos ambientes de SAFs e Monocultivo não houve diferença estatística quando foi comparada a variável DAP, porém, houve diferença para a Altura Total entre os plantios de IM-MH e entre MH-NE, isso pode ser atribuído ao comportamento da espécie e ao ambiente, pois, os plantios em SAF's proporcionam um ambiente semelhante ao da floresta tanto em relação ao sombreamento quanto na competição por luz e nutrientes. Diferentemente disso, os ambientes em Monocultivo recebem luz solar direta e há uma menor competição entre os indivíduos favorecendo seu crescimento em altura, fato este observado neste trabalho onde os plantios em Monocultivo apresentaram os maiores valores médios de Altura Total.

Nessa situação a recomendação seria que antes de dar início aos plantios de pau-rosa em ambiente com uma maior luminosidade, como é o caso dos Monocultivos, seria interessante disponibilizá-los em ambiente de SAFs, pois, pelas características da espécie se faz necessário um maior sombreamento em seu estágio inicial (Araújo *et al.*, 2005; Takeda, 2008). Essas informações podem ser observadas nos estudos realizados pela Sudam (1979), e por Sampaio e demais colaboradores (2000), os quais afirmam que os indivíduos de pau-rosa após 24 meses protegidas do sol (50%) quando expostas à plena abertura apresentaram elevada sobrevivência,

cerca de 80%, com incrementos médios anuais de 0,83 m em altura, 0,79 cm em diâmetro e 9,1 m³/ha/ano⁻¹ de incremento em volume. Após o estabelecimento dos indivíduos seria interessante fazer o manejo do plantio em SAFs, eliminando os indivíduos que estejam competindo por luz e fazendo a limpeza da área e, se for o caso, transplantar os indivíduos para um ambiente com mais iluminação como é o caso dos Monocultivos, dado o interesse de cada produtor.

Em geral, diferenças nas variáveis dendrométricas em outros estudos acontecem quando são comparados plantios de diferentes idades e espaçamentos como foi o caso de uma pesquisa realizada em Maués numa área de 1 ha (um hectare), ao qual comportou 833 indivíduos com idade de 4 anos, onde foi observado diferença significativa nos valores de DAP e Altura Total. Tais dados são semelhantes ao estudo realizado em comunidades indígenas onde foi observado essa variação com os plantios mais antigos estocando as maiores quantidades de biomassa e possuindo as maiores alturas e DAP (Krainovic, 2011; Santos, 2021).

6.2 BIOMASSA ACIMA DO SOLO E PRODUTIVIDADE DE ÓLEO

Quando analisada a biomassa para as três áreas foi possível obter diferença significativa apenas entre as áreas de SAFs/Floresta e Monocultura/Floresta. Essa diferença teve mais a ver com o número de indivíduos amostrados e com o ambiente em que estão inseridos, o que pode ter influenciado o estoque de biomassa nas três áreas. Ressalta-se também que para os compartimentos copa e fuste seguiram a mesma tendência da biomassa total da copa com diferenças apenas nas áreas de SAFs/floresta e Monocultura/floresta. Além disso, por serem plantios da mesma idade, para os ambientes de SAFs e Monocultura os valores de estoque de biomassa total e nos compartimentos copa e fuste não apresentaram diferença entre eles como mostrado neste estudo.

Em SAFs e Monocultura os valores de biomassa da copa e do fuste não foram estatisticamente diferentes, o que pode ser explicado devido à disposição dos indivíduos em campo e a falta de espaçamentos bem definidos. Em plantios comerciais um espaçamento bem definido é ideal para a condução do seu desenvolvimento e crescimento, principalmente de biomassa.

Rondon (2002), destaca que o espaçamento pode afetar o desenvolvimento e a produtividade das florestas plantadas, principalmente para as espécies de rápido crescimento. Demais autores também observaram que espaçamentos reduzidos tendem a produzir toras de pequeno diâmetro, o que compromete o volume final produzido. Desconci (2016), em plantio com espaçamento de 3 x 4 m obteve valores médios de biomassa bem acima dos encontrados

neste estudo, estocando no plantio de 10 anos 58,62 kg. Em relação ao compartimento fuste o autor encontrou um valor de 1392,10 kg de biomassa armazenada, o que corresponde a 65,96% da biomassa total. Por outro lado, o compartimento copa apresentou uma biomassa de 718,31 kg armazenada, que corresponde a 34,04% da biomassa total acima do solo. Esses resultados refletem a influência do espaçamento ideal para o estoque de biomassa em plantios comerciais na região de Maués.

A falta de espaçamento também foi observada no trabalho de Santos (2021), em plantios indígenas na região de Maués, em que o autor destacava que não havia um espaçamento pré-definido o que limitou o acúmulo de biomassa para os plantios de 5, 9, 10 e 12 anos resultando numa biomassa média de: 2,0; 4,0; 10,35; 7,01 kg. Além disso, o autor observou que a idade foi um fator que mais influenciou para a produção de biomassa, sendo os plantios com as maiores idades acumulando as maiores biomassa acima do solo.

No presente estudo, a idade não foi o principal fator que estimulou a produção da biomassa aérea, pois para todos os plantios aqui analisados a idade foi a mesma (7 anos). Dessa forma, o aumento da produção de biomassa aérea está ligado mais ao ambiente em que cada plantio está inserido (SAFs, Monocultura e Floresta) e a disposição aleatória dos indivíduos ao longo das áreas e, conseqüentemente, em sua produtividade de óleo, visto que a produtividade de óleo é diretamente proporcional à biomassa aérea (Sampaio *et al.*, 2000).

Neste estudo foi realizado tanto a estimativa de produtividade de óleo dos três plantios em conjunto, bem como separados por ambiente, além das estimativas dos compartimentos copa e fuste. O total de árvores nos três plantios foi de 240 com uma produção de 59,76 kg de óleo considerando o rendimento a 1,25%, onde foi possível estimar o valor de \$ 23.905,87 considerando o quilograma do óleo no mercado internacional a \$ 400,00, o valor total em dólares foi convertido para a moeda nacional considerando a cotação do dólar a R\$5,706 reais o que resultou num valor total para os três plantios de R\$ 136.406,89 reais.

Além da estimativa da biomassa total acima do solo para os plantios avaliados, foi realizada a estimativa de rentabilidade da biomassa total do compartimento copa resultando num valor de 61,67 kg e compartimento fuste com 30,71 kg de óleo essencial. Para a biomassa total da copa nos três plantios foi possível obter uma estimativa de R\$ 69.608,87 reais dividindo-se esse valor de acordo com o número de indivíduos do plantio com proporções de rentabilidade de 65,96% (Ilha Michilis - SAFs), 29,91% Monte Horebe (Monocultura) e 4,14% (Nova Esperança (Floresta). Quanto a biomassa total do compartimento fuste foi possível obter uma rentabilidade de R\$ 70.089,85 reais com proporções de rentabilidade por plantio de 65,96% (Ilha Michilis – SAFs), 29,91% (Monte Horebe – Monocultura) e 4,14% (Nova

Esperança - Floresta). Os resultados de rentabilidade indicam que o pau-rosa é um componente essencial para o desenvolvimento das comunidades indígenas que trabalham com os produtos da sociobiodiversidade, bem como uma alternativa aos produtos mais frequentemente utilizados para a venda como é o caso da farinha e do guaraná.

Quando se compara a rentabilidade de óleo de pau-rosa com outros produtos da sociobiodiversidade como é o caso do óleo da andiroba (50-80/L), copaíba (25-30 Kg), castanha (R\$ 25 a 55/lata) entre outros (Giatti *et al.*, 2021), percebe-se que o retorno financeiro é bem maior. Lara (2012), em seu estudo sobre a produção e a variabilidade química do óleo essencial de pau-rosa na Amazônia Central encontrou estimativas de produção de óleo na floresta de Maués em torno de: 67,7 Kg do óleo do tronco, 19,6 Kg dos galhos grossos e 30,3 Kg dos galhos finos e folhas. Na Reserva Ducke a estimativa de produção de total do óleo foi de 480,8 Kg distribuídos em 277,5 Kg de óleo do tronco, 80,3 Kg de galhos grossos e 124,2 Kg dos galhos finos e folhas, valores estes que quando estimada a rentabilidade econômica considerando o preço atual do óleo essencial dariam um ótimo retorno financeiro.

