

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS –
PPG-CFT

Dissertação de Mestrado

TRAJETÓRIAS DE CRESCIMENTO DE ÁRVORES DE *Goupia glabra* - Aubl EM UMA
FLORESTA SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA CENTRAL

ALUANDRA FERREIRA REIS

Manaus, Amazonas

2023

ALUANDRA FERREIRA REIS

Dissertação de Mestrado

TRAJETÓRIAS DE CRESCIMENTO DE ÁRVORES DE *Goupia glabra* - Aubl EM UMA
FLORESTA SECUNDÁRIA NA AMAZÔNIA CENTRAL

Orientador: Dr. Marciel José Ferreira

Coorientador: Dr. Victor Alexandre Hardt Ferreira dos Santos

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais (PPG-CFT) como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais.

Manaus, Amazonas

2023



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



PPG CFT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

PROG

ESTAS TROPICAIS

ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO - MESTRADO

Ata da Defesa remota de **ALUANDRA FERREIRA REIS**, ocorrida no dia 28/11/2023, via plataforma de videoconferência microsoft Teams.

Aos 28 dias de novembro de 2023, às 08h30 (horário de Manaus/AM), realizou-se a Defesa Pública de Dissertação de **ALUANDRA FERREIRA REIS**, aluna do Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Ciências de Florestas Tropicais, intitulada "**Trajetórias de crescimento de árvores de *Goupia glabra* - Abul em uma floresta secundária na Amazônia Central**", sob a orientação do Dr. Marciel José Ferreira (UFAM), coorientador: Dr. Victor Alexandre Hardt Ferreira dos Santos (UEA), em conformidade com o Art. 52 do Regimento Geral da Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (MCTI/INPA) e Art. 67 do Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, como parte das atividades para conclusão e obtenção do Título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais. A **Banca Examinadora** foi constituída pelos seguintes membros: Gabriel de Assis Pereira (ESALQ/USP), Francisco Tarcísio Moraes Mady (UFAM), Jochen Schongart (INPA), e tendo como suplentes os seguintes membros: Adriano José Nogueira Lima (INPA), Mario Tommassiello Filho (ESALQ/USP). O Presidente da Banca Examinadora deu início à sessão e informou os procedimentos do exame. A aluna fez uma exposição do seu estudo e ao término foi arguida oralmente pelos membros da Comissão. Após as arguições os membros da banca se reuniram para avaliação e chegaram ao seguinte parecer:

Nome	Parecer	Assinaturas
Mario Tommassiello Filho	(x) Aprovou () Reprovou	
Francisco Tarcísio Moraes Mady	(X) Aprovou () Reprovou	
Jochen Schongart	(x) Aprovou () Reprovou	
Menção:	(X) "Com Distinção" () "Com Louvor" () "Com Distinção e Louvor"	

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente Ata que, após lida e aprovada, foi assinada pela Coordenação

Marciel José Ferreira
Presidente da Banca / Orientador

Adriano José Nogueira Lima
Coord. do Programa de Pós-Graduação
em Ciências de Florestas Tropicais/INPA
PO - Nº 163/2021

Adriano José Nogueira Lima
Coordenador do PPG-CFT
PO. Nº 163/2021

Catálogo na Publicação (CIP-Brasil)

R375t Reis, Aluandra

Trajetórias de crescimento de árvores de *Goupia glabra* - Auhl em uma floresta secundária na Amazônia Central / Aluandra Ferreira Reis; orientador Marciel José Ferreira; coorientador Victor Alexandre Hardt Ferreira dos Santos. - Manaus: [s.l.], 2023.

1,805 MB

43p. : il. color.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2023.

1. Dendrocronologia. 2. Manejo florestal sustentável. 3. Conservação. I. Ferreira, Marciel José. II. Santos, Victor Alexandre Hardt Ferreira dos. III. Título

CDD 578.730 913

Lista de figuras

- Figura 1.** Localização da Fazenda Experimental FAEXP/UFAM, destacando a área de floresta secundária. As imagens são do satélite LANDSAT 5 e PLANET, Datum = SIRGAS 2000.....19
- Figura 2.** Histórico de desmatamento na área da FAEXP/UFAM, destacando a área de floresta secundária utilizada nesse estudo. As imagens são do satélite LANDSAT 5 e PLANET, Datum = SIRGAS 2000.....20
- Figura 3.** Croqui com as parcelas e localização das 34 árvores de *G. glabra* estudadas na floresta secundária.....22
- Figura 4** Distribuição diamétrica da população de *Goupia glabra*, com DAP > 10 cm, em uma área de 10 hectares na floresta secundária.....22
- Figura 5.** Coleta (A) e preparo (B) dos discos de *G glabra*.....23
- Figura 6.** Seção transversal de um disco de *Goupia glabra* destacando a variação da coloração do lenho, bem como os anéis de crescimento (A); imagem (aumento de 10 x) destacando as zonas fibrosas ao longo do lenho (B); sessão transversal de discos sem cerne (C).....30
- Figura 7.** Perfil densitométrico do lenho e imagem de uma amostra radial de *G. glabra* demonstrando a variação de densidade aparente intra - anéis.....31
- Figura 8.** Crescimento acumulado em diâmetro (DAP) de árvores de *G. glabra* em função das classes de exposição da copa (alta, média e baixa) em uma floresta secundária. A linha tracejada indica o DAP = 10 cm das árvores. As linhas verticais representam as idades médias das árvores com DAP = 10 cm nas diferentes classes de exposição das copas. Azul = alta; verde = média; cinza = baixa.....32
- Figura 9.** Incremento médio anual (IMA) em DAP (A), área transversal (B) e densidade básica (C) do tronco das árvores de *G. glabra* por classe de exposição da copa, em que (1) corresponde à baixa exposição; (2) média exposição; e alta exposição (3). As linhas são as médias e os círculos os outliers. Os valores de significância dos modelos estão indicados pela letra p, valores de $p < 0,05$ indicam que há diferença estatisticamente significativa; NS = não significativo.....34
- Figura 10.** Curvas de incremento médio anual (IMA), incremento corrente anual (ICA) e acumulado de área transversal de árvores de *G. glabra* em função da classe de exposição das copas, em que (A) corresponde á alta exposição; (B) média exposição; e (C) baixa exposição. As linhas tracejadas verticais indicam as idades com valores máximos de ICA.....36
- Figura 11.** Curvas de incremento médio anual (IMA), incremento corrente anual (ICA) e acumulado de volume e biomassa de árvores de *G. glabra* em função da classe de exposição

das copas, em que (A e D) corresponde à alta exposição; (B e E) média exposição; e (C e F) baixa exposição. As linhas tracejadas verticais indicam as idades com valores máximos de ICA.....38

Lista de tabelas

Tabela 1. Parâmetros utilizados nos modelos por classe de exposição da copa.....	28
---	----

Sumário	
Resumo	11
Abstract.....	12
1. Introdução.....	14
2. Objetivos.....	17
3. Metodologia.....	18
3.1. Localização e caracterização da área de estudo	18
3.2. Seleção das árvores	20
3.3. Coleta e preparo de amostras do lenho das árvores	23
3.4. Descrição macroscópica no plano transversal da madeira e propriedades organolépticas	24
3.5. Análise da densidade do lenho.....	24
3.6. Mensuração dos anéis de crescimento	25
3.7. Estimativa da altura, volume e biomassa das árvores de <i>G. glabra</i>	25
3.8. Modelo de incremento diamétrico em função da idade	27
3.9. Análise de dados	28
4. Resultados e discussão	29
4.1. Propriedades organolépticas, anatomia macroscópica do lenho e variação da microdensidade dos anéis de crescimento em árvores de <i>G. glabra</i>	29
.....	31
4.2 Crescimento e produtividade de árvores de <i>G. glabra</i> em uma floresta secundária	31
5. Conclusão	39
6. Referências	40
7. Apêndice.....	46

Agradecimentos

A Deus, primeiramente, por ter me guardado e permitido concluir mais uma etapa em minha vida.

À minha família que me deu todo apoio durante o andamento do curso. Destaco os nomes das minhas irmãs Alessandra e Aliandra e do meu cunhado Elioney que não mediram esforços para ajudar no que estivesse aos seus alcances. A minha mãe Adinelza Rozendo que me incentivou a prosseguir meus estudos e ingressar neste curso. Ao meu sobrinho Natanael que, com sua presença tornou mais leve essa árdua jornada que é a pós-graduação.

Ao grupo do Laboratório de Silvicultura pelo convívio e auxílio para alcançar mais esta formação. Especialmente a Taynãna pela grande amizade que formamos e o apoio durante o curso. Também ao Guilherme e a Thayane pela contribuição direta no meu aprendizado.

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências de Florestas Tropicais PPG-CFT-INPA por ter me dado a oportunidade de realizar esse curso.

Ao Laboratório de Dendroecologia do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA pelo apoio dado durante à etapa de processamento inicial das amostras.

Ao Laboratório de Anatomia e Identificação da Madeira da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/ USP, em nome do Prof. Mario Tomazello-Filho, pelo suporte dado ao processamento das amostras e às análises de dendrocronologia.

Ao meu orientador Marciel José Ferreira pela paciência, compreensão e ensino que também foi imprescindível para concluir essa dissertação e curso.

Ao meu coorientador Victor Alexandre Hardt Ferreira dos Santos por toda contribuição na construção do projeto e dissertação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES)- Código de financiamento 001, pela bolsa de mestrado concedida durante o período de estudo.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo suporte financeiro aos projetos de pesquisa ligados à minha pesquisa, bem como o auxílio financeiro, via Programa Pós-Grad, para viabilizar o deslocamento até Piracicaba, SP.

À Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas (FAEXP-UFAM) pelo suporte logístico de campo.

Para finalizar, a todos que contribuíram direta e indiretamente na minha formação e realização desse trabalho.

Resumo

As florestas secundárias, ou florestas em regeneração, têm se tornado tipologias florestais dominantes em regiões tropicais. Na Amazônia Legal, estima-se que 20% das áreas desmatadas estejam cobertas por florestas secundárias. Além da sua contribuição para os esforços de restauração florestal, quando bem manejadas, florestas secundárias podem ser importantes fontes de produtos florestais. Estudos realizados em regiões tropicais têm mostrado a capacidade dessas florestas em recuperar tanto a riqueza de espécies quanto a produtividade de madeira. Entretanto, este potencial ainda é pouco conhecido para as florestas secundárias da Amazônia Central. *Goupia glabra* é uma das espécies de grande importância econômica na região Amazônica e ocorre de forma abundante em florestas secundárias. No presente estudo, o objetivo geral foi avaliar as propriedades do lenho e a trajetória de crescimento ao longo dos anos de árvores de *G. glabra* em um sítio de floresta secundária. O estudo foi realizado em uma área de floresta secundária de aproximadamente 37 anos de idade e 35 hectares de extensão, localizada na propriedade da Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas (FAEXP/UFAM). Para tanto, foi mensurado o diâmetro a altura do peito (DAP) das árvores de *G. glabra* registradas em 10 parcelas de 1 hectare, as quais foram também classificadas quanto ao grau de exposição da copa à luz solar. Foram coletados discos de DAP de 34 árvores, distribuídas em diferentes classes de tamanho e posições no extrato vertical da floresta. A técnica de densitometria de Raio X por imagem foi utilizada para identificar com mais precisão os limites dos anéis de crescimento, bem como obter os perfis de microdensidade. A partir da mensuração da largura dos anéis com o software WinDENDRO©, mediante imagens geradas pelo equipamento Faxitron MX20-DC120, foram calculados os indicadores de Incremento Médio Anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) das árvores. As estimativas de altura, biomassa e volume das árvores foram obtidas a partir de modelagem. Os valores médios de microdensidade do lenho variaram entre 0,93 e 0,87 g cm⁻³ no sentido medula-casca. Observou-se variação no crescimento radial das árvores. As taxas de crescimento das árvores de *G. glabra* foram significativamente influenciadas pelo grau de exposição das copas. Árvores pertencentes à classe de alta exposição tiveram maiores taxas de crescimento médio anual em DAP (0,51 cm ano⁻¹), área transversal acumulada (0,0380 m² ano⁻¹) e incremento em área transversal estimada (0,0008 m² ano⁻¹), bem como dos valores de produtividade, IMA-volume (0,00636 m³ ano⁻¹) e IMA-biomassa (5,028 kg ano⁻¹). Árvores da classe de baixa exposição tiveram valores de IMA-DAP de 0,19 cm, área transversal acumulada de 0,0086 m², incremento em área transversal estimada de 0,0004 m² e produtividade de 0,0022 m³ ano⁻¹ para o IMA-volume e 1,720 kg ano⁻¹

¹ para biomassa. Apesar das diferenças de crescimento observadas, as árvores não alcançaram valores máximos de IMA nas três classes de exposição. Em relação à densidade básica da madeira, não houve diferença entre as classes de exposição das copas. Os resultados obtidos para árvores de *G. glabra* indicam que a espécie permanece com grande potencial de crescimento no sítio de floresta secundária estudado, bem como possui significativa variação intraespecífica de produtividade. Essas informações poderão contribuir para a definição da viabilidade de manejo e implementação de futuras intervenções silviculturais neste povoamento, o qual pode servir de referência para ações de conservação e manejo em outros sítios de florestas secundárias no Amazonas.