Portanto, tanto na literatura quanto neste estudo pode-se dizer que o conhecimento da espécie, bem como do ambiente em que está inserida, e a localização dos plantios é de suma importância para o crescimento e desenvolvimento da espécie contribuindo para o acúmulo de biomassa da árvore e, conseqüentemente, a produtividade do óleo de pau-rosa, além disso, as informações de rentabilidade mostram que o plantio de pau-rosa é fundamental para o desenvolvimento das comunidades que dependem dos produtos da sociobiodiversidade, apresentando uma alta liquidez e oportunidade para as comunidades tradicionais, principalmente indígenas, pois, são os povos que detêm o melhor conhecimento da espécie garantindo o desenvolvimento das comunidades locais e contribuindo para a preservação da floresta por meio do manejo dos plantios.

6.3 VIGOR DAS BROTAÇÕES APÓS SISTEMA DE PODA

Os resultados das variáveis das brotações (número de brotos, comprimento, diâmetro e biomassa) mostraram não haver diferença significativa entre elas nos dois sistemas de plantios avaliados, o que pode ser explicado pela quantidade insuficiente de árvores que foram podadas, além de um período de acompanhamento da poda insuficiente para a avaliação e quantificação da rebrota em campo que neste estudo foi de 12 meses.

Nos trabalhos de Sampaio (2007), quando este avaliou a rebrota de um plantio de pau-rosa com 36 anos submetido a podas sucessivas conduzido na Reserva Florestal Adolpho Ducke

na região de Manaus avaliou a rebrota 20 árvores de pau-rosa num período de 36 meses. O autor observou que não houve diferença significativa entre os parâmetros da rebrota: número de broto/fuste, comprimento e diâmetro. Por outro lado, Takeda (2008), avaliando a biomassa da rebrota de plantios comerciais de 3 e 5 anos, constatou haver diferenças significativas entre todas as variáveis da brotação em função da intensidade de poda realizada (50% e 100%). A intensidade a 100% foi a que apresentou as maiores médias de número de rebrotas por planta, comprimento e diâmetro da rebrota, o que diferiu significativamente dos tratamentos com poda a 50%, resultados estes que foram opostos ao encontrado nesse trabalho.

Além da intensidade da poda, o vigor dos brotos também é fortemente influenciado pela competição por fatores ambientais e espaço. Em plantios com espaçamentos mais densos, ocorre maior competição por água, luz e nutrientes, reduzindo a quantidade de reservas disponíveis para a brotação. Em contrapartida, espaçamentos maiores diminuem essa competição, favorecendo o crescimento em diâmetro das árvores e resultando na melhoria do vigor das brotações (Reis & Reis, 1997). Esses fatores mostram que tanto o manejo do espaçamento quanto a adubação podem impactar o desenvolvimento das brotações. A falta de adubações atrelado ao espaçamento não definido nos plantios em SAFs e Monocultura neste estudo podem ter contribuído para uma menor taxa de desenvolvimento da rebrota.

Nesse sentido, a maior quantidade de biomassa por indivíduo observada nos trabalhos de Takeda (2008) pode estar associada não apenas à intensidade da poda, mas também ao tipo de plantio. Nesse caso, a autora avaliou indivíduos em plantios comerciais submetidos a adubações frequentes para reposição de nutrientes no solo, fator que interfere diretamente no crescimento das árvores e favorece o desenvolvimento da brotação. Portanto, além do tempo de avaliação e da intensidade da poda, as condições de cultivo desempenham um papel essencial na resposta das árvores à rebrotação.

6.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICA DO SOLO

A análise da granulometria dos solos mostrou que as amostras em SAFs se apresentaram predominantemente arenosas com destaque para a profundidade de 10-20 cm, com pequenas variações nos teores de silte e argila que sugerem heterogeneidade nas condições de solo. Nessas condições os solos em SAFs proporcionam às plantas um contínuo aporte de matéria orgânica e melhorando as condições de infiltração e retenção de água (FAO, 1995; Breman & Kessler, 1997).

As amostras em Monocultura apresentaram maior teor de silte na profundidade de 0-10 cm mostrando uma predominância em relação aos plantios em SAFs. Os teores de Argila no solo variaram entre os dois sistemas de plantios avaliados.

A textura do solo influencia diretamente a disponibilidade de água e nutrientes, fatores críticos para o desenvolvimento de espécies florestais de alto valor econômico, como o pau-rosa. Solos com maior teor de argila, como os encontrados em algumas profundidades das subparcelas Monocultura, tendem a reter água e nutrientes por períodos mais longos. Contudo, a alta porcentagem de partículas finas também pode levar à compactação, prejudicando a aeração e, conseqüentemente, o crescimento radicular. Por outro lado, solos arenosos, como os das subparcelas SAFs, proporcionam uma drenagem eficiente e melhor aeração, mas podem exigir uma suplementação mais frequente de nutrientes, dada a menor capacidade de retenção (Santos *et al.*, 2023).

Oliveira *et al.* (2022), ressaltam que a *Aniba rosodora*, conhecida pela produção de óleo essencial de grande valor, mostra adaptação a uma faixa relativamente ampla de texturas de solo, desde que haja um equilíbrio entre a disponibilidade hídrica e a aeração.

Em solos arenosos, a prática de adubação orgânica pode ser determinante para melhorar a capacidade de retenção de nutrientes, enquanto em solos mais argilosos o manejo da compactação e aeração se tornam prioridades para evitar o enraizamento superficial e a possível asfixia radicular.

6.5 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO

6.5.1 Acidez do solo (pH em água e KCl e Al trocável)

- **pH em água e KCl**

Nos plantios em SAFs e Monocultura, os valores de pH (H₂O) e pH (KCl) indicaram elevada acidez do solo. O pH (H₂O) aumentou com a profundidade, enquanto o pH (KCl) diminuiu. Esses dados seguem a mesma tendência dos resultados obtidos por Vignoli *et al.* (2022), em SAFs de guaraná nessa mesma região. Krainovic (2011), observou resultados semelhantes ao analisar o pH em áreas de capoeira com valores variando de 3,98 (0–10 cm) a 4,34 (30–40 cm) para pH (H₂O). Em outros trabalhos como o de Silva e demais colaboradores (2006), também foi observado valores de pH entre 3,84 e 3,98 em floresta primária, e de 4,01 a 4,07 em SAFs com guaraná. Moreira e colaboradores (2009), avaliando diferentes usos da

terra na região do rio Solimões observou em ambiente de SAFs que o nível de acidez era mais alto que em solos com uso para agricultura apresentando valores de 4,9 para SAFs e 5,4 para agricultura. As pesquisas citadas corroboram com o nível de pH deste estudo, pois o nível de acidez dos solos em Sistemas Agroflorestais esteve acima dos apresentados em Monocultura, talvez o tipo de manejo adotado nas áreas tenha contribuído para esses resultados.

Os valores de pH encontrados neste estudo estão abaixo da faixa ideal para o desenvolvimento das plantas (5,6 a 6,1 segundo Malavolta, 1997), representando, portanto, um fator limitante para o crescimento das espécies, porém, o pau-rosa pelas suas características se adaptam com facilidade a ambientes com maior acidez. Dessa forma, tanto nesta pesquisa como em outras realizadas, a acidez do solo foi um fator limitante para o desenvolvimento dos plantios o que pode ser indicado pela alta concentração de Alumínio trocável.

- **Alumínio trocável**

Neste estudo foi observado que as maiores concentrações de Alumínio trocável esteve presente no ambiente de SAFs (1,64 cmol.kg⁻¹ ambas as profundidades) quando comparado com as Monoculturas, pois, neste último houve variação de alumínio em sua profundidade. Talvez a concentração de Alumínio trocável em SAFs se manteve ao longo da profundidade devido aos outros fatores como o histórico de uso desse solo, pois, antes de haver a implantação dos SAFs indígenas o solo passou por diferentes usos incluindo a agricultura.

Esses resultados não são diferentes dos encontrados por Ribeiro e colaboradores (2019), estudando a Fertilidade do solo e estoques de carbono e nitrogênio sob sistema agroflorestais no Cerrado Mineiro onde eles observaram que o teor de Alumínio trocável em SAFs implantados a mais de 10 anos, não diminuiu com a profundidade. Portanto, embora os SAFs tenham potencial para melhorar a qualidade do solo, é fundamental considerar práticas de manejo adequadas para evitar o aumento da acidez e dos teores de alumínio, garantindo a sustentabilidade e a produtividade desses sistemas.

6.5.2 Macronutrientes (Cálcio, Magnésio, Potássio e Fósforo)

- **Cálcio - Ca**

No ambiente SAFs foi observado que com o aumento da profundidade houve uma diminuição na concentração de Cálcio (0,17 a 0,15 cmol/kg). Essas baixas concentrações estão

diretamente ligadas acidez dos solos, pois solos ácidos podem apresentar baixos teores destes cátions (Aoki, 2023), entretanto, quando se compara essas concentrações com o trabalho de outros autores como o de Krainovic (2011), em solos de plantios comerciais de pau-rosa com idades entre 10 e 20 anos (0,07 e 0,06 cmol/kg) percebe-se que os SAFs mantêm o teor de Cálcio por longos períodos, apesar de um pH baixo. Em capoeira e floresta os níveis de Cálcio também estão muito abaixo dos valores encontrados nesta pesquisa (0,03 a 0,07 cmol/kg). Ainda segundo o autor, o plantio de 4 anos foi o que apresentou teores acima aos encontrados neste estudo, de 0,31 a 0,15 cmol/kg com o aumento da profundidade. Matos (2015), encontrou variações de 0,30 a 0,58 cmol/dm³ para cálcio em plantios com idades entre 6, 7, 12 e 17 anos.

Em contraste aos valores apresentados neste trabalho, Ribeiro e colaboradores (2019), encontraram níveis de Cálcio bem acima aos deste estudo com 7,3 cmol/kg em SAFs e 8,9 cmol/kg em áreas de agricultura. Dessa forma, pode-se dizer que para uma maior disponibilidade de Cálcio ao longo da profundidade é necessário a aplicação de técnicas de manejo de solo como a compostagem, indicada para o contexto de localização desses plantios.

- **Magnésio - Mg**

Os teores de Magnésio diminuíram com a profundidade no ambiente de Monocultura (0,14 a 0,13 cmol/kg), enquanto em SAFs não houve alteração desse elemento, indicando baixa concentração desse elemento no solo. Em plantios comerciais de pau-rosa em Maués, aos 4 anos de idade quando realizada a caracterização química do solo foram encontrados valores de 0,159 e 0,081 cmol/kg, ou seja, houve uma diminuição desse elemento ao longo da profundidade (camada 0-10 cm e 10-20 cm). Para os plantios de 10 anos a concentração desse elemento variou entre 0,092 e 0,050 cmol/kg ao longo da profundidade (Krainovic, 2011). Portanto, os baixos teores desse elemento, assim como os de Cálcio, também estão relacionados diretamente com a acidez dos solos.

- **Potássio - K**

Não foi possível obter o efeito do ambiente SAFs e Monocultura sobre o elemento Potássio ao longo da profundidade. Vignoli (2016), estudando SAF's com guaraná encontrou valores de Potássio entre 0,04 e 0,03 cmol/kg, valores estes semelhantes aos encontrados neste trabalho. Por ser um nutriente mais limitante, o Potássio (K), que se encontram em maiores profundidades conseguem ser absorvido pelas raízes e, por meio da decomposição da

serapilheira oriunda dessas árvores, são trazidos à camada superficial do solo e disponibilizados às espécies de cultivo que possuem raízes mais superficiais (Pinho, 2012).

- **Fósforo disponível**

Dentre os macronutrientes analisados, apenas o fósforo (P) apresentou uma maior concentração tanto nos plantios em Monocultura quanto nos Sistemas Agroflorestais (SAFs), sendo este último o que apresentou o maior teor (8,47 g/kg), valor considerado como elevado (8,1 a 12,0 mg kg⁻¹) segundo os critérios de Moreira e Fageria (2009), para os solos do Amazonas, mostrando que esse nutriente não parece ser limitante nesses solos, ao contrário dos baixos teores de P obtidos por Vignoli *et al.* (2022), em SAFs de guaraná, o que foi relacionado com a exportação consecutiva desse nutriente com as colheitas das safras de guaraná.

Resultados semelhantes foram encontrados por Matos (2015), ao analisar a fertilidade do solo e o estado nutricional do pau-rosa em plantios comerciais em Maués. O autor constatou que os níveis de fósforo foram maiores nas camadas superficiais do solo (0–5 cm e 5–10 cm), com 14,31 e 14,39 mg/dm³, respectivamente, e os menores valores na profundidade de 20–30 cm (5,05 e 5,07 mg/dm³).

O padrão citado acima foi observado por Krainovic (2011), em áreas com histórico de degradação, plantios de 4, 10 e 20 anos, além de capoeira e floresta, reforçando a tendência de diminuição do teor de fósforo com o aumento da profundidade.

Nos ecossistemas amazônicos, o aumento da acidez do solo implica na redução da disponibilidade de fósforo, além de trazer implicações para o crescimento das plantas devido à sua importância no metabolismo do carbono, bem como na formação de açúcares fosfatados (Matos, 2012).

6.5.3 Micronutrientes (Cobre, Zinco, Manganês e Ferro)

- **Cobre**

Os teores de cobre (Cu) nos plantios variaram entre baixos e médios, o que pode ser atribuído à elevada pluviosidade da região amazônica, favorecendo a lixiviação do elemento (Vieira & Santos, 1987). Em estudo com seringueira, Oku *et al.* (2012), encontraram valores de Cu entre 0,64 e 1,26 mg/dm³ em plantios com 41 e 16 anos, respectivamente, o que reforça a variação esperada com o tempo e tipo de uso do solo como o observado neste estudo.

- **Zinco**

Os teores de Zinco (Zn) neste estudo tiveram uma maior concentração no ambiente SAFs com um aumento em seu teor ao longo da profundidade (1,35 e 1,61mg/kg), enquanto que em Monocultura foi observado valores bem abaixo (0,37 e 0,33 mg/kg). Isso pode indicar que o sistema SAFs favorece uma maior disponibilidade de Zn, possivelmente devido à maior diversidade de plantas e aporte de matéria orgânica ou manejo diferenciado. Esses valores de Zinco em SAFs quando comparados com os outros tipos de uso da terra como é o caso de plantios comerciais se mostram superiores na disponibilidade desse elemento para a planta. Krainovic (2011), analisando as características químicas de um solo em Maués encontrou valores entre 0,94 e 0,82 mg/kg para plantios com 4 anos de idade e em capoeira esse valor variou entre 0,94 e 1,24 mg/kg ao longo das camadas de 0-10 cm e 10-20 cm.

Em contraste a isso, os valores de Zinco em Monocultura estão bem abaixo, o que indica uma deficiência desse elemento nas plantas nesse tipo de ambiente, nessas condições é necessário que se aplique algumas técnicas para a diminuição da acidez do solo como por exemplo a calagem para disponibilizar uma maior quantidade desse elemento para ser absorvido pelas plantas.