Palavras chave: Manejo florestal sustentável, Dendrocronologia, Conservação, Dinâmica de crescimento, Microdensidade.

Abstract

Secondary forests, or forests in regeneration, have become dominant forest typologies in tropical regions. In the Legal Amazon, it is estimated that 20% of the deforested areas are covered by secondary forests. In addition to their contribution to forest restoration efforts, when well managed, secondary forests can be important sources of forest products. Studies conducted in tropical regions have shown the ability of these forests to recover both species richness and wood productivity. However, this potential is still poorly understood for the secondary forests of central Amazonia. *Goupia glabra* is one of the species of great economic importance in the Amazon region and occurs abundantly in secondary forests. In the present study, the general objective was to evaluate the wood properties and growth trajectory over the years of *G. glabra* trees in a secondary forest site. The study was conducted in an area of secondary forest approximately 37 years old and 35 hectares long, located on the Experimental Farm of the Federal University of Amazonas (FAEXP/UFAM). For this purpose, the diameter at breast height (DBH) of the *G. glabra* trees recorded in 10 1-hectare plots was measured and classified according to the degree of canopy exposure to sunlight. DBH disks were collected from thirty-four trees, distributed in different size classes and positions in the vertical layer of the forest were collected. The X-ray densitometry imaging technique was used to more accurately identify the boundaries of the growth rings and to obtain the microdensity profiles. From the measurement of the width of the rings with the software WinDENDRO©, using images generated by the equipment Faxitron MX20-DC120, the indicators of mean annual increment

(MAI) and current increment (CAI) of the trees were calculated. Estimates of tree height, biomass and volume were obtained from modeling. The average values of wood microdensity ranged between 0.93 and 0.87 g cm⁻³ in the pith-bark direction. A strong variation was observed in the radial growth of the trees. The growth rates of *G. glabra* trees were significantly influenced by the degree of canopy exposure. Trees belonging to the high-exposure class had higher growth rates in average annual growth in DAP (0.51 cm), cumulative cross-sectional area (0.0380 m²) and increase in estimated cross-sectional area (0.0008 m² year⁻¹), as well as in values of productivity, MAI-volume (0.00636 m³ year⁻¹) and MAI-biomass (5.028 kg year⁻¹). Trees of the low-exposure class had MAI-DBH values of 0.19 cm, cumulative cross-sectional area of 0.0086 m², increase in estimated cross-sectional area of 0.0004 m² and productivity of 0.0022 m³ year⁻¹ for MAI-volume and 1.720 kg year⁻¹ for biomass. Despite the observed growth differences, the trees did not reach maximum MAI values in the three exposure classes. Regarding basic wood density, there was no difference between the exposure classes of the crowns. The results obtained for trees of *G. glabra* indicate that the species remains with great growth potential in the secondary forest site studied and has significant intraspecific variation in productivity. This information may contribute to the definition of management feasibility and implementation of future silvicultural interventions in this stand, which may serve as a reference for conservation and management actions in other secondary forest sites in the Amazon.

Keywords: Sustainable forest management, Dendrochronology, Conservation, Growth dynamics, Microdensity.

1. Introdução

Entre os anos de 1990 e 2020, as regiões tropicais perderam cerca de 368 milhões de hectares de florestas (FAO, 2020). As principais causas incluem a expansão agropecuária e a extração ilegal de madeira (CURTIS et al., 2018; HENRIQUES, 2010; BRANCALION, 2012). Somente na Amazônia Brasileira, aproximadamente, 81,3 milhões de hectares de florestas naturais foram convertidos à outras formas de uso do solo (INPE, 2021). Diante deste cenário, uma importante estratégia para o uso mais responsável dos recursos florestais é através do Manejo Florestal Sustentável (MFS). O MFS é uma ciência aplicada à administração da floresta para obter produtos madeireiros e não madeireiros, incluindo a utilização de outros bens e serviços oriundos da floresta de forma que respeitem os limites da exploração para garantir a sustentabilidade do ecossistema (LEI Nº 11.284, DE 2 DE MARÇO DE 2006). No entanto, garantir a sustentabilidade na oferta contínua de madeira a longo prazo, após a primeira exploração, permanece um dos maiores desafios no manejo de florestas nativas, tendo em vista a vasta diversidade e riqueza de espécies coexistindo no mesmo ambiente (AZEVEDO, et al., 2008; MATTOS et al., 2011).

Em vista à capacidade de produção madeireira em florestas nativas maduras na Amazônia, estudos recentes têm demonstrado a insustentabilidade da oferta contínua de madeira a partir da investigação e simulação de diversos cenários de exploração (SIST, et al., 2021; PIPONIOT et al., 2019). Portanto, diante da dificuldade de se garantir uma produção contínua de madeira em longo prazo a partir das ações de manejo praticadas atualmente em florestas maduras, há um reconhecimento crescente sobre a necessidade de se desenvolver outros sistemas de produção sustentável de madeira (BOOT; GULLISON, 1995). Uma alternativa a ser considerada é a produção de madeira em florestas secundárias, pois, tornando-as mais valorosas, contribuiria para reduzir a vulnerabilidade em que se encontram essas florestas, assegurando os serviços ecossistêmicos prestados por essa tipologia, além de favorecer na diminuição da pressão sobre florestas tropicais maduras (BIENG et al., 2021).

Floresta secundária é uma tipologia florestal que regenera na maioria das vezes por processos naturais em áreas que foram perturbadas por ações humanas ou naturais, e que apresentam uma diferença na estrutura e composição em relação às florestas maduras da mesma paisagem (CHOKKALINGAM; JONG, 2001). A partir da conversão de florestas para outras classes de uso do solo, estima-se que metade das florestas tropicais não são mais florestas maduras, mas vegetações secundárias em diferentes estágios de regeneração (FAO, 2010;

CHAZDON, 2014). Na Amazônia, o surgimento de paisagens compostas por florestas secundárias decorreu, principalmente, do estabelecimento de propriedades rurais que substituíram a floresta madura por usos alternativos da terra, mas, que com o passar do tempo se mostraram insustentáveis e foram abandonadas, permitindo o estabelecimento da regeneração natural (SAMPAIO et al., 2017). No ano de 2018, cerca de 57% dessa tipologia florestal no Brasil estava concentrada na Amazônia Legal (SILVA JUNIOR et al., 2020). Em 2020, 20% da área que foi desmatada na Amazônia brasileira encontrava-se em diferentes estágios de regeneração, cobrindo uma área de 16 milhões de hectares (INPE, 2021). Entre 1980 e 2012, o ganho líquido em áreas de florestas secundárias na Amazônia saltou de 3 milhões para mais de 15 milhões hectares (AGUIAR et al., 2016; JAKOVAC et al., 2016). Considerando o predomínio de florestas secundárias na Amazônia, há um grande potencial de uso dessas florestas para restauração florestal (GUIMARÃES et al., 2022). Revelar o potencial de florestas em regeneração na provisão de serviços ecossistêmicos tem sido foco de diversos estudos (BIENG, 2021; CORDEIRO; VASCONCELOS; SCHWARTZ, 2017; PEREIRA; VIEIRA, 2001). Apesar disso, florestas secundárias são responsáveis por colonizar novamente as espécies nativas na área perturbada regulando a estrutura, composição e o acúmulo de biomassa (CHAZDON, 2012; ZHU; LU; ZHANG, 2014). Também assumem o papel de sumidouro de carbono, compensando parcialmente as emissões globais deste elemento (PAN et al., 2011). Conforme ocorre a sucessão ecológica na área perturbada serviços ecossistêmicos vão se estabelecendo, como, por exemplo, a recuperação da biodiversidade (BRANCALION, 2012; ROZENDAAL et al., 2019).

A ausência de uma gestão silvicultural eficaz para aumentar o valor econômico e as funções ecológicas leva os produtores a substituírem suas áreas de florestas secundárias por outras atividades economicamente mais produtivas, com retorno a curto prazo, tais como, agricultura e pecuária (BIENG et al., 2021; KAMMESHEIDT, 2002). Essas ações têm impactado a expansão das florestas secundárias, uma vez que atualmente não há legislação específica para a sua proteção na maioria dos estados da Amazônia Legal. Entretanto, estudos têm demonstrado que, quando bem manejadas a partir de práticas silviculturais adequadas, florestas secundárias podem ser fontes importantes de bens madeireiros e não madeireiros (SCHWARTZ et al., 2015; KENNARD et al., 2002).

A produção sustentada de madeira a partir de ações de manejo em florestas nativas requer informações contínuas acerca do incremento das árvores, dados esses que normalmente são obtidos a partir da mensuração de parcelas permanentes, possibilitando estimar os

rendimentos futuros. Porém, este método limita-se normalmente pelo curto período de monitoramento das parcelas permanentes instaladas em sítios de florestas nativas maduras na Amazônia (BRIENEN; ZUIDEMA, 2006; CONDIT, 1995). Em florestas secundárias, as parcelas permanentes são instaladas para monitoramento de pesquisa e dificilmente para avaliar a produção madeireira (BIENG, et al., 2021; LAURENCE et al., 2011). Diante da necessidade de informações para elaborar planejamentos eficientes, a dendrocronologia pode ser uma importante ferramenta complementar para fornecer subsídios ao manejo sustentável de florestas secundárias, a partir do resgate do histórico de incremento radial das árvores (LOTFIOMRAN; KOHL et al., 2017). A dendrocronologia nos trópicos vem sendo praticada há mais de cem anos por ser uma ciência de datação baseada nos anéis de crescimento do tronco das árvores e que possibilita traçar comparativos com estudos de eventos e variações ambientais (WORBES, 2002; KAENNEL; SCHWEINGRUBER, 2012). Tem sido amplamente empregado nas áreas da botânica, silvicultura e climatologia (WORBES, 1995). É notório a eficácia desta ciência para determinar a idade da árvore e descobrir o padrão individual de crescimento com base em modelos de crescimento em árvores que formam anéis anuais (BRIENEN; ZUIDEMA, 2006; LOTFIOMRAN; KOHL, 2017; SCHONGART et al., 2007). No entanto, devido à grande diversidade de espécies arbóreas tropicais, o ritmo de crescimento de grande parte das espécies ainda é desconhecido (MATTOS et al. 2011), além do fato de existirem diversos fatores intra e interespecíficos determinantes do crescimento de uma árvore, por exemplo, autoecologia, competição, condições de sítio e herbivoria (MATTOS et al., 2011). No que se refere à competição, a exposição da copa em um dossel denso de floresta secundária pode ser determinante para variação intraespecífica no crescimento, tendo em vista que, já foi demonstrado que árvores dominantes (com copas predominantemente expostas à luz solar direta), em floresta secundária, apresentaram taxas mais elevadas de crescimento em diâmetro quando comparadas às árvores suprimidas (totalmente sombreadas) (MENDOZA et al., 2019). Portanto, a obtenção de informações sobre o incremento radial ao longo da trajetória de desenvolvimento de árvores individuais, em um determinado sítio, a partir das técnicas de dendrocronologia é fundamental para o manejo florestal. A partir de mensurações feitas nos anéis de crescimento, é possível produzir informações relacionadas ao ponto de inflexão do crescimento das árvores, os fatores determinantes que influenciam o incremento das árvores e recuperar situações de competição correlacionando com outras variáveis, contribuindo para a escolha de tratamentos silviculturais adequados (LOTFIOMRAN; KOHL, 2017; MATTOS et al., 2011).

A espécie *Goupia glabra* Aubl, popularmente conhecida como cupiúba, é uma espécie da família Goupiaceae e abundante em florestas secundárias (FERREIRA; TONINI, 2004). Na Amazônia, é uma das espécies mais comercializadas a partir da exploração em florestas nativas maduras (FERREIRA; TONINI, 2004; HIRAI; CARVALHO; PINHEIRO, 2007). Esse destaque ocorre em função das boas características da madeira da espécie, dura e pesada (densidade 0,87 g/cm³), de cor parda a castanho – rosada e com alta resistência ao ataque de organismos xilófagos (LORENZI, 1998; FLORSHEIM, 2020). Além de ser uma árvore de grande porte, podendo atingir até 40 m de altura, a espécie apresenta características típicas de pioneiras de vida longa (FERREIRA; TONINI, 2004; FINEGAN, 1992). Portanto, *G. glabra* é uma espécie que necessita exposição direta a luz (heliófita) para regenerar e se desenvolver (FINEGAN, 1992). A ocorrência da cupiúba foi confirmada no Brasil nos estados de Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima, Mato Grosso e Maranhão em áreas de Floresta Ciliar, Floresta de Terra Firme, Floresta de Várzea, Floresta Ombrófila e vegetação antropizada (BIRAL, 2019). A formação dos anéis de crescimento da espécie já foi demonstrada, sendo os anéis delimitados por uma zona fibrosa formada a partir de células com paredes mais espessas (LOTFIOMRAN; KÖHL, 2017). A espécie é semidecídua, por isso, provavelmente, forma o lenho tardio no início do período seco quando perde, parcialmente, suas folhas (LORENZI, 1998).