- **Manganês**

O manganês apresentou os maiores teores na área MON, sobretudo, na camada superficial (3,55 mg kg⁻¹), enquanto na área SAFs os valores foram inferiores e com pouca variação entre profundidades (1,90 e 1,76 mg kg⁻¹). A redução do Mn com a profundidade em MON pode estar relacionada ao maior acúmulo superficial de matéria orgânica e maior atividade biológica, que favorecem a solubilização do elemento.

Segundo Rajj e colaboradores (2001), os teores observados estavam dentro da faixa de suficiência para solos tropicais, embora os valores em SAFs indiquem proximidade do limite inferior. Estudos realizados por Matos (2015), e Krainovic (2011), também relataram baixos teores de Mn em solos sob plantios de pau-rosa na região amazônica, sugerindo a necessidade de monitoramento contínuo. Takeda (2008), ao avaliar plantios submetidos à adubação destacou que mesmo com o fornecimento de nutrientes, as variações nos teores de Mn ainda podem ocorrer devido à mobilidade do elemento e à interação com a matéria orgânica.

- **Ferro**

As concentrações de ferro (Fe) nas camadas de 0–10 cm e 10–20 cm apresentaram comportamentos distintos entre os sistemas. Na Monocultura, os níveis diminuíram com a profundidade. Já no SAFs, o padrão observado foi semelhante, com decréscimo nos teores em profundidades maiores, refletindo o manejo adotado em cada sistema. Krainovic (2011), ao estudar diferentes idades de plantio (4, 10 e 20 anos), além de capoeira e floresta, também observou maiores concentrações de Fe nas camadas superficiais (0–10 cm), independentemente da idade ou do tipo de área, corroborando os dados aqui apresentados.

Embora nos sistemas agroflorestais a ciclagem biogeoquímica contribua para aumentar a disponibilidade de vários nutrientes nas primeiras camadas dos solos, Silva e demais colaboradores (2011), recomendam a implantação de práticas corretivas e de adubação orgânica ou química, como forma de repor os nutrientes nos sistemas agroflorestais, objetivando suprir o sistema em níveis adequados de nutrientes, pois nestes, a disponibilidade de nutrientes é comprometida devido à remoção constante por meio das colheitas. De maneira geral, os parâmetros químicos analisados apresentaram variações claras entre os sistemas de Monocultura e SAFs e entre as profundidades. Os teores de fósforo, nitrogênio e ferro diminuíram com a profundidade, comportamento esperado e coerente com a literatura.

Já a matéria orgânica e o carbono foram mais elevados em SAFs, evidenciando a influência positiva do manejo agroflorestal. A acidez do solo foi um fator comum aos dois sistemas, representando um desafio ao desenvolvimento do pau-rosa. O uso de práticas adequadas de correção e adubação é fundamental para promover melhores condições de fertilidade, especialmente em áreas manejadas com monocultivo. A diversidade vegetal e o manejo intensivo nos SAFs demonstraram maior eficiência na manutenção da qualidade química do solo, favorecendo o acúmulo de nutrientes e matéria orgânica.

6.5.4 Nitrogênio orgânico, Carbono orgânico e Matéria Orgânica do Solo (MOS)

- **Nitrogênio orgânico**

Quanto à distribuição de nitrogênio, foram encontrados baixos teores. Ferreira (2022), ao estudar a adubação orgânica e mineral em pau-rosa no estágio inicial de desenvolvimento, encontrou valores entre 0,53 e 1,18 g/kg. Em contrapartida, Krainovic (2011), reportou valores significativamente mais altos (21,3–21,4 g/kg) em plantios comerciais de 10 e 20 anos,

cultivados em espaçamentos de 3 x 4 e 5 x 5 m. Esses dados demonstram que a concentração de nitrogênio em espécies florestais como o pau-rosa pode variar bastante em função do manejo, idade do plantio e condições ambientais (Ferreira *et al.*, 2015).

O nitrogênio é um dos principais elementos envolvidos no metabolismo das plantas, sendo essencial para a fotossíntese e, conseqüentemente, para o acúmulo de biomassa. O nutriente constitui a clorofila, pigmento responsável pela captação da energia luminosa (Garrone *et al.*, 2016), além de integrar aminoácidos, proteínas, enzimas e ácidos nucleicos, componentes fundamentais para a divisão e expansão celular (Silva *et al.*, 2021; Bredemeier & Mundstock, 2000). Por isso, plantas com alta atividade fotossintética e elevado crescimento vegetativo apresentam maior exigência em nitrogênio. Talvez essa dinâmica explique a baixa quantidade de nitrogênio no ambiente SAFs, pois os teores observados nesta pesquisa tiveram um maior acúmulo de biomassa tanto do fuste como da copa e isso requer que as plantas exijam uma maior atividade fotossintetizante e, conseqüentemente, um maior acúmulo de biomassa. Desconci (2016), ao estudar a biomassa e a alocação de nutrientes em plantios comerciais de pau-rosa no município de Maués e Novo Aripuanã encontrou maiores estoques de biomassa no compartimento copa (190 kg/ha) e fuste 107 (kg/ha) para a idade de 10 anos. O nitrogênio promove maior impacto no rendimento de biomassa e no crescimento vegetativo (Garrone *et al.*, 2016).

Nesse sentido, é imprescindível conhecer as demandas nutricionais de cada espécie florestal, destacando não só os elementos mais limitantes ao seu crescimento, como também seu comportamento em condições de baixa fertilidade para possibilitar o manejo correto do solo nos quais essas espécies vierem a ser cultivadas como é o caso do pau-rosa (Souza *et al.*, 2010).

- **Carbono Orgânico**

Tanto na Monocultura quanto no SAFs, o estoque de carbono orgânico diminuiu com a profundidade o que já era esperado. A maior concentração foi registrada no SAFs na camada de 10–20 cm (18,38 g/kg). Todos os valores observados são considerados médios, segundo critérios de Cochrane e demais autores (1985). Esse resultado corrobora com o encontrado por Ferreira (2022), que observou uma diminuição do carbono com o aumento da profundidade em áreas de adubação orgânica e mineral (0–20 cm = 14,19 g/kg; 20–40 cm = 10,37 g/kg). Krainovic (2011), também encontrou esse padrão de decréscimo em diferentes áreas e idades de plantio.

- **Matéria Orgânica do Solo (MOS)**

Os teores de matéria orgânica (MO) diminuíram com a profundidade do solo nas camadas de 0–10 cm e 10–20 cm, sendo mais elevados no SAFs. Tal resultado era esperado, visto que este sistema geralmente envolve consórcios com outras espécies vegetais, o que favorece o acúmulo de MO por meio da decomposição de resíduos (Marques *et al.*, 2004; Onyekwelu *et al.*, 2006; Magalhães *et al.*, 2013). Na Monocultura, o solo mais exposto à insolação direta sofre maior degradação, reduzindo o acúmulo de MO. As variações de temperatura e umidade na superfície do solo podem afetar negativamente o conteúdo de nutrientes, a microbiota e, a longo prazo, a produtividade (EMBRAPA, 2023).

O manejo mais cuidadoso dos plantios em SAFs, incluindo adubações orgânicas e inserção de resíduos vegetais, contribuiu para o maior teor de MO observado. Oliveira e demais autores (2020), destacam que a diversidade de espécies e o aporte contínuo de resíduos vegetais característicos dos sistemas agroflorestais promovem melhorias na estrutura do solo, retenção de água e nutrientes e maior sequestro de carbono.