Em uma floresta secundária com idade de 37 anos e alta densidade de árvores de *G. glabra*, foram coletadas amostras do lenho de indivíduos com diferentes tamanhos e níveis de exposição da copa, com o objetivo de investigar as seguintes questões científicas: i) Como é a característica do lenho e a trajetória de crescimento ao longo dos anos de árvores de *G. glabra* em um sítio de floresta secundária? ii) Como é a variação de crescimento radial e a produtividade de árvores de *Goupia glabra* em floresta secundária? iii) Quais os efeitos dos níveis de exposição da copa sobre o crescimento radial de árvores de *G. glabra*?

2. Objetivos

Objetivo Geral:

Avaliar as propriedades do lenho e a trajetória de crescimento ao longo dos anos de árvores de *G. glabra* em um sítio de floresta secundária.

Objetivos específicos:

- 1) Caracterizar o lenho de árvores de *G. glabra* em uma floresta secundária;
- 2) Investigar como é a variação de crescimento radial e produtividade de árvores de *G. glabra* em floresta secundária;
- 3) Analisar quais os efeitos dos níveis de exposição da copa sobre o crescimento radial e a produtividade (volume e biomassa) de árvores de *G. glabra*.

3. Metodologia

3.1. Localização e caracterização da área de estudo

O sítio de estudo está localizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas - FAEXP/UFAM (02°38'S, 60°03'W) (Figura 1), no quilômetro 38 da BR 174 (ao norte de Manaus) em uma floresta secundária de 35 hectares no município de Manaus, Amazonas. A precipitação média anual da região é de 2355 mm, com temperatura média do ar variando entre 24,5°C e 31,6°C (dados de 1991-2021; INMET, 2022). O tipo de solo no qual as florestas da propriedade estão estabelecidas é classificado como latossolo amarelo álico argiloso e bem drenado (CHAUVEL, 1982).

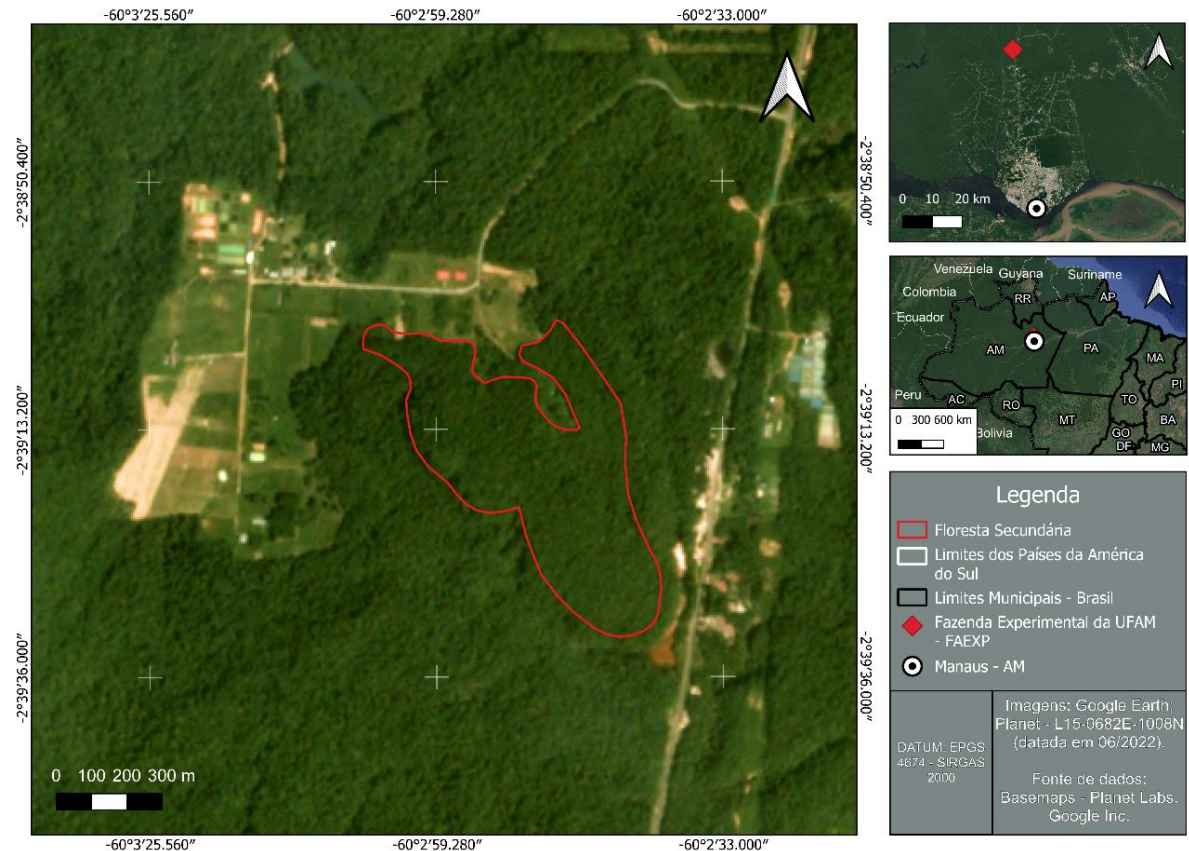


Figura 1. Localização da Fazenda Experimental FAEXP/UFAM, destacando a área de floresta secundária. As imagens são do satélite LANDSAT 5 e PLANET, Datum = SIRGAS 2000.

A floresta secundária objeto deste estudo possui, atualmente, 37 anos de idade. A regeneração natural se estabeleceu na área após o corte e queima da vegetação nativa para implantação de monocultivos, mas que, posteriormente foram abandonados. As atividades ocorreram entre os anos de 1984 e 1986. Primeiramente, foram suprimidos cerca de 14 hectares de vegetação nativa, através do corte e queima, para a implantação de um monocultivo de castanheira - da - Amazônia (*Bertholletia excelsa* Bonpl.). Posteriormente, ocorreu a supressão do restante da vegetação (21 hectares), também por corte e queima, para implantação de diferentes tipos de monocultivos, destacando o cultivo de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). Entretanto, os cultivos foram abandonados permitindo a regeneração natural da vegetação nativa. Importante mencionar que, antes da supressão era realizada a exploração madeireira na área, formando clareiras e certamente influenciando os processos de sucessão. Portanto, embora a floresta tenha 37 anos é possível que haja indivíduos mais velhos, que regeneraram nessas clareiras de exploração e não foram cortados durante as atividades de supressão. Tais informações foram obtidas por meio de relatos de funcionários da FAEXP/UFAM e após

análise temporal de imagens de satélite (Figura 2). No ano de 2020, foi realizado o inventário da área a partir da instalação de dez parcelas de 1 hectare cada, onde foram mensurados o diâmetro a altura do peito (DAP) e feita a identificação botânica de todos os indivíduos com $DAP \geq 10$ cm. Foi registrado uma densidade de 582 ± 19 indivíduos ha^{-1} ($\bar{x} \pm IC 95\%$) e uma área basal de $16,94 \pm 0,71$ $m^2 ha^{-1}$ ($\bar{x} \pm IC 95\%$). De acordo com o inventário realizado, os gêneros mais dominantes são: *Goupia* > *Vismia* > *Bellucia* > *Miconia* > *Guatteria* > *Croton*. Entre as espécies inventariadas, destaca-se *Goupia glabra*, que teve uma densidade de $110 \pm 26,3$ indivíduos ha^{-1} ($\bar{x} \pm IC 95\%$), com DAP médio de $16 \pm 0,5$ cm ($\bar{x} \pm IC 95\%$).

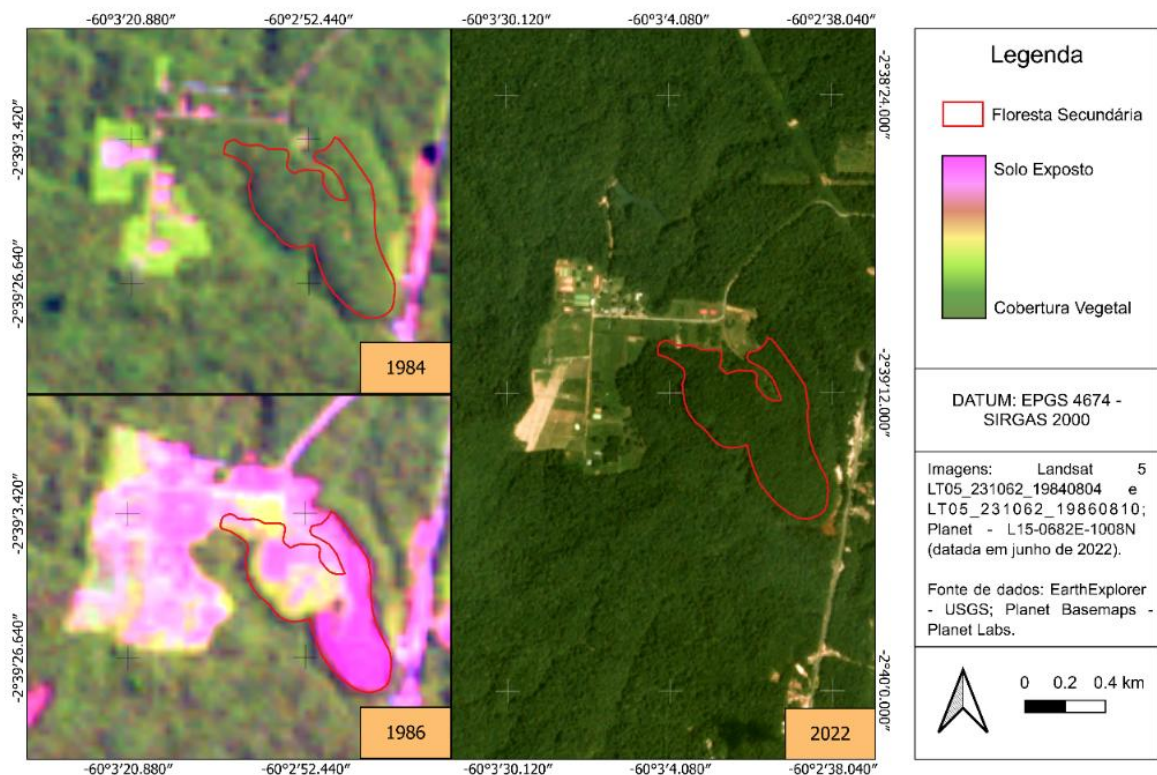


Figura 2. Histórico de desmatamento na área da FAEXP/UFAM, destacando a área de floresta secundária utilizada nesse estudo. As imagens são do satélite LANDSAT 5 e PLANET, Datum = SIRGAS 2000.

3.2. Seleção das árvores

Em 2021, foi instalado na área inventariada um experimento de *melhoramento de floresta secundária via cortes de liberação*. Antes da aplicação dos tratamentos, foram selecionadas árvores potenciais para a produção de madeira (AFC – árvores de futura colheita) que estivessem regenerando naturalmente na área, para serem beneficiadas pelos tratamentos.

As AFCs foram selecionadas com base no reconhecido interesse de mercado pela espécie e na qualidade do fuste dos indivíduos. Foram aplicados dois tratamentos: 1) *Cortes de liberação* = beneficiamento das AFCs com: corte de lianas, remoção de indivíduos com DAP ≥ 10 cm em um raio de dois metros em torno da AFC e remoção de indivíduos além do raio de dois metros que estivessem impedindo a expansão da copa da AFC; 2) *Controle* = sem aplicação de tratamentos silviculturais (HUTCHINSON; WADSWORTH, 2006). Cada tratamento foi aplicado em cinco das dez parcelas experimentais (Figura 3). Para a coleta das amostras do presente estudo, foram selecionadas árvores de *Goupia glabra* abatidas pelos cortes de liberação. Quando duas AFCs de *Goupia glabra* estavam competindo, uma teve que ser retirada. As árvores-amostra foram selecionadas com base na distribuição diamétrica da espécie na floresta, onde, a maior frequência de indivíduos está na menor classe diamétrica e, conforme aumenta as classes a frequência diminui formando uma curva do tipo exponencial (Figura 4). Antes de serem abatidas, as árvores foram classificadas quanto à exposição da copa em cinco categorias de acordo com Dawkins e Field (1978), posteriormente agrupadas em três classes: alta exposição (1 Total exposição lateral e vertical; 2 Exposição vertical total); média exposição (3 Exposição vertical parcial) e baixa exposição (4 Apenas iluminação oblíqua; 5 Sem iluminação direta).

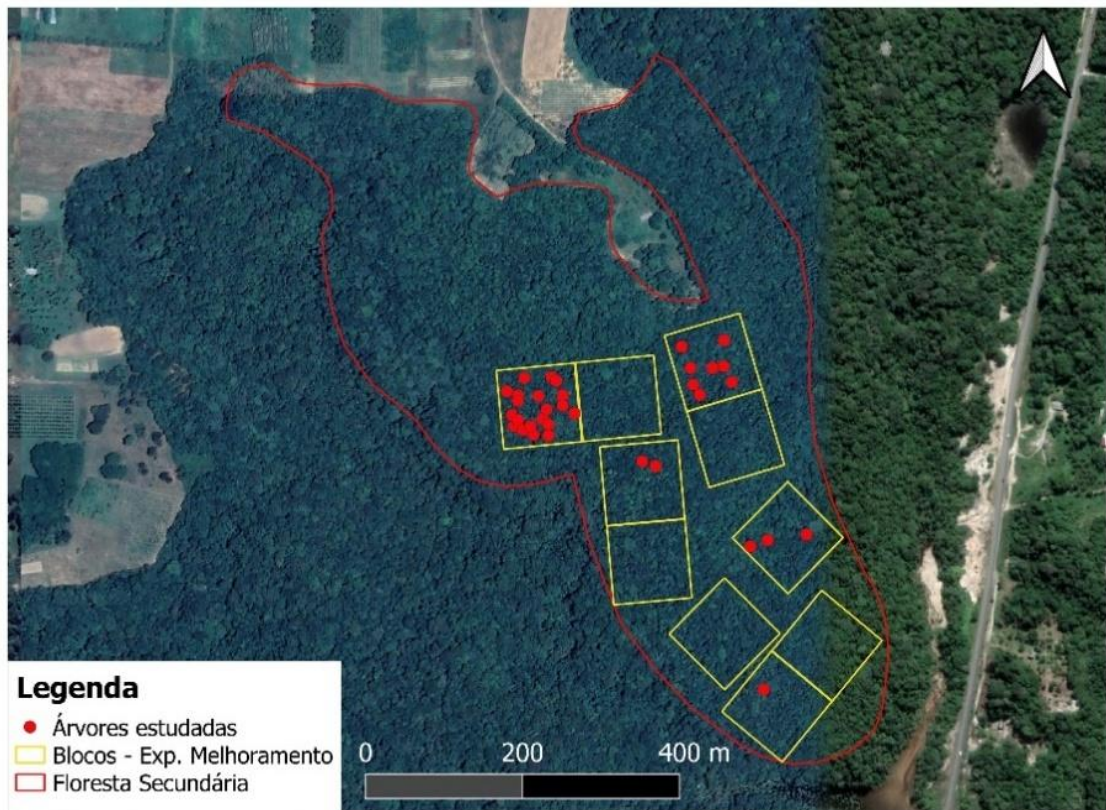


Figura 3. Croqui com as parcelas e localização das 34 árvores de *G. glabra* estudadas na floresta secundária.

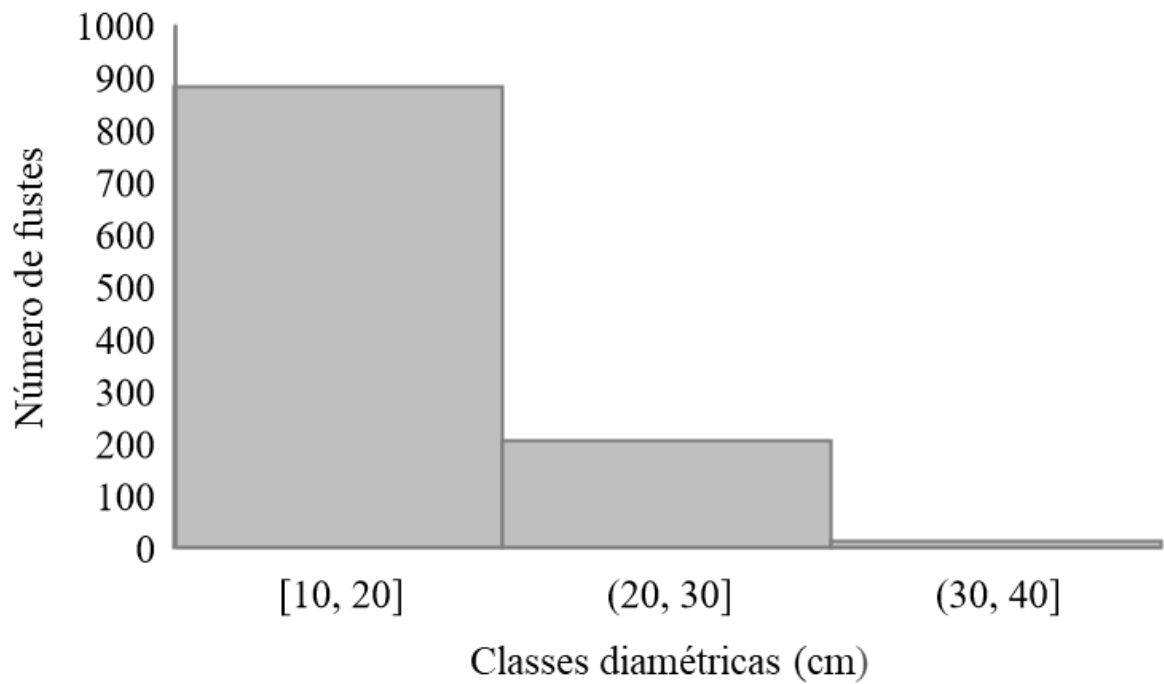


Figura 4 Distribuição diamétrica da população de *Goupia glabra*, com DAP > 10 cm, em uma área de 10 hectares na floresta secundária.

3.3. Coleta e preparo de amostras do lenho das árvores

A partir das árvores de *G. glabra* abatidas em campo, foi retirado, com o auxílio de uma motosserra, um disco de cada árvore (34 discos) na posição de 1,30 m de altura desde a base da tora (DAP) (Figura 5A). As amostras foram levadas para o Laboratório de Dendroecologia do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia- INPA, onde foi feito o polimento (Figura 5B). Posteriormente, o material foi encaminhado ao Laboratório de Anatomia da Madeira da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ/ USP para os procedimentos de dendrocronologia.

As amostras foram polidas com lixas de diferentes granulometrias até chegar ao grânulo 600 para melhor visualização dos anéis de crescimento. Em seguida, todas as amostras foram digitalizadas em um escâner de alta resolução para posterior auxílio nas demarcações dos limites dos anéis. Após obter as imagens digitais das amostras, os discos foram reduzidos em tamanho. Em sua sessão transversal, foram feitas marcações com lápis para retirar duas amostras radiais (10 x 20 mm, largura x espessura), onde, posteriormente, foram coladas em suporte de madeira.

Todas as amostras radiais coladas no suporte de madeira foram cortadas em finas fatias (10 mm x 2mm, largura x espessura) por equipamento de dupla serra circular e, em seguida, foram acondicionadas em câmara climatizada (20°C, 60% de umidade relativa por 24h) até obter 12% de umidade (TOMAZELLO – FILHO et al., 2008).



Figura 5. Coleta (A) e preparo (B) dos discos de *G glabra*.

3.4. Descrição macroscópica no plano transversal da madeira e propriedades organolépticas

A descrição macroscópica no plano transversal e determinação das propriedades organolépticas da madeira foram realizadas segundo Coradin e Muñiz (1992). Foram utilizadas para essa descrição discos de madeira polidos. Os caracteres não anatômicos (cor, cheiro, brilho e textura) foram observados em amostras secas em temperatura ambiente. O cerne e o alburno foram classificados quanto à distinção por meio da cor em: 1) distintos 2) poucos distintos, e 3) indistintos. Quando distintos, a cor foi especificada separadamente para o cerne e alburno. A característica quanto ao brilho foi observada em local iluminado dividido em: 1) com brilho e 2) sem brilho (moderado e acentuado). O odor foi verificado em amostras úmidas e recém polidas seguindo a orientação de classificação 1) perceptível (característico, desagradável e agradável) e 2) imperceptível. Para a análise de textura, as classes foram: 1) textura fina, 2) textura média e 3) textura grossa.

No que diz respeito a descrição macroscópica, alguns caracteres foram observados com o auxílio de uma lupa de bolso com aumento de 10 x. O parênquima axial foi analisado quanto a 1) visibilidade: visíveis a olho nú; visíveis somente sob lente de 10 x; invisíveis mesmo sob lente de 10 x e 2) Disposição: apotraqueal, paratraqueal e faixas. As camadas de crescimento foram identificadas como: 1) distintas: individualizadas por zona fibrosa tangenciais mais escuras, individualizadas por parênquima marginal e individualizadas por distribuição dos poros em anéis porosos e semiporosos e 2) indistintas. Os raios e os poros foram analisados somente quanto à 1) visibilidade: visíveis a olho nú; visíveis somente sob lente de 10 x; invisíveis mesmo sob lente de 10 x.

3.5. Análise da densidade do lenho

Após a secagem, cada amostra foi submetida à análise pela técnica de densitometria de raio - X. As fatias radiais das amostras foram digitalizadas no equipamento Faxitron MX20-DC12 (Faxitron X-Ray, Illinois, EUA. Nesta técnica é necessário fazer a calibração. Para isso, foi inserido no equipamento de raio X, juntamente com as amostras, uma cunha de calibração de acetato. Em seguida, foi realizada a operação de calibração e de leitura automática (30 Kv, 19 segundos), gerando imagens digitais (resolução 513pp) das amostras, juntamente com a cunha de calibração na tela do monitor. Após a obtenção dos perfis de microdensidade aparente, foram calculadas a densidade média e a variação radial de densidade do lenho. O valor de

densidade aparente foi multiplicado por 0,828 para obter a densidade básica da madeira (VIEILLEDENT et al., 2018).

3.6. Mensuração dos anéis de crescimento

As imagens de Raio X das amostras foram salvas em formato TIFF e analisadas com o software WinDENDRO©. Em cada amostra radiografada foram demarcados os limites dos anéis de crescimento no sentido medula – casca e mensuradas as larguras dos anéis em milímetros. Posteriormente, as larguras radiais foram transformadas em diâmetro, sendo os valores convertidos para centímetros.

3.7. Estimativa da altura, volume e biomassa das árvores de *G. glabra*

Além das árvores inicialmente abatidas, foi mensurado o DAP de outras 40 árvores de *G. glabra*, onde, posteriormente, parte desses dados também foi utilizada para o ajuste da equação de volume. A altura das árvores foi estimada por meio de uma equação logarítmica (Equação 1) com entrada simples, usando o DAP como variável independente. O ajuste do modelo foi avaliado pelos parâmetros estatísticos R^2 (0,74) e Erro padrão (0,1458).

Equação 1:

$$Ht = ((a) + \ln(DAP) * b)$$

Em que:

a e b = parâmetros dados pelo modelo

$$a = 1,517 \quad b = 0,454$$

DAP = diâmetro a altura do peito

Para o ajuste do modelo de volume, foi realizada a cubagem rigorosa de 30 árvores de *G. glabra* dentre as 40 mensuradas anteriormente. A cubagem rigorosa foi realizada pelo

método de Hohenadl em 10 secções. O volume de cada secção foi calculado de acordo com a Equação 2 e somados para obtenção do volume total. Todas as medidas foram feitas com a inclusão da casca. Foram selecionadas árvores sem bifurcações ou fustes muito tortuosos. A distribuição diamétrica das 30 árvores levou em consideração a distribuição da própria floresta secundária que é do tipo J invertido. Para cada árvore selecionada foi mensurado o DAP. Em seguida, todas as árvores foram abatidas e coletadas informações de altura do fuste (H_f) e volume real pela cubagem rigorosa, com auxílio de uma trena. Posteriormente, foi ajustada uma equação volumétrica de Schumacher-Hall (Equação 3) para estimar o estoque de volume do fuste das árvores de *G. glabra* da floresta secundária. A qualidade do ajuste do modelo de volume foi verificada pelos critérios estatísticos Coeficiente de determinação (R^2) que correspondeu a um valor de 0,95 e Erro padrão (0,195).

A partir das equações geradas (volume e altura) foram aplicados os dados de largura dos anéis de crescimento para estimar os incrementos em volume das árvores de *G. glabra*. Após isso, foram calculados os incrementos em biomassa do tronco multiplicando o volume pela densidade básica média obtida a partir da técnica de densitometria de Raio X.

Equação 2:

$$V = \frac{AS_1 + AS_2}{2} * L$$

Em que:

V = Volume

AS₁ = Área seccional 1

AS₂ = Área seccional 2

L = comprimento

Equação 3:

$$V = ((a) + (\ln(DAP) * b) + c * (\ln(H_t)))$$

Em que:

V = volume

a, b e c = parâmetros dados pelo modelo

a = -9,117 b = 2,108 c = 0,519

DAP = diâmetro a altura do peito

H_t = Altura total

3.8. Modelo de incremento diamétrico em função da idade

Para estes modelos utilizamos os dados de diâmetro acumulado em função da idade. Primeiramente, a equação foi ajustada por meio de regressão não linear simples (*NLS*) usando a função *nls* no software R. Para isso, foram feitas tentativas de valores iniciais para os parâmetros até encontrar o parâmetro que garantisse um mínimo global (Tabela 1). Posteriormente, a equação foi aprimorada ao incluir efeitos aleatórios, aplicando modelos não lineares de efeitos mistos (*NLEM*). O modelo *NLEM* com um único nível foi ajustado em duas etapas. Primeiramente, foram avaliados os parâmetros para saber quais seriam considerados efeitos aleatórios, sendo neste caso todo parâmetro com intervalo de confiança a 95% que não se sobrepôs para todas as árvores. Em seguida, foi realizado o ajuste do modelo *NLEM* com os parâmetros aleatórios necessários (PINHEIRO; BATES, 2000; XU et al. 2014). O modelo final foi selecionado com base no Critério de Informação de Akaike (AIC). Foram utilizados *NLEM* pois os dados obtidos são longitudinais (várias combinações de DAP e idade de um mesmo indivíduo), fazendo com que os ajustes possam ser dependentes dos indivíduos. Ao incluir parâmetros aleatórios no modelo buscamos controlar este efeito e eliminar o possível viés. Os modelos foram ajustados separadamente para cada classe de exposição da copa (Equação 4). Foi aplicado as curvas de DAP e idade geradas a partir da aplicação da equação 4 foram utilizadas para calcular os valores de ICA e IMA em área transversal, volume e biomassa por classe de exposição da copa.