Os resultados de N orgânico, C orgânico e Matéria Orgânica do solo seguem a mesma tendência dos estudos de Vignoli *et al.* (2022), que avaliaram a fertilidade do solo de 29 SAFs de guaraná, com idades variando de 10 a 60 anos, nas calhas dos Rios Andirá e Marau. Segundo os referidos autores, apesar da baixa fertilidade, os agricultores indígenas desenvolveram um sistema agrícola adequado às condições locais, onde o manejo da matéria orgânica parece ser um dos principais fatores para a manutenção da produtividade dos SAFs de guaraná, juntamente com os efeitos positivos da alta diversidade de árvores que os agricultores indígenas mantêm como parte do sistema. Em contraste com os demais atributos do solo analisados, que em geral estavam abaixo do nível considerado mínimo para a produção agrícola, os teores de C, MOS e N orgânico permaneceram em níveis considerados suficientes.

6.5.5 Manejo da Matéria Orgânica do Solo

Embora nos sistemas agroflorestais a ciclagem biogeoquímica contribua para aumentar a disponibilidade de vários nutrientes nas primeiras camadas dos solos, Silva e demais colaboradores (2011), recomendam a implantação de práticas corretivas e de adubação orgânica ou química, como forma de repor os nutrientes nos sistemas agroflorestais, objetivando suprir o sistema em níveis adequados de nutrientes, pois nestes, a disponibilidade de nutrientes é comprometida devido à remoção constante por meio das colheitas.

Uma das práticas tradicionais utilizadas no SAFs indígena é o plantio de mudas em “berço”, usado para proteger a muda contra tombamentos, inibir plantas invasoras e animais, além de favorecer o desenvolvimento das raízes e manter a umidade do solo. O principal material utilizado para a construção do “berço” são restos de madeira em que são removidas à medida que as mudas vão crescendo ou são decompostas facilmente com a ação dos microrganismos ao longo do tempo, favorecendo a ciclagem de nutrientes e o acúmulo de Matéria Orgânica – MO (Vignoli *et al.*, 2022). Essa prática observada pela autora também se aplica as mudas de pau-rosa, pois, é preciso uma maior intervenção para garantir o desenvolvimento inicial das mudas. A partir disso, é possível entender os valores médios encontrados neste trabalho da disponibilidade de MO no solo, principalmente nos ambientes de SAFs, evidenciando a influência positiva do manejo da MO no solo.

A acidez do solo foi comum aos dois ambientes, representando um desafio ao desenvolvimento do pau-rosa, entretanto, as técnicas usadas pelos indígenas para manter a disponibilidade de nutrientes no solo por meio do manejo da MO foi essencial para o crescimento do plantio. O uso de práticas adequadas é fundamental para promover melhores condições de fertilidade, especialmente em áreas com histórico de degradação e de múltiplos usos (Valencia *et al.*, 2010), o que poderia estar associada ao fato de o pau-rosa ser uma planta nativa da Amazônia, adaptada às condições de solo pobre da região, além de não possuir característica definidas, devido à grande variabilidade genética da espécie. No entanto, a diversidade vegetal e o manejo intensivo nos SAFs demonstraram maior eficiência na manutenção da qualidade química do solo, favorecendo o acúmulo de nutrientes e matéria orgânica.

De maneira geral, os parâmetros químicos analisados apresentaram variações claras entre os sistemas de Monocultura e SAFs e entre as profundidades. Os teores de fósforo, nitrogênio e ferro diminuíram com a profundidade, comportamento esperado e coerente com a literatura.

7 CONCLUSÃO

Os maiores valores médios de DAP, biomassa seca do fuste e biomassa seca da copa foram registrados nos plantios em SAFs. Em contrapartida, a altura total foi superior nos plantios em Monocultura.

Em SAFs, a estimativa de produtividade do óleo essencial tanto da biomassa total quanto dos compartimentos resultou em uma boa oportunidade de negócio, considerando o preço do quilograma do óleo no mercado internacional.

Embora estatisticamente não se obteve diferença significativa em relação ao crescimento da rebrota, individualmente o resultado da poda em SAFs mostrou uma maior quantidade de brotos em relação a área de Monocultura, porém, nesta última apresentou um maior diâmetro da rebrota.

Nos plantios de Monocultura, predominou a textura argilo-siltosa, enquanto em SAFs prevaleceu a textura franco-argilo-arenosa.

Os solos dos SAFs e Monocultivos de pau-rosa, apresentaram baixa fertilidade natural, com exceção do fósforo, que apresentou valores que variaram de alto a médio com concentração mais elevada nos SAFs. Esse resultado pode ser atribuído ao manejo da matéria orgânica adotada pelo povo Sateré-Mawé e pelas características próprias desse sistema de cultivo, que favorecem a retenção de nutrientes e a disponibilização de fósforo para as plantas.

Nos SAFs, os teores de carbono e matéria orgânica foram mais elevados, sugerindo uma maior capacidade de retenção de água e nutrientes, além de indicar um manejo mais sustentável e menor perturbação do solo em comparação à Monocultura. Entretanto, os SAFs apresentaram maiores teores de alumínio trocável, o que pode estar relacionado ao histórico de uso da área. Além disso, o pH do solo foi baixo em ambos os sistemas, refletindo uma acidez elevada que pode comprometer a disponibilidade de nutrientes e a atividade microbiana.

8 RECOMENDAÇÕES

Para uma melhor estimativa para a biomassa e, conseqüentemente, a produtividade de óleo, recomenda-se as equações propostas por Krainovic (2011) para plantios comerciais na Amazônia, pois a atual equação recomendada pelo Ibama subestima os valores de produtividade dos plantios.

A medição da luminosidade nos plantios pode ser indicada para um melhor manejo dessa espécie que depois do desenvolvimento inicial necessitam de uma grande quantidade de luz para seu crescimento.

Manter as práticas de manejo de povos tradicionais, como é o caso dos Saterés, que utilizam os “berçários” para manter a disponibilidade de matéria e de nutrientes essenciais para o crescimento do pau-rosa.

Nas áreas de floresta, recomenda-se a introdução de indivíduos apenas nos estágios iniciais de desenvolvimento. Isso ocorre porque, nesse ambiente, o pau-rosa tende a crescer de forma adensada, o que intensifica a competição por luz com outras espécies e limita o desenvolvimento da sua copa.

ANEXO A: Equações alométricas utilizadas para estimativa de biomassa em plantios de pau-rosa.

Models	Equations	Source
Volume		
Model 3	$V = 0.000071579DBH^{1.624} \times H^{1.189}$	This study
Generalist model	$V = ((\pi \times DAP^2 / 40000) \times H) \times 0.7$	Used in Amazon
AGDM		
Model 3	$AGDM = 0.14867DBH^{1.50003} \times H^{0.93917}$	This study
By law	$AGDM = 0,0009DBH^{1.585} \times H^{2.651}$	NI N° 09/2011
CDM		
Model 3	$CDM = 0.4507DBH^{1.1659} \times H^{0.2965}$	This study
By law	$CDM = 0,0009DBH^{1.585} \times H^{2.651} \times canopy (0.344)$	NI N° 09/2011
AGFM		
Model 3	$AGFM = 0.31046DBH^{1.54806} \times H^{0.78635}$	This study
By law	$AGFM = 0,0009DBH^{1.585} \times H^{2.651}$	NI N° 09/2011
CFM		
Model 3	$CFM = 0.94096DBH^{1.28087} \times H^{0.07649}$	This study
By law	$CFM = 0,0009DBH^{1.585} \times H^{2.651} \times canopy (0.344)$	NI N° 09/2011