Equação 4:

$$DAP = a * \exp(-b/(X + c))$$

Em que:

DAP = Crescimento médio cumulativo em diâmetro

a, *b* e *c* = são os parâmetros das equações

Tabela 1. Parâmetros dos modelos por classe de exposição da copa.

Classe de exposição	<i>a</i>	Erro padrão <i>a</i>	<i>b</i>	Erro padrão <i>b</i>	<i>c</i>	Erro padrão <i>c</i>	AIC
Exposição alta	60,057	5,678	49,938	2,363	10,025	1,569	198,3
Exposição média	31,984	1,941	38,769	0,881	9,348	0,482	237,0
Exposição baixa	23,604	1,132	27,904	0,726	6,1741	0,369	221,7

3.9. Análise de dados

Primeiramente, foi testada a variação de densidade nos perfis densitométricos entre todas as árvores amostradas. Foram calculadas as médias de densidade dos primeiros 5 anéis e dos últimos 5 anéis de cada árvore. Posteriormente, calculamos as diferenças em porcentagem da densidade dos primeiros e dos últimos anéis.

Reconstruímos as curvas de diâmetro acumulado em função da idade para cada um dos indivíduos amostrados através da soma da largura dos anéis mensurados em cada ano de vida da árvore. Posteriormente, calculamos quanto tempo em média as árvores de cada classe de exposição da copa levaram para atingir 10 cm de diâmetro.

Foram analisados os efeitos do nível de exposição da copa sobre a área transversal, incremento médio anual e densidade básica da madeira através de Modelos Lineares Generalizados Mistos (GLMMs), sendo essas variáveis as dependentes e os níveis de exposição da copa as variáveis independentes. Utilizamos os blocos experimentais como variável aleatória, considerando a distribuição Gamma e a função de ligação logarítmica. Essas análises foram feitas com o pacote *glmmTMB* do software R versão 4.3.2 (R Core Team, 2023).

Os valores dos modelos de DAP-idade foram transformados em valores de seção transversal, volume e biomassa a partir dos modelos descritos acima. Assim, conseguimos reconstruir como a área transversal, o volume e a biomassa se acumulam em função da idade. A partir desses valores, calculamos as curvas de Incremento Corrente Anual (ICA) e Incremento Médio Anual (IMA). Com isso, observamos as tendências de estabilização das curvas e as idades em que as árvores de cada classe de exposição da copa alcançaram os valores de ICA máximo.

4. Resultados e discussão

4.1. Propriedades organolépticas, anatomia macroscópica do lenho e variação da microdensidade dos anéis de crescimento em árvores de *G. glabra*

A madeira das árvores de *G. glabra* crescendo em floresta secundária possui cerne distinto e acastanhado, com porções avermelhadas que estão em processo de cernificação. É predominantemente constituída de uma porção amarelada (alburno) com cheiro perceptível, agradável (Figura 6A). Diferentemente do que foi descrito anteriormente por Florshein (2020) e Gurgel et al. (2015), a madeira de *G. glabra* tem um cheiro perceptível, mas não desagradável. Essa ausência de cheiro pode estar relacionada à menor proporção de cerne em relação ao alburno ou a madeira jovem. Na grande maioria das árvores da floresta secundária não se observou cerne, apenas a porção mais clara da madeira (Figura 6B). Essa característica de cor e ausência de cheiro desagradável podem ser um indicativo de potencial de uso dessa espécie para móveis internos e ambientes mais claros, pois a madeira mais clara proporciona um aspecto “clean” à decoração. Essas aplicações se complementam aos usos já consagrados da madeira de árvores exploradas em florestas maduras devido as características positivas da madeira jovem.

Após ser polida, a madeira possui um brilho discreto e sabor amargo. A textura é média com poros visíveis apenas sob lente de aumento de 10 x. Quanto a anatomia do lenho, as árvores possuem parênquima axial apotraqueal com um padrão difuso, visível sob lente de aumento de 10 x (Figura 6C). É possível observar também camadas de crescimento classificadas como distintas, visíveis a olho nú e individualizadas por zonas fibrosas tangenciais mais escuras. Esta característica determina o potencial de árvores jovens de *G. glabra* para estudos dendrocronológicos. No entanto, em anéis localizados mais próximos à medula percebeu-se maior dificuldade de demarcar os limites por formarem anéis de crescimento que marcam de forma parcial e são menos distintos. Esta característica de anéis parcialmente vagos também foi observada por Lotifiomran e Kohl (2017) em um estudo realizado no Suriname com 38 espécies, onde *G. glabra* foi caracterizada pela formação de anéis distintos. Em nosso estudo, os poros são na maioria solitários e desobstruídos. Os raios são finos e espaçados, visíveis sob lente de aumento de 10 x.

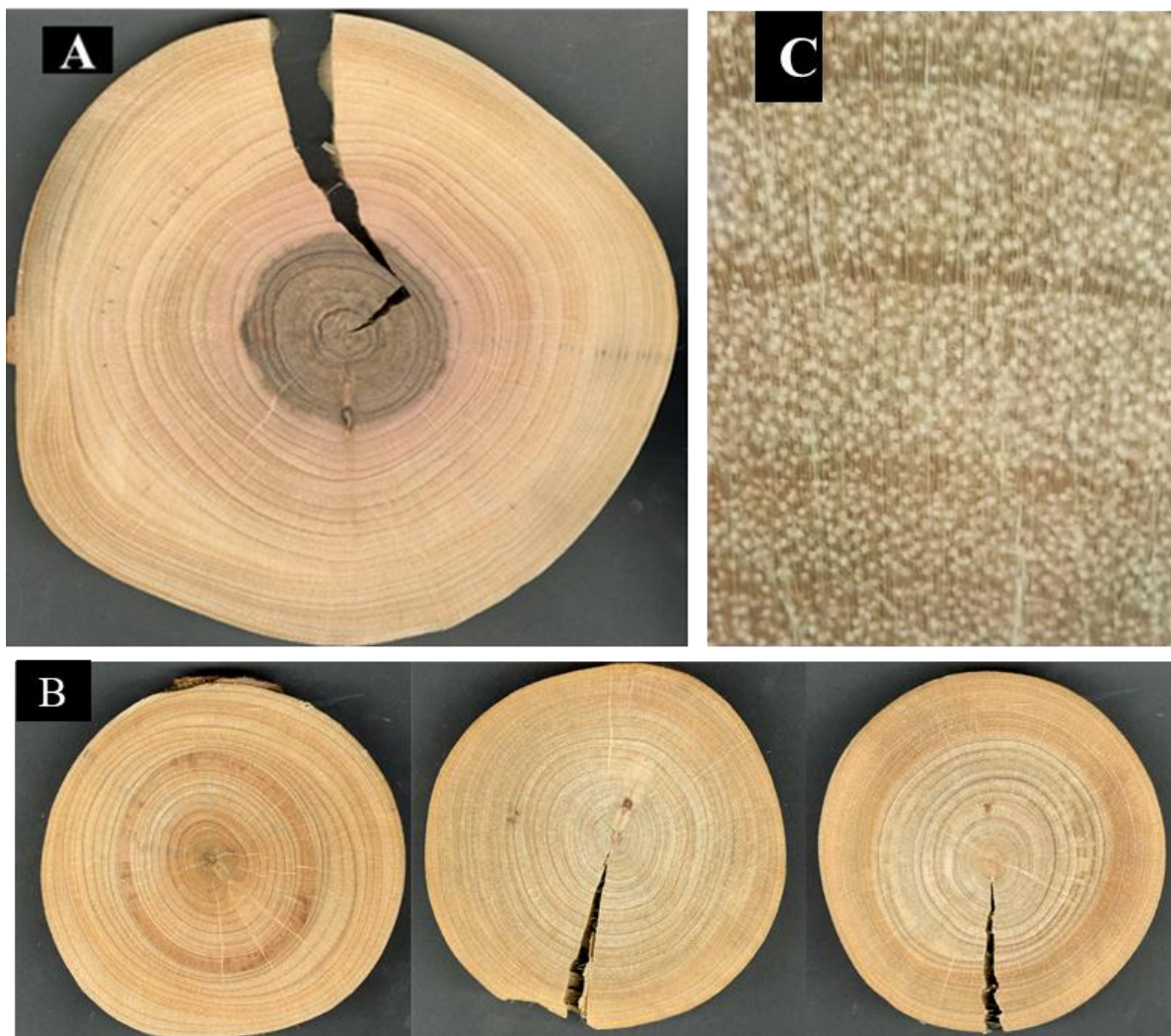


Figura 6. Seção transversal de um disco de *Goupia glabra* destacando a variação da coloração do lenho, bem como os anéis de crescimento (A); sessão transversal de discos sem cerne (B) imagem (aumento de 10 x) destacando as zonas fibrosas ao longo do lenho (C).

O perfil densitométrico do lenho das árvores demonstrou variação na densidade aparente intra - anéis com picos nos limites dos anéis de crescimento (zona fibrosa) de aproximadamente $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ (Figura 7). Esses picos contribuíram para uma delimitação mais precisa dos anéis de crescimento de *G. glabra*. A descrição anatômica juntamente com o perfil de microdensidade constituem metodologias complementares para a demarcação correta dos limites dos anéis e aplicação da dendrocronologia em espécies tropicais (PALERMO; LATORRACA; ABREU, 2012; TOMAZELLO – FILHO, 2009). Devido ao espessamento da parede e diminuição no diâmetro das fibras ocorre uma diferença de densidade entre lenho inicial e tardio, sendo essa diferença captada pela técnica de Densitometria de Raio X (PALERMO; LATORRACA, ABREU, 2012; COSTER 1927-1928, citado por WORBES, 1989).

Além da variação intra - anéis, observou-se também uma variação decrescente dos valores de microdensidade no sentido medula - casca das árvores ($0,93 - 0,8 \text{ g cm}^{-3}$). Ao comparar a média dos primeiros 5 anéis das 34 árvores de *G. glabra* com os últimos 5, observou-se redução de 7 % nos valores de densidade. Devido à baixa variação de densidade, que indica um perfil de lenho mais homogêneo, o qual deve estar associado à baixa idade das árvores, podemos considerar a utilização de toda área transversal para usos alternativos da madeira. No entanto, são necessários mais estudos de ensaios físicos e mecânicos da madeira para definir o uso final da madeira.

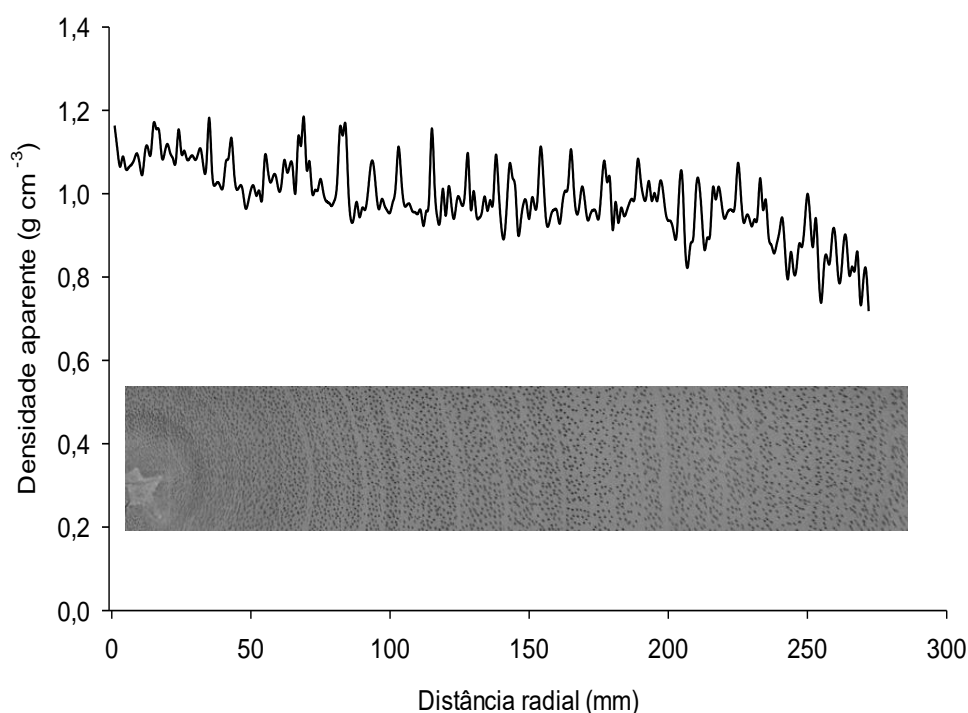


Figura 7. Perfil densitométrico do lenho e imagem de uma amostra radial de *G. glabra* demonstrando a variação de densidade aparente intra - anéis.