OBS: As equações em destaque foram utilizadas para estimar a Biomassa Acima do solo - BSAS e Biomassa Seca na Copa - BSC. A Biomassa Seca no fuste foi obtida a partir da diferença entre a BSAS e BSC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, J. C.; FERNANDES, N. P. Desenvolvimento de árvores nativas em ensaios de espécies. I. Pau-rosa *Aniba duckei* (Kostennans). **Acta Amazônica**, 8(4): 523-541, 1978.
- ARAÚJO, V. C.; CORRÊA, G. C.; MAIA, J. M. S.; MARX, M. C.; MAGALHÃES, M. T.; SILVA, M. L.; GOTTLIEB, O. R. Óleos essenciais da Amazônia contendo linalol. **Acta Amazônica**, 1(3): 45-47, 1971.
- ARAÚJO, M. H. T.; SAMPAIO, P. T. B.; VIEIRA, G.; SPIRONELLO, W.; USECHE, F. L.; BRUNO, F. M. S. Sobrevivência e crescimento de plantas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em clareiras artificiais abertas em capoeiras. **In VI Simpósio Nacional e Congresso Latinoamericano sobre Recuperação de Áreas Degradadas – SINRAD**, Curitiba, PR, 2005.
- ARRUDA, R. “Populações Tradicionais” e a proteção dos recursos naturais em unidades de conservação. **Ambiente & Sociedade**, 2(5): 79–92, 1999.
- AUBERTIN, C. **A ocupação da Amazônia: Das drogas do sertão à biodiversidade**. In L. Emperaire (Ed.), *A floresta em jogo. O extrativismo na Amazônia central*. São Paulo: UNESP. pp. 151-160, 2000.
- BALZON, D. R.; SILVA, J. C. G. L.; SANTOS, A. J. Aspectos mercadológicos de produtos florestais não madeireiros análise retrospectiva. **Floresta**, 34 (3): 363-371, 2004.
- BARBOSA, J. R.; CARVALHO JÚNIOR, R. N. Food sustainability trends - How to value the açai production chain for the development of food inputs from its main bioactive ingredients?. **Trends in Food Science & Technology**, v. 124, p. 86-95, 2022.
- BIRNER, R. “Bioeconomy Concepts”. **Bioeconomy**, p. 18-19, 2018.
- BIZZO, H. R.; REZENDE, C. M. O mercado de óleos essenciais no Brasil e no mundo na última década. **Quim. Nova**, Vol. 45, No. 8, 949-958, 2022.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Portaria n° 37-N, de 03 de abril de 1992. **Lista de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção**. Brasília, DF: MMA, 1992. Acesso em: 03 de março de 2024. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/PT0037-030492.PDF>
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Portaria n° 01 de 18 de agosto de 1998. **A exploração, industrialização e comercialização do pau-rosa (*Aniba rosaeodora*, Ducke), no Estado do Amazonas, somente será permitida, conforme regulamentação estabelecida nesta Portaria**. Brasília, DF: MMA, 1998. D.O.U. DE 19/08/98. Acesso em: 03 de março de 2024. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=138894#:~:text=A%20explora%C3%A7%C3%A3o%2C%20industrializa%C3%A7%C3%A3o%20e%20comercializa%C3%A7%C3%A3o,conforme%20regulamenta%C3%A7%C3%A3o%20estabelecida%20nesta%20Portaria>.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. Brasília: SNAD/CLAV, 2009. 399p.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. Instrução Normativa 9, de 25 de agosto de 2011. **Estabelecer procedimentos para a exploração das florestas primitivas e demais formas de vegetação arbórea natural que contemple a espécie pau-rosa (*Aniba rosaeodora*), o que somente será permitido mediante Plano de Manejo Florestal Sustentável - PMFS, que atenda às especificações da Instrução Normativa MMA N°04, de 11 de dezembro de 2006, bem como da Instrução Normativa MMA N°05, de 11 de dezembro de 2006 e aos aspectos técnicos definidos nesta Instrução Normativa**. Brasília, DF: MMA, 2011. Acesso em: 03 de março de 2024. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=119583>

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Biodiversidade. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: região norte**. Editores: Lidio Coradin, Julcéia Camillo e Ima Célia Guimarães Vieira. 1452 p.: il.; color (Série Biodiversidade; n. 53). Modo de acesso: ISBN 978-65-88265-16-1 (on-line). Brasília, DF: MMA, 2022.

BUGGE, M.; HANSEN, T.; KLITKOU, A. “What is the bioeconomy? A review of the literature”. **Sustainability**, 8, n° 7, 2016.

CAMARGO, J. L. C.; FERRAZ, I. D. K. Notas taxonômicas e morfológicas de *Aniba rosaeodora* Ducke. In SAMPAIO, P.T.B. et al. Uso e Conservação do Pau-rosa. 1°. Ed. Manaus: EDUA, cap. 1, p.9. 2016.

CARNEIRO-FILHO, A. **Os principais produtos extrativistas e suas áreas de produção**. In L. Emperaire (Ed.), A floresta em jogo. O extrativismo na Amazônia central. São Paulo: UNESP, pp. 91-98, 2000.

CEDRIM, P. C. A. S.; BARROS, E. M. A.; NASCIMENTO, T. G. Propriedades antioxidantes do açaí (*Euterpe oleracea*) na síndrome metabólica. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 21, e2017092, p. 1-7, ISSN 1981-6723 on-line version, 2018.

COSTA, L. G. S.; OHASHI, S. T.; DANIEL, O. **O Pau-Rosa - *Aniba rosaeodora* Ducke**. Belém: FCAP. Serviço de Documentação, 15 p., 1995.

DESCONCI, D. **Biomassa e alocação de nutrientes em plantios comerciais de Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke), em duas regiões da Amazônia central**. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, p. 64, 2016.

DRUMMOND, J.A. A extração sustentável de produtos florestais na Amazônia brasileira: vantagens, obstáculos e perspectivas. **Estudos Sociedade e Agricultura**, v.6, p.115-137, 1996.

ELIAS, G. A.; SANTOS, R. Produtos florestais não madeireiros e valor potencial de exploração sustentável da Floresta Atlântica no Sul de Santa Catarina. **Ciência Florestal**, 26(1): 249-262, 2016.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, Embrapa/CNPS: Rio de Janeiro, Brazil, 2011; p. 225. ISBN 85-85864-03-6.

FACHINELLO, D. T. **Produtos florestais não-madeiráveis (PFNM) no estado de Rondônia e as visões sobre desenvolvimento e sustentabilidade e extrativismo**. Dissertação (Mestrado em Administração). Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho. p. 101, 2010.

FEARNSIDE, P. M. Manutenção da Floresta Amazônica como fonte de serviços ambientais. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 80, n. 1, p. 101-114, 2008. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0001-37652008000100006>.

FEARNSIDE, P. M.; NOGUEIRA, E. M.; YANAI, A. M. M. Manutenção de estoques de carbono em Reservas Extrativistas na Amazônia brasileira. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, vol. 48, 2018. DOI: 10.5380/dma.v48i0.58780. e-ISSN 2176-9109.

FERRAZ, J. B. S.; BARATA, L. E. S.; SAMPAIO, P. T. B.; GUIMARAES, G. P. Perfumes da floresta Amazônica: em busca de uma alternativa sustentável. **Ciência e Cultura**. 61: p. 40-43, 2009.

FERREIRA, J.C.C. **Biochar, adubação orgânica e mineral no crescimento inicial de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em latossolo amarelo distrófico da Amazônia Central**. Dissertação (Mestrado em Agricultura no Trópico Úmido). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus. p. 11, 2022.

FERREIRA, L. C. O.; FERNANDES, G. G. C.; VIEIRA, A. L. M.; ALBUQUERQUE, A. R. Produtos Florestais não Madeireiros do Brasil (2016-2020): Subsídio ao Estabelecimento de Novas Cadeias Produtivas pela Cooperativa de Extrativistas de Carajás. **Biodiversidade Brasileira**, 12(1): 220-232, 2022, DOI: 10.37002/biobrasil.v12i1.1799.

GIATTI, O. F.; MARIOSIA, P. H.; ALFAIA, S. S.; SILVA, S. C. P.; PEREIRA, H. S. Potencial socioeconômico de produtos florestais não madeireiros na reserva de desenvolvimento sustentável do Uatumã, Amazonas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 59(3), e229510, 2021.