4.2 Crescimento e produtividade de árvores de *G. glabra* em uma floresta secundária

As árvores de *G. glabra* tiveram variação no diâmetro à altura do peito (DAP) acumulado de aproximadamente 3 vezes em função do grau de exposição das copas (Figura 8). Os indivíduos com copas na porção superior do dossel (alta exposição) tiveram maiores valores médios de DAP acumulado, 21,80 cm aos 39 anos de idade. Árvores de *G. glabra* com copas em nível intermediário de exposição (média exposição), alcançaram DAP médio de 12,81 cm

após 31 anos, enquanto as árvores da classe de baixa exposição tiveram DAP médio de 10,34 cm aos 28 anos de idade. O crescimento acumulativo de *G. glabra* já foi avaliado em outros sítios, por exemplo, no trabalho de Lotfiomran e Kohl (2017), onde a espécie apresentou crescimento linear constante ao longo de 174 anos. Considerando um valor de referência de DAP = 10 cm, as árvores que estavam com as copas mais expostas (alta exposição) levaram em média 19 anos para alcançar este valor de referência. Em contrapartida, as árvores que estavam em condição intermediária de exposição (média exposição) levaram mais tempo para atingir esse mesmo valor de DAP (24 anos em média); porém, foram mais rápidas quando comparadas às árvores mais sombreadas, que atingiram o mesmo diâmetro somente após 27 anos (Figura 8).

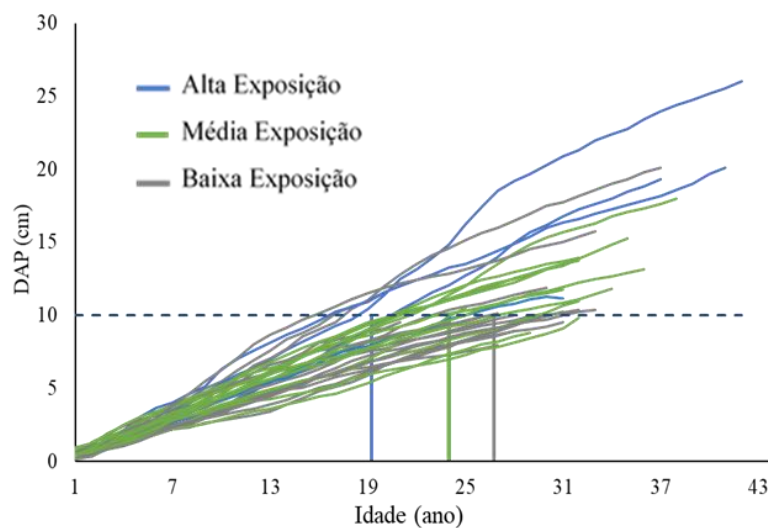


Figura 8. Crescimento acumulado em diâmetro (DAP) de árvores de *G. glabra* em função das classes de exposição da copa (alta, média e baixa) em uma floresta secundária. A linha tracejada indica o DAP = 10 cm das árvores. As linhas verticais representam as idades médias das árvores com DAP = 10 cm nas diferentes classes de exposição das copas. Azul = alta; verde = média; cinza = baixa.

O incremento médio anual (IMA) em DAP das árvores variou entre $0,19 \text{ cm ano}^{-1}$ (baixa exposição) e $0,51 \text{ cm ano}^{-1}$ (alta exposição) (Figura 9A). Quanto a área transversal acumulada, a classe de alta exposição exibiu valores cerca de 4 vezes superiores ($0,0380 \text{ m}^2$) em relação a baixa exposição ($0,0086 \text{ m}^2$) (Figura 9B). No estudo de Lotfiomran e Kohl, (2017), o valor de incremento de $0,29 \text{ cm ano}^{-1}$ ao longo dos 174 anos foi inferior às árvores de alta exposição do

presente estudo e indicou lento crescimento da espécie. Em grande parte, as diferenças observadas no crescimento acumulado em DAP, incremento médio anual em DAP e área transversal das árvores de *G. glabra* estão associadas à variação do grau de exposição das copas das árvores à luz solar. A disponibilidade de luz consiste em um dos principais fatores que influenciam o crescimento de árvores tropicais (LANPRECHT, 1989). Resultados semelhantes para o efeito do grau de exposição das copas foi observado por Mendoza Hernandez et al. (2019), onde árvores que estavam na classe superior do dossel tiveram praticamente o dobro das taxas de crescimento em relação aquelas que se encontravam na classe mais suprimida. Outro fator que também pode ter influenciado a variação observada é o componente genético, uma vez que há árvores de baixa exposição com bom crescimento. De acordo com Monteiro et al. (2016), dentro de uma população de uma mesma espécie existem variações entre as árvores que são influenciadas por alta variabilidade genética e ambiente. Além disso, a variação no crescimento das árvores, que não foi explicada pelo grau de exposição das copas, também pode estar associada às diferenças de qualidade das copas e à intensidade de competição com lianas que não foram avaliados no presente estudo (PEÑA-CLAROS et al., 2008; KING et al., 2005). Compreender os fatores que podem influenciar no crescimento das espécies tropicais é de suma importância, pois fornecem subsídios para delinear estratégias de manejo florestal sustentável (LOTFIOMRAN; KOHL, 2017). Avaliar esse crescimento de forma individual é a chave para o manejo, pois o tempo de passagem entre as classes de diâmetro é o que regula um ciclo e intensidade de corte sustentáveis (MATTOS et al., 2011). Além disso, a análise de séries históricas de crescimento por meio da dendrocronologia permite determinar o máximo incremento da espécie ajudando na definição da idade ótima de exploração, bem como na definição do melhor momento de aplicação de tratamentos silviculturais, pois recuperam informações de competição correlacionado com outras variáveis, tais como, dados climáticos (MATTOS et al., 2011). Os resultados das taxas de crescimento da espécie indicam o potencial para incluí-la em programa de manejo de produção madeireira em floresta secundária.

Diferentemente dos resultados de IMA-DAP e área transversal, os valores de densidade básica da madeira foram semelhantes entre os níveis de exposição das copas, com $0,65 \text{ g cm}^{-3}$ na classe de exposição alta/ média e $0,64 \text{ g cm}^{-3}$ na classe baixa (Figura 9C). A densidade básica da madeira de *G. glabra* proveniente de um sítio de floresta secundária foi menor ao encontrado na literatura ($0,87 \text{ g cm}^{-3}$), sendo classificado como densidade média o que compromete o uso da madeira pra áreas onde as aplicações já são amplamente consagradas, como fabricações de pontes, caibros (GURGELET AL., 2015). Essa diminuição de praticamente 28% na densidade

básica pode estar relacionada ao fato de que as análises foram feitas em maior parte no alburno devido à ausência de cerne.

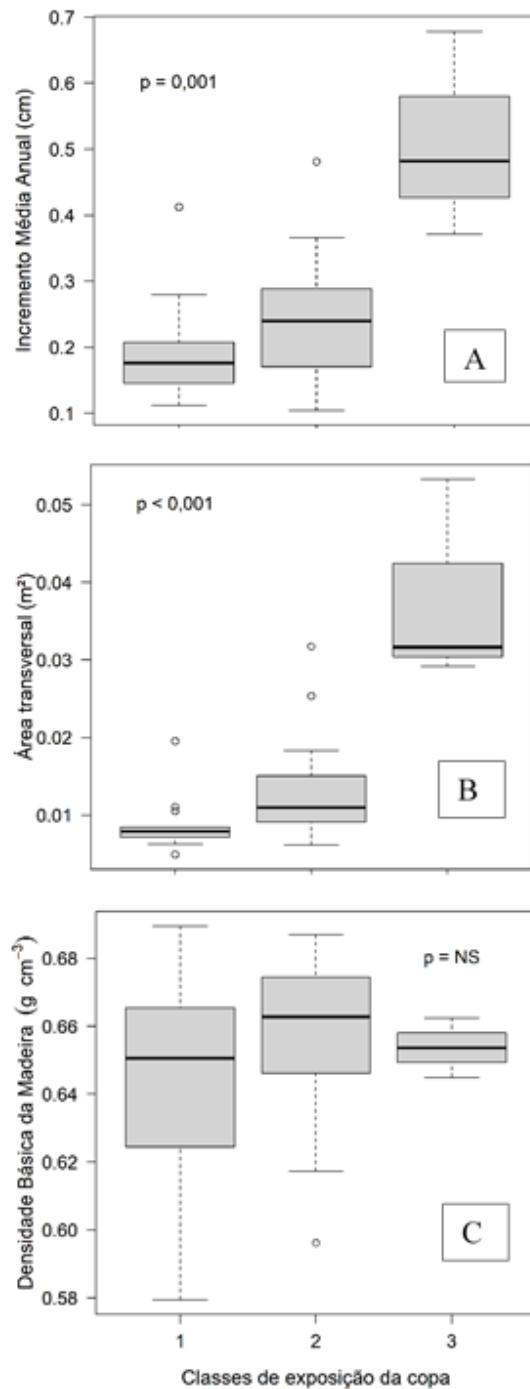


Figura 9. Incremento médio anual (IMA) em DAP (A), área transversal (B) e densidade básica (C) do tronco das árvores de *G. glabra* por classe de exposição da copa, em que (1) corresponde à baixa exposição; (2) média exposição; e alta exposição (3). As linhas são as médias e os círculos os outliers. Os valores de significância dos modelos estão indicados pela letra p, valores de $p < 0,05$ indicam que há diferença estatisticamente significativa; NS = não significativo.

O padrão de crescimento (incremento) em área transversal das árvores ao longo dos anos mostrou-se diferente em função dos níveis de exposição das copas (Figura 10). Árvores com alta exposição tiveram IMA de $0,0008 \text{ m}^2 \text{ ano}^{-1}$, com ICA máximo de $0,0015 \text{ m}^2$ aos 40 anos de idade (Figura 10A). Nas classes intermediária, o valor de IMA correspondeu a metade da classe anterior, $0,0004 \text{ m}^2 \text{ ano}^{-1}$, com ICA máximo da classe de média exposição, $0,0006 \text{ m}^2$ aos 30 anos de idade (Figura 10B). O menor ICA máximo foi observado na classe de baixa exposição com $0,0004 \text{ m}^2$ aos 22 anos de idade com IMA de $0,0003 \text{ m}^2 \text{ ano}^{-1}$ (Figura 10C). A diferença entre o IMA da classe alta para baixa foi de 62,5%.

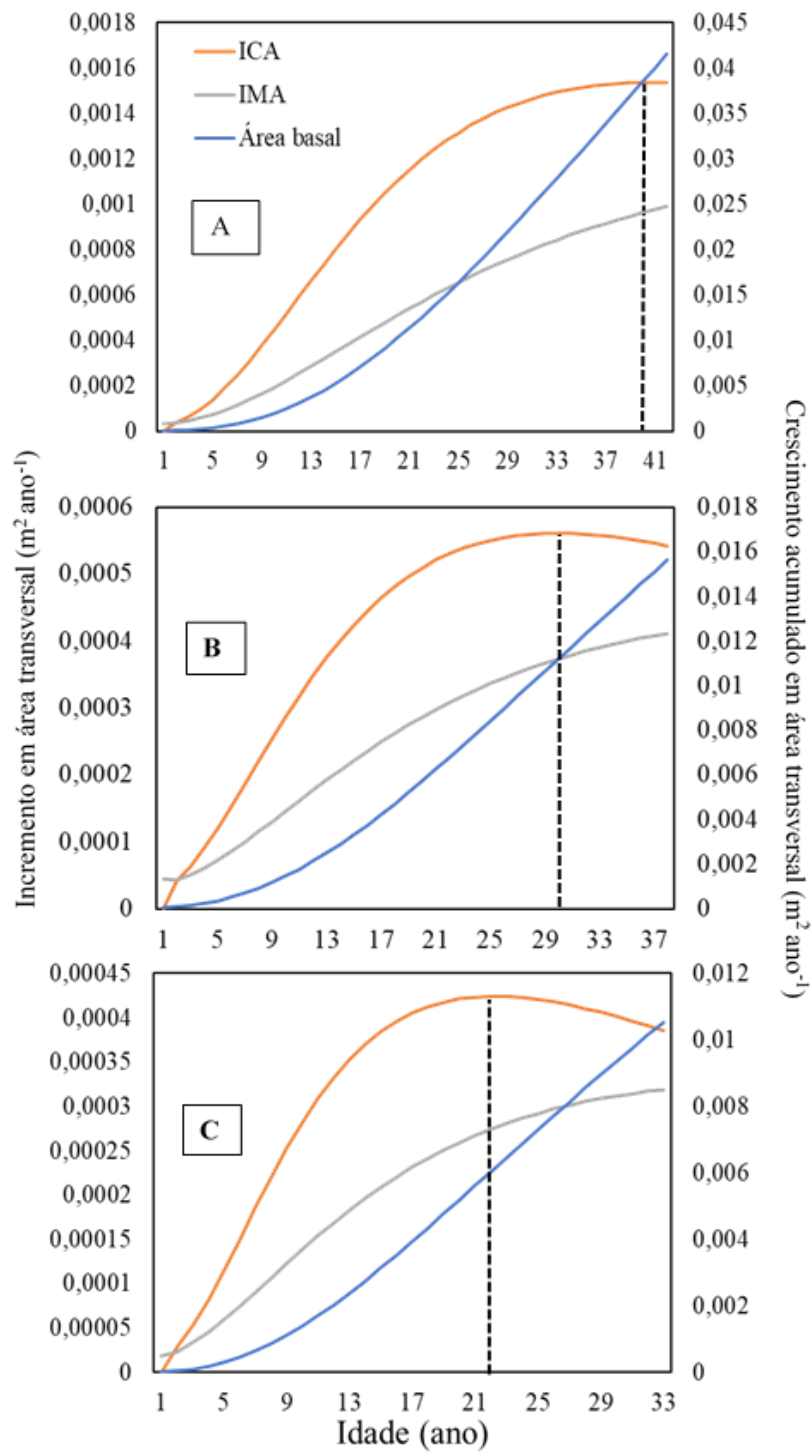


Figura 10. Curvas de incremento médio anual (IMA), incremento corrente anual (ICA) e acumulado de área transversal de árvores de *G. glabra* em função da classe de exposição das copas, em que (A) corresponde á alta exposição; (B) média exposição; e (C) baixa exposição. As linhas tracejadas verticais indicam as idades com valores máximos de ICA.