GONÇALVES, J. F. C.; BARRETO, D. C. S.; SANTOS JUNIOR, U. M.; FERNANDES, A. V.; SAMPAIO, P. T. B.; BUCKERIDGE, M. S. Growth, photosyntheses and stress indicators in Young rosewood plants (*Aniba rosodora* Ducke) under different light intensities. **Brasilian journal Plant Physiology**, v.17, n. 3, p. 325-334, 2005.

GUERRA, F. G. P. Q.; SANTOS, A. J.; SANQUETTA, C. R., BITTEBCIURT, A. M.; ALMEIDA, N. A. Quantificação e valoração de produtos florestais não-madeireiros. **Floresta**, 39(2): 431-439. 2008.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; SAMPAIO, P. T. B.; MARENCO, R. A.; FERRAZ, J.; SALES, S. C.; SAITO, M.; MATSUMOTO, S. **Projeto Jacaranda. Fase II: Pesquisas florestais na Amazônia Central**. Coordenação de Pesquisas em Silvicultura Tropical (CPST). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, cap. 13, p. 179-190, 2003.

HOMMA, A. K. O.; NOGUEIRA, O. L.; MENEZES, A. J. E. A.; CARVALHO, J. E. U.; NICOLI, C. M. L.; MATOS, G. B. Açai: Novos desafios e tendências. **Amazônia: Ci. & Desenv.**, Belém, v. 1, n. 2, p. 1-17, 2006.

HOMMA, A. K. O. **Extrativismo do óleo essencial de pau-rosa Amazônia**. In: Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Amazônia Oriental. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, cap. 03, p. 22, 2014.

KRAINOVIC, P.M. **Plantios de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) estabelecidos em áreas com histórico de uso por atividades agrícolas e pecuárias**. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Identificação e seleção de procedência e progênies de pau-rosa na Amazônia Central, Manaus, p. 117, 2011.

KRAINOVIC, P.M.; ALMEIDA, D.; SAMPAIO, P. New allometric equations to support sustainable plantation management of rosewood (*Aniba rosaeodora*, Ducke) in the Central Amazon. **Forests**, v. 8, n.9, p. 02-28. 2017.

LARA, C. S. **Produção e variabilidade química do óleo essencial de folhas e galhos finos de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke), em duas populações naturais localizadas na Amazônia Central**. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, 89 p., 2012.

LARA, C. S.; COSTA, C. R.; SAMPAIO, P. T. B. O mercado de sementes e mudas de pau-rosa (*Aniba* spp.) no Estado do Amazonas. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, 59(3): e221035, 8 p. 2021.

LEITE, A. M. C.; SAMPAIO, P. J. B.; BARBOSA, A. P.; QUISEN, R. C. **Diretrizes para o resgate e conservação da variabilidade genética de espécie Amazônica I – pau-rosa**. Embrapa Amazônia Ocidental, Documentos, 6. ISSN 1517-3135 p. 43, Manaus, 1999.

LEITE, A. M. C.; QUISEN, R. C.; SAMPAIO, P. T. B. **Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke., Lauraceae): informações sobre o sistema de plantio e o manejo sustentável da espécie**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2001.

LOPES, C. L.; CHIAVARI, J. **Bioeconomia na Amazônia: análise conceitual, regulatória e institucional**. Projeto Amazônia 2030. Climate Policy Initiative. PUC Rio, p. 1-43, set. 2022. Acesso em: 20/03/2024. Disponível em: <https://amazonia2030.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Bioeconomia-na-Amazonia-1.pdf>

LOPES, D.B.; EULER, A.M.C.; FERREIRA, J.N.; VALENTIM, J.F.; WADT, L.H. de O.; KANASHIRO, M.; PORRO, R.; GOIS, S.L.L. de. **Visões sobre bioeconomia na Amazônia: oportunidades e desafios para a atuação da Embrapa**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. 33 p.PDF. (Embrapa. Superintendência de Estratégia. Documentos, 10). Acesso em: 17/01/2024.

OLIVEIRA, D. M.; FALCÃO, N. P. S.; DAMACENO, J. B. D.; GUERRINI, I. A. Rendimento do Biocarvão da Casca da Castanha do Brasil e seus Efeitos na Acidez do Solo e na Disponibilidade de Fósforo em Latossolo Amarelo da Amazônia Central. **Journal of Agricultural Science**, 12 (3), 11 p., 2020.

MAGALHÃES S. S. A.; WEBER O. L. S.; SANTOS, C. H.; VALADÃO, F. C. A. Estoque de nutrientes sob diferentes sistemas de uso do solo de Colorado do Oeste-RO. **Acta Amazônica**. 43:63-72, 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Piracicaba: POTAFOS. 319p., 1997.

MARQUES, J. D. O.; LIBARDI, P. L.; TEIXEIRA, W. G.; REIS, A. M. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região amazônica. **Acta Amazônica**. 34:145 –154, 2004.

MARQUES, H. N. **Bioeconomia na cadeia produtiva do açaí**. Universidade Federal Rural da Amazônia. (Monografia) Curso de Agronomia, Campus Universitário de Capanema, Pará, 44 p., 2023.

MAY, P. H., e BARATA, L. E. S.: "Exploração de pau-rosa na Amazônia brasileira: Opções para a produção sustentável" (Em português). **Economic Botany**. 58.2 (2004): 257-65. Biological e Agr Index Plus. Web. 14 Sep. 2004.

MATOS, D. C. **Fertilidade do solo e estado nutricional de pau-rosa em função do ciclo de cultivo**. Dissertação (Mestrado em Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). Universidade Federal do Amazonas, 2015.

MATOS, F. O.; CASTRO, R. M. S.; RUIVO, M.L.P.; MOURA, Q. L. Teores de Nutrientes do Solo sob Sistema Agroflorestal Manejado com e sem Queima no Estado do Pará. **Floresta e Ambiente**. 19(3):257-266, 2012.

NOGUEIRA, A. K. M.; SANTANA, A. C.; GARCIA, W. S. A dinâmica do mercado de açaí fruto no Estado do Pará: de 1994 a 2009. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 60, n.3, p. 324-331, mai/jun, 2013.

OHASHI, S.T.; ROSA, L.S.; SANTANA, J.A. Brazilian pau-rosa oil: sustainable production and oil quality management. **Perfume & Flavorist**, v. 22, n. 1, p. 1-5, 1997.

OHASHI, S.T.; ROSA, L.S.; MEKDECE, F.S. Influência do diâmetro e da altura de corte das cepas na brotação de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). **Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 137-144, 2004.

OKU, E.; IWARA, A.; EKUKINAM, E. Effects of age of Rubber (*Hevea brasiliensis* Muell Arg.) Plantation on pH, organic carbon, organic matter, nitrogen and micronutrient Status of Ultisols in the Humid Forest Zone of Nigeria. *Kasetsart Journal: Natural Science* 46: 684 – 693, 2012.

ONYEKWELU, J. C.; MOSANDL, R.; STIMM, B. Productivity, site evaluation and state of nutrition of *Gmelina arborea* plantations in Oluwa and Omo forest reserves, Nigeria. *Forest Ecology and Management*, 229: p. 214–227, 2006.

OBSERVATÓRIO CASTANHA-DA-AMAZÔNIA. OCA – Observatório Castanha-da-Amazônia. Disponível em: <https://observatoriodacastanha.org.br/>. Acesso em: 16 abr. 2025.

PREDOZO, E. A.; SILVA, T. N.; SATO, S. A. S.; OLIVEIRA, N. D. A. Produtos Florestais Não Madeiráveis (PFNMS): as Filières do Açaí e da Castanha da Amazônia. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia-RARA**, 3(2): 88-112, 2011.