A produtividade em volume e biomassa acima do solo das árvores foi fortemente influenciada pelas classes de exposição das copas (Figura 11). Árvores com maior exposição

das copas à luz solar (alta exposição) tiveram IMA-volume de $0,0064 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ (Figura 11A). Em relação a biomassa, nesta mesma classe, o valor médio foi de $5,028 \text{ kg ano}^{-1}$ (Figura 11D). Para as árvores pertencentes a classe de exposição média, comparando com a classe de alta exposição, o volume e biomassa reduziram em 51% ($0,0027 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ - $2,124 \text{ kg ano}^{-1}$) (Figura 11B e 11E). Os menores valores de incremento em volume e biomassa foram observados para árvores na classe de baixa exposição com $0,0022 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ e $1,720 \text{ kg}$, respectivamente (Figura 11C e 11F).

Para ambas as variáveis, volume e biomassa, não se observou estabilização dos valores de IMA nas diferentes classes de exposição (Figura 11). Entretanto, o ICA alcançou valores máximos em diferentes idades dependendo da classe de exposição das copas. Na classe de alta exposição, o ICA máximo em volume e biomassa foi alcançado aos 42 anos de idade ($0,0161 \text{ m}^3$ e $12,774 \text{ kg}$). Já para a classe de média exposição, o maior ICA foi quase 3 vezes menor comparando à classe mencionada anteriormente, com valores de $0,0048 \text{ m}^3$ em volume e $3,829 \text{ kg}$ de biomassa aos 37 anos. Por fim, na classe de baixa exposição, o ICA máximo obtido aos 27 anos foi de $0,003 \text{ m}^3$ (volume) e $2,605 \text{ kg}$ (biomassa) representando uma diminuição de 80% do volume e biomassa comparados aos valores observados sob alta exposição (Figura 11). As árvores de *G. glabra*, mesmo na classe de alta exposição, não mostraram estabilização das curvas de incremento, ou seja, não alcançaram valores máximos de incremento médio anual. Isso indica que as árvores ainda apresentam um importante potencial de crescimento a considerar também o grupo ecológico da espécie, pioneira de vida longa (FINEGAN, 1992), que indica um longo período de permanência dos indivíduos na floresta. Em contrapartida, árvores de exposição baixa a partir dos 27 anos começaram a reduzir o ICA, indicando que a aplicação dos tratamentos silviculturais deverá ser feito primeiro nas árvores suprimidas, visto que, dependendo da disponibilidade de luz as árvores podem impulsionar seu investimento no crescimento em diâmetro, do contrário, na ausência de luz árvores jovens tendem a investir mais em crescimento relativo em altura do que em diâmetro (BEAUDET et al., 2007; JAOUEN et al. 2010; ROZENDAAL et al., 2015). Neste contexto, a aplicação de tratamentos silviculturais de desbaste, a exemplo da liberação, pode reduzir a competição e melhorar o crescimento das árvores (LAMPRECHT, 1990). Em um estudo realizado por Hu et al. (2020), os efeitos positivos dos tratamentos silviculturais de desbaste sobre o crescimento de *Flindersia bourjotiana*, uma espécie tropical, foram determinados pelo tamanho das árvores, pelo tamanho e posição das copas no dossel. Esses resultados reforçam a importância de identificar aspectos fenotípicos das árvores, bem como suas condições de crescimento, para a melhor efetividade

das intervenções silviculturais. Portanto, a partir dos resultados alcançados no presente estudo, espera-se que esforços contínuos de monitoramento do crescimento das árvores em médio e longo prazo, além da avaliação de outras características (por exemplo, a qualidade das copas e o grau de infestação por lianas), além da ampliação deste diagnóstico para outras espécies de interesse comercial, possam ser decisivos para futuras ações de manejo neste povoamento.

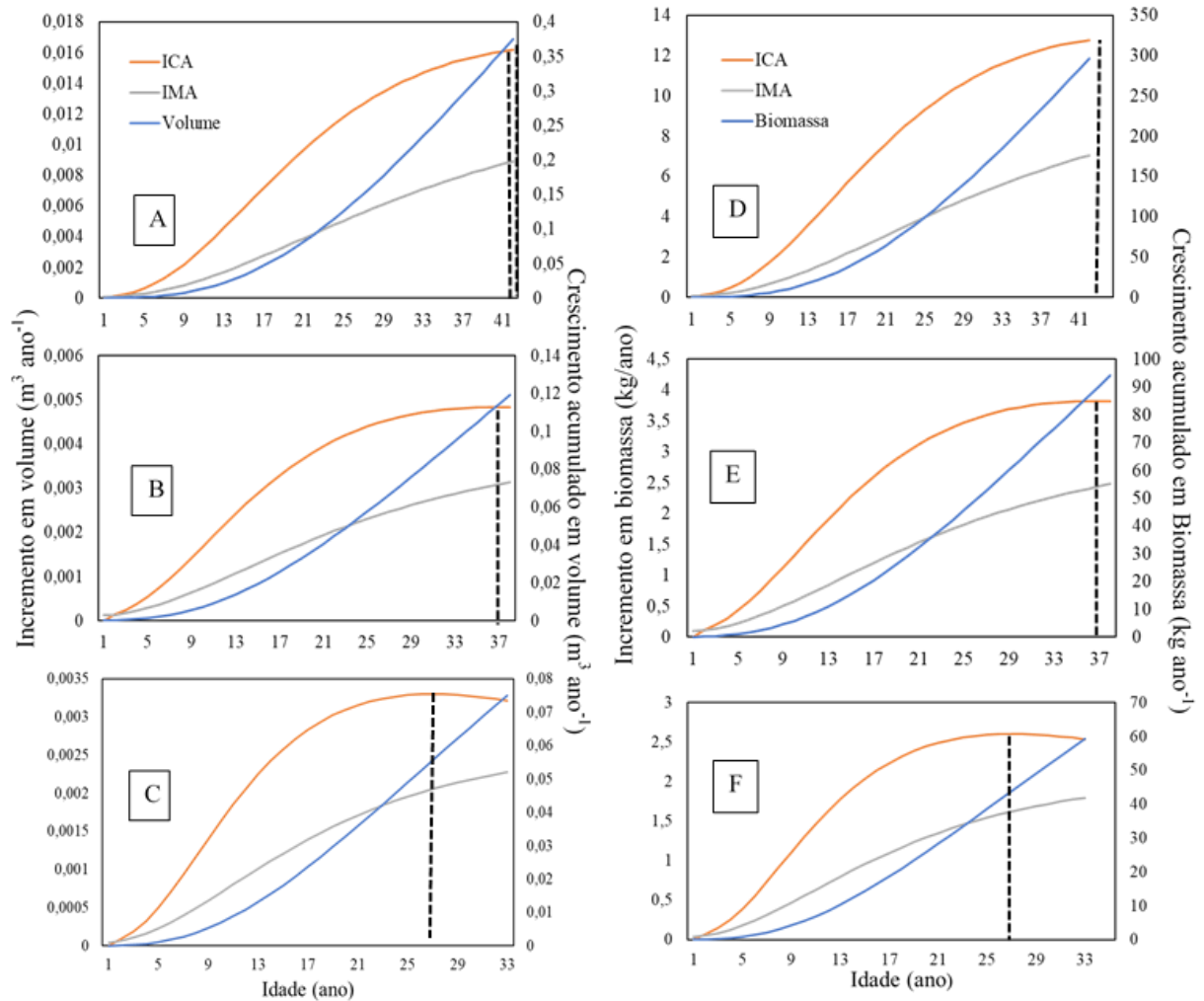


Figura 11. Curvas de incremento médio anual (IMA), incremento corrente anual (ICA) e acumulado de volume e biomassa de árvores de *G. glabra* em função da classe de exposição das copas, em que (A e D) corresponde à alta exposição; (B e E) média exposição; e (C e F) baixa exposição. As linhas tracejadas verticais indicam as idades com valores máximos de ICA.

5. Conclusão

Árvores de *G. glabra* crescendo em um sítio de floresta secundária possuem propriedades do lenho que destoam do padrão observado em árvores de maior idade das florestas maduras.

A presença de anéis de crescimento distintos indica o grande potencial dessas árvores em estudos de dendrocronologia aplicados ao manejo e à sucessão florestal.

A população de árvores de *G. glabra* possui forte variação intraespecífica de crescimento, o qual é também influenciado pelo grau de estratificação das copas no dossel da floresta.

As taxas de crescimento e produtividade sugerem um estágio de incremento ainda acentuado, onde esforços de monitoramento adicionais poderão determinar as idades ótimas para a aplicação de tratamentos silviculturais e futuras intervenções de exploração.

6. Referências

- AGUIAR, A. P. D.; VIEIRA, I. C. G.; ASSIS, T. O.; DALLA-DORA, E.L.; TOLEDO, P. M.; JUNIOR, R. A. O. S.; BATISTELLA, M.; COELHO, A. S.; SAVAGET, E. K.; ARAGÃO, L. E. O. C.; OMETTO, J. P. H. Land use change emission scenarios: anticipating a forest transition process in the Brazilian Amazon. **Global Change Biology**, v. 22, n. 5, p. 1821-1840. 2016.
- AZEVEDO, C. P.; CARLOS, R. S.; SILVA, J. N. M.; MACHADO, S. A.; SOLZA, C. R.; OLIVEIRA, M. M. Simulação de estratégias de manejo florestal na Amazônia com o uso do modelo SYMFOR. **Acta Amazonica**, v. 38, p. 51-70, 2008.
- BEAUDET, M. BRISSON, J.; GRAVEL, D. MESSIER, C.. Effect of a major canopy disturbance on the coexistence of *Acer saccharum* and *Fagus grandifolia* in the understorey of an old-growth forest. **Journal of ecology**, p. 458-467, 2007.
- BIENG, M. A. N.; OLIVEIRA, M. S.; RODA, J. M.; BOISSIÈRE, M.; HÉRALT, B.; GUIZOL, P.; VILALOBOS, R.; SIST, P. Relevance of secondary tropical forest for landscape restoration. **Forest Ecology and Management**, v. 493, p. 119-265, 2021.
- BIRAL, L. **Goupiaceae in Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim botânico do Rio de Janeiro. 2019. Disponível em: <<http://Floradobrasil.jbrj.gov.br>>. Acessado em: 22 de dezembro de 2022.
- BRASIL. Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006 Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável. Disponível em: < <https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb>. Acesso em: 02 de julho de 2022.
- BOOT, R. G.A.; GULLISON, R. E. Approaches to developing sustainable extraction systems for tropical forest products. **Ecological Applications**, v. 5, n. 4, p. 896-903, 1995.
- BRANCALION, P. H. S.; VIANILL, R. A. G.; RODRIGUES, R. R.; CÉSAR, R. G.; Estratégias para auxiliar na conservação de florestas tropicais secundárias inseridas em paisagens alteradas. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 7, n. 3, p. 219-234, 2012.
- BRIENEN, R. J. W.; ZUIDEMA, P. A. Lifetime growth patterns and ages of Bolivian rain forest trees obtained by tree ring analysis. **Journal of Ecology**. 94, 481 – 493. 2006.
- CHAUVEL, A. Os latossolos amarelos, álicos, argilosos dentro dos ecossistemas das bacias experimentais do INPA e da região vizinha. **Acta Amazonica**, v. 12, p. 47-60, 1982.
- CHAZDON, Robin. Regeneração de florestas tropicais. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 7, n. 3, p. 195-218, 2012.
- CHAZDON, Robin L. Second growth. In: **Second Growth**. University of Chicago Press, 2014.
- CHOKKALINGAM, U.; JONG, W. Secondary forest: a working definition and typology. **The International Forestry Review**, p. 19-26, 2001.

CONDIT, Richard. Research in large, long-term tropical forest plots. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 10, n. 1, p. 18-22, 1995.

CORADIN, V. T. R.; MUÑIZ, G. I. B. Normas de procedimentos em estudos de anatomia de madeira: I Angiospermae, II Gimnospermae. Brasília: Ibama, 1992.

CORDEIRO, I. M. C. C; VASCONCELOS, L. G. T. R.; SCHAWARTZ, G.; OLIVEIRA, F. A. NORDESTE PARAENSE: Panorama geral uso sustentável das florestas secundárias. Belém: **Edufra**. 323 p., 2017.

COSTER, C. Zur Anatomie und Physiologie der Zuwachszonen und Jahresringbildung in den Tropen II. **Annales Jardim Botanica Buitenzorg**, v. 37, p. 49–160, 1927.