PEREIRA, G. **Bioeconomia e a Indústria Brasileira**. Confederação Nacional da Indústria (CNI), Brasília-DF, 118 p. 2020: il. ISBN: 978-65-86075-32-8. Acesso em 03/02/2024. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/cd/ed/cded4159-a4c5-474d-9182-dd901b317e1c/bioeconomia_e_a_industria_brasileira.pdf

PEREIRA, H. S.; VINHOTE, M. L. A.; ZINGRA, A. F. C.; TAKEDA, W. M. A multifuncionalidade da agricultura familiar no Amazonas: desafios para a inovação sustentável. **Amazonia: Terceira Margem**, v. 1, n. 5, p. 59-74, 2015.

SHUPEREIRA, R. C.; DAVI, L. C.; TECHIO, V. H.; TIMBÓ, A. L. O. Duplicação cromossômica de gramíneas forrageiras: uma alternativa para programas de melhoramento genético. reira et al. **Ciência Rural**, v.42, n.7, jul, 2012.

PINTO, C. B. C.; RAMALHO, S. S. Pau rosa. Análise conjuntural. Ministério do Interior BASA, Depto. **Estudos Econômicos**. Documento (10): 1-9 e anexos. 1970.

PRADO, R. B. Serviços ecossistêmicos: estado atual e desafios para a pesquisa na Amazônia. **Revista Terceira Margem Amazônia**. v. 6, n. especial 16, p. 11-22, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.36882/2525-4812.2021v6i16.ed.esp.p11-22>.

RAIJ, B. V, CANTARELLA H, QUAGGIO JÁ & FURLANI MC. **Análise Química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, 2001.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Fisiologia da brotação de eucalipto, com ênfase nas suas relações hídricas. **Sér. Téc. IPEF**, 11(30): 9-22, 1997.

RONDON, E. V. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região de mata. Sociedade de Investigações Florestais (SIF). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.5, p.573-576, 2002.

ROSA, L. S.; SÁ, T. D. A; OHASHI, S. T.; BARROS, P. L. C.; SILVA, A. J. V. Crescimento e sobrevivência de mudas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) oriundas de três procedências, em função de diferentes níveis de sombreamento, em condições de viveiro. **Boletim da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará FCAP**. Belém. 28: 37-62, 1997.

ROSA, J. C. S.; SOUZA, B. A.; SÁNCHEZ, L. E. Identificação de serviços ecossistêmicos em áreas de floresta mediante sensoriamento remoto. **Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente**, 53: 276-295, 2020.

SAMPAIO, P. T. B.; FERRAZ, I. D. K.; CAMARGO, J. L. C. **Pau-rosa - *Aniba rosaeodora* D.ucke - Lauraceae**. Manual de sementes da Amazônia (3). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 7 pp. 2003.

SAMPAIO, P. T. B.; VIEIRA, G.; GOMES, L. A.; LEITE, A.; QUISEN, R. **Regeneração natural como propágulos para produção de mudas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora*, Ducke)**

em viveiro. Resumo VI Congresso e Exposição Internacional Sobre Florestas. Porto Seguro, Bahia, 22 a 26 de outubro, 1:177-180, 2000.

SAMPAIO, P. T. B.; BARBOSA, A. P.; VIEIRA, G.; SPIRONELLO, W. R.; SOUZA BRUNO, F. M. Biomassa da rebrota de copas de Pau-rosa em plantios sob sombra parcial em floresta primária. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 35, n. 4, 2005.

SAMPAIO, P. T. B.; SANTOS, M. C.; VIEIRA, G.; SPIRONELLO, W.; USECHE, F. L.; BRUNO, F. M. S. Avaliação da rebrota da copa das árvores de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em sistemas de podas sucessivas. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 1, p. 55-60, 2007.

SAMPAIO, P. T. B.; BRUNO, F. M. S.; MATOS, C. Q. B. G.; MELO, M. G. Propagação vegetativa por estacas e miniestacas de *Aniba rosaeodora* Ducke. Cap. 7. In: SAMPAIO, P. T. B.; FIALHO, F. A. P. Livro: **Silvicultura do Pau rosa (*Aniba rosaeodora*, Ducke)**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Universidade do Estado do Amazonas (UEA). 2021. Acesso em 02/03/2024. Disponível em: https://repositorio.portalpaurosa.com/livros/?view_mode=table&perpage=12&order=DESC&orderby=date&fetch_only_meta=10%2C8%2C276&paged=1&fetch_only=thumbnail%2Ccreation_date

SANTOS, P. V. **Caracterização de plantios inequidôneos *Aniba rosaeodora* Ducke em área Sateré Mawé com fins de produtividade.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). Universidade Federal do Amazonas, 2021.

SANTOS, M. C. **Avaliação da Capacidade de rebrota da copa de árvores de Pau rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em sistema de Plantios sombreados.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. 2003.

SERÁFICO, J.; SERÁFICO, M. A Zona Franca de Manaus e o capitalismo no Brasil. **Estudos Avançados**, 19(54), 99-113, 2005.

SHACKLETON, C. M.; PANDEY, A. K. Positioning non-timber forest products on the development agenda. **Forest Policy and Economics**, 38, 1-7, 2014.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutíferas e plantas úteis na vida amazônica.** Belém: CIFOR, Imazon, 300 p. il., 2005, ISBN 85-88808-02-1.

SILVA, M.L.A., **Amazônia: Ponto de Convergência dos investimentos em bioeconomia.** Atena Editora, cap. VII ANO 2024.

SILVA, M. A. P. et al. **Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável do Baixo Amazonas.** Cáritas Arquidiocesana de Manaus. Estudo Técnico – Manaus. 138. 2010.

SILVA, C. K. **Potencial produtivo e manejo de dois produtos florestais não madeireiros no contexto Amazônico – o cipó-titica (*Heteropsis* spp.) e o óleo de copaíba (*Copaifera* spp).** Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

SILVA-ARAÚJO, E. Desenvolvimento urbano local: o caso da Zona Franca de Manaus. Urbe. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 1(1), p. 33-42, 2017.

SPIRONELLO, W. R.; BARBOSA, A. P.; LEITE, A. M. C.; QUISEN, R.; SARNPAIO, P.T B. **Ecologia reprodutiva do pau-rosa (*Aniba rosaedora* Ducke, Lauraceae) em uma mata de terra-firme na Amazônia Central.** In: HIGUCHI et al. Projeto Jacaranda. Fase II: Pesquisas florestais na Amazônia Central. Coordenação de Pesquisas em Silvicultura Tropical (CPST). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Manaus, cap. 13, p. 179-190, 2003.

TAKEDA, P. S. **Avaliação de biomassa e óleo de rebrotas de galhos e folhas de pau-rosa (*Aniba rosaedora* Ducke) em plantios comerciais submetidos à poda e adubação.** Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais). Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Prospecção, caracterização e produtividade de óleos de diferentes espécies na Amazônia Central, Manaus, p. 87, 2008.

VALENCIA, W. H., SAMPAIO, P. D. T. B., & SOUZA, L. A. G. D. 2010. **Crecimiento inicial de Palo de Rosa (*Aniba rosaedora* Ducke) en distintos ambientes de fertilidad.** *Acta Amazonica*, 40, 693-698.

VIEIRA, L. S.; SANTOS, P. C. T. C. S. Amazônia: seus solos e outros recursos naturais. *Ceres*. São Paulo, 1987.

VIGNOLI, C. P.; LEEUWEN, J.; MILLER, R. P.; TICONA-BENAVALENTE, C. A.; SILVA, B.V.; STRIFFLER, B.; NETO, J.G.F.; ALFAIA, S.S. **Manejo do Solo em Sistemas Agroflorestais Indígenas de Guaraná (*Paullinia cupana* Kunth) da Etnia Sateré-Mawé, no Baixo Amazonas in the Lower Amazon River Region.** *Sustainability*, 14, 15464, 2022. <https://doi.org/10.3390/su142215464>.

VIVIEN, F. D., M. NIEDDU, N. BEFORT, R. DEBREFE E M. GIAMPIETRO. “The Hijacking of the Bioeconomy”. *Ecological Economics* 159: 189-197, 2019.