CURTIS, P.G.; SLAY, C. M.; HARRIS, N. L.; TYUKAVINA, A.; HANSEN, M.C. Classifying drivers of global forest loss. **Science** **361**, 1108-1111, 2018.

DAWKINS, H. C.; FIELD, D. R. B. A long-term surveillance system for British woodland vegetation. 1978.

FERREIRA, L. M. M.; TONINI, H. Rendimento em madeira serrada de cupiúba (*Goupia glabra*), caferana (*Erisma uncinatum*) e Angelim-pedra (*Dinizia excelsa*). **Embrapa Roraima-Documentos (INFOTECA-E)**, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Global Forest Resources assessment. **FAO Forestry Paper** 163, 378. Rome: Food And Agriculture organization of the United Nations, 2010.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global forest resources assessment 2020: Main report**. Food & Agriculture Organization of the UN, 2020.

FERREIRA, L. M. M.; TONINI, H. Cupiúba (*Goupia glabra* Aublet): Crescimento, Potencialidades e Usos. **Embrapa Roraima-Documentos (INFOTECA-E)**, 2004.

FINEGAN, Bryan. The management potential of neotropical secondary lowland rain forest. **Forest Ecology and Management**, v. 47, n. 1-4, p. 295-321, 1992.

FLORSHEIM, Sandra M. Borges. Identificação macroscópica de madeiras comerciais do estado de São Paulo. São Paulo, 2020.

GUIMARÃES, J.; AMARAL, P.; PINTO, A.; SALOMÃO, R. Oportunidades para a Restauração Florestal em Larga Escala no Bioma Amazônia Priorizando a Vegetação Secundária. **AMAZONIA** **203**. Mar. 2022.

GURGEL, Ely Simone et al. Conhecendo Espécie de Plantas da Amazônia: Cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.– Goupiaceae). Belém: Embrapa Amazônia Oriental, p. 7, 2015.

HENRIQUES, Fernando Santos. O futuro incerto das florestas tropicais. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 265-271, 2010.

HIRAI, E. H.; CARVALHO, J. O. P.; PINHEIRO, K. A. O. Comportamento populacional de cupiúba (*Goupia glabra* Aubl.) em florestas de terra firme na fazenda Rio capim, Paragominas (PA). **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, n. 47, p. 89-101, jan/jun. 2007.

HU, J.; HERBOHNA, J.; CHAZDON, R. L.; BAYNESB, J.; VANCLAY, J. K. Long-term growth responses of three *Flindersia* species to different thinning intensities after selective logging of a tropical rainforest. **Forest Ecology and Management**, v. 476, p. 118442, 2020.

HUTCHINSON, I. D.; WADSWORTH, F. H. Efectos de la liberación en un bosque secundario de Costa Rica. **Recursos Naturales y Ambiente Números 46-47 (Diciembre 2005-abril, 2006)**, 2006.

JAKOVAC, C. C., BONGERS, F., KUYPER, T. W., MESQUITA, R. C.; PEÑA-CLAROS, M. Land use as a filter for species composition in Amazonian secondary forests. **Journal of vegetation science**, v. 27, n. 6, p. 1104-1116, 2016.

JAOUEN, G., FOURNIER, M. & ALMERAS, T. 2010. Thigmomorphogenesis versus light in biomechanical growth strategies of saplings of two tropical rain forest tree species. **Annals of Forest Science** 67:211

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2019. BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. 2022. Disponível em:<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. Disponível em:<<http://www.inpe.br/faq/index.php?>>. Acesso em: 10 de julho de 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. 2021. Projeto Terraclass 2021 -Monitoramento Do Uso e Cobertura Da Terra Nas Áreas Desflorestadas Da Amazônia. Disponível em: <https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/nota-tecnica-2013-estimativa-da-area-de-vegetacao-secundaria-na-amazonia-legal-2020>. Acesso em: 17 de julho de 2022.

KAMMESHEIDT, Ludwig. Perspectives on secondary forest management in tropical humid lowland America. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 31, n. 3, p. 243-250, 2002.

KAENNEL, Michèle; SCHWEINGRUBER, F. H. Multilingual glossary of dendrochronology. **WSL FNP, Haupt**, v. 133, p. 162-184, 1995.

KENNARD, Deborah. Secondary forest succession in a tropical dry forest: patterns of development across a 50-year chronosequence in lowland Bolivia. **Journal of tropical ecology**, v. 18, n. 1, p. 53-66, 2002.

KING, D. A.; DAVIES, J. S.; NUR- SUPSRD, M. N.; TAN, S. Tree growth is related to light interception and wood density in two mixed dipterocarp forests of Malaysia. **Functional ecology**, v. 19, n. 3, p. 445-453, 2005.

KÖHL, M.; NEUPANE, P. R.; LOTFIOMRAN, N. The impact of tree age on biomass growth and carbon accumulation capacity: A retrospective analysis using tree ring data of three tropical tree species grown in natural forests of Suriname. **Plos one**, v. 12, n. 8, p. e0181187, 2017.

LAMPRECHT, Hans. Silviculture in the Tropics: tropical forest ecosystems and their tree species-possibilities and methods for their long-term utilization. **Eschborn, Rep. of Germany: GTZ**, 1989., 1989

LAMPRECHT, Hans. Silvicultura en los trópicos: los ecosistemas forestales en los bosques tropicales y sus especies arbóreas, posibilidades y métodos para un aprovechamiento sostenido. **GTZ**, 1990.

LAURANCE, W. F.; CAMARGO, J. L. C.; LUIZÃO, R. C.C; LAURENCE, S. G.; PIMM, S. L.; BRUNA, E. M.; STOUFFER, F. C.; WILLIAMSON, G. B.; MALVIDO, J. B.; VASCONCELOS, H. L.; HOUTAN, K. S. V.; ZARTMAN, C. E.; BOYLE, S. A.; DIDHAM, R. K.; ANDRADE, A.; LOVEJOY, T. E. The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. **Biological conservation**, v. 144, n. 1, p. 56-67, 2011.

LORENZI, Harri. **ÁROVRES BRASILEIRAS**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2 ed. São Paulo: **Plantarum**, p. 384, 1998.

LOTFIOMRAN, N.; KÖHL, M. Retrospective analysis of growth a contribution to sustainable forest management in the tropics. **IAWA Journal**, v. 38, n. 3, p. 297-S21, 2017.

MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; HESS, A. F.; SALIS, S. M. **A dendrocronologia e o manejo florestal sustentável em florestas tropicais**. Colombo -PR, 35 p., 2011.

MENDOZA – HERNANDES, M.; GEREZ, F.; P. PURATA, V. S.; TODELO, A. Growth rates of valuable tree species in secondary tropical montane cloud forests in Mexico: influence of tree size, crown position and competition. **Madera y bosques**, v. 25, n. 3, 2019.

MONTEIRO, R. A.; FIOREZE, S. L.; NOVAES, M. A. G. Variabilidade genética de matrizes de *Erythrina speciosa* a partir de caracteres morfológicos. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 48-55, 2016.

PALERMO, G. P. M.; LATORRACA, J. V. F.; ABREU, H. S. Métodos e técnicas de diagnose de identificação dos anéis de crescimento de árvores tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 9, n. único, p. 165-175, 2012.

PAN, Y. R. A.; BIRDSEY, J.; FANG, R.; HOUGHTON, P. E.; KAUPPI, W. A.; KURZ, O. L.; PHILLIPS, A.; SHVIDENCO, S.; LEWIS, J.G.; CANADELL, P.; CIAIS, R. B.; JACKSON, S. W.; PACALA, A D.; MCGUIRE, S.; PIAO, A.; RAUTIAINEN, S.; SITCH, D.; HAYES, A. A large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, v. 333, n. 6045, p. 988-993, 2011.

PEÑA-CLAROS, M.; FREDERICKSEN, T. S.; ALARCON, A.; BLATE, G. M.; U. CHOQUE U.; LEANˆO, C.; LICONA, J. C.; MOSTACEDO, B.; PARIONA, W.; VILLEGAS, Z.; PUTZ, F. E. Beyond reduced-impact logging: silvicultural treatments to increase growth rates of tropical trees. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 7, p. 1458-1467, 2008.

PEREIRA, C. A.; VIEIRA, I.C.G. A importância das florestas secundárias e os impactos de sua substituição por plantio mecanizado de grãos na Amazônia. **Interciência**, v. 26. n. 8, p.337-341, agosto de 2001.

PINHEIRO, J. C.; BATES, D. M. **Mixed Effects Models in S and S-Plus**. Springer, 2000.

PIPONIOT, C.; RODRIGUES, E.; PUTZ, F. E.; RUTISHAUSER, E.; SIST, P.; ASCARRUNZ, N.; BLANC, L.; DERROIRE, G.; DESCROIX, L.; GUEDES, M. C.; CORONADO, E. H.; HUTH, A.; KANASHIRO, M.; LICONA, J. C.; MAZZEI, L.; OLIVEIRA, M. V. N.; PEÑA-CLAROS, M.; RODNEY, K.; SHENKIN, A.; SOUZA, C. R.; VIDAL, E.; WEST, T. A. P.; WORTE, V.; HÉRAULT, B. Can timber provision from Amazonian production forests be sustainable?. **Environmental Research Letters**, v. 14, n. 6, p. 064-014, 2019.

ROZENDAAL, D. M. A., BONGERS, F., AIDE, T. M., ALVAREZ-DÁVILA, E., ASCARRUNZ, N., BALVANERA, P., BECKNELL, J. M., BENTOS, T.V., BRANCALION, P. H. S., CABRAL, G. A. L., CALVO-RODRIGUEZ, S., CHAVE, J., CÉSAR, R. G., CHAZDON, R. L., CONDIT, R., DALLINGA, J. S., DE ALMEIDA CORTEZ, J.S., DE JONG, B., DE OLIVEIRA, A., DENSLOW, J. S., DENT, D. H., DEWALT, S. J., DUPUY, J. M., DÚRAN, S. M., DUTRIEUX, L. P., ESPÍRITO-SANTO, M. M., FANDINO, M. C., FERNANDES, G.W., FINEGAN, B., GARCÍA, H., GONZALEZ, N., MOSER, V.G., HALL, J. S., HERNANDEZ-STEFANONI, J. L., HUBBELL, S., JAKOVAC, C. C., HERNÁNDEZ, A. J., JUNQUEIRA, A. B., KENNARD, D., LARPIN, D., LETCHER, S. G., LICONA, J.-C., LEBRIJA-TREJOS, E., MARÍN SPIOTTA, E., MARTÍNEZ-RAMOS, M., MASSOCA, P. E. S., MEAVE, J. A., MESQUITA, R. C. G., MORA, F., MÜLLER, S. C., MUÑOZ, R., DE OLIVEIRA NETO, S. N., NORDEN, N., NUNES, Y. R. F., OCHOA-GAONA, S., ORTIZ-MALAVASSI, E., OSTERTAG, R., PEÑA-CLAROS, M., PÉREZ-GARCÍA, E. A., PIOTTO, D., POWERS, J.S., AGUILAR-CANO, J., RODRIGUEZ-BURITICA, S., RODRÍGUEZ VELÁZQUEZ, J., ROMERO-ROMERO, M. A., RUÍZ, J., SANCHEZ-AZOFEIFA, A., DE ALMEIDA, A. S., SILVER, W. L., SCHWARTZ, N. B., THOMAS, W. W., TOLEDO, M., URIARTE, M., DE SÁ SAMPAIO, E. V., VAN BREUGEL, M., VAN DER WAL, H., MARTINS, S. V., VELOSO, M. D. M., VESTER, H. F. M., VICENTINI, A., VIEIRA, I. C. G., VILLA, P., WILLIAMSON, G. B., ZANINI, K. J., ZIMMERMAN, J., POORTER, L. Biodiversity recovery of Neotropical secondary forests. **Science Advances**, 5, eaau3114, 2019.

ROZENDAAL, D. M. A.; DURING, H. J.; STERCK, F. J.; ASSCHERMAN, D.; WIEGEDAAD, J.; ZUIDEMA, P. A. Long-term growth patterns of juvenile trees from a Bolivian tropical moist forest: shifting investments in diameter growth and height growth. **Journal of Tropical Ecology**, v. 31, n. 6, p. 519-529, 2015.

SAMPAIO, S. M. N.; VENTURIERI, A.; CAMPOS, A. G. S.; ELLERES, F. A. P. **Dinâmica da cobertura vegetal e do uso da terra na mesorregião nordeste paraense**, 2017.

SCHÖNGART, J.; WITTMANN, F.; WORBES, M.; PIEDADE, M. T. F.; KRAMBECK, H. J.; JUNK, W. J. Management criteria for *Ficus insipida* Willd. (Moraceae) in Amazonian white-water floodplain forests defined by tree-ring analysis. **Annals of Forest Science**, v. 64, n. 6, p. 657-664, 2007.

SCHWARTZ, G.; FERREIRA, M. S.; LOPES, J. C. Silvicultural intensification and agroforestry systems in secondary tropical forests: a review. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, PA, v. 58, n. 3, p. 319-326, jul./set. 2015.

SCHWEINGRUBER, Fritz Hans. **Tree rings: basics and applications of dendrochronology**. Springer Science & Business Media, 2012.

SILVA JUNIOR, C. H. L.; HEINRICH, V. H. A.; FREIRE, A. T. G.; BROGGIO, I. S.; ROSAN, T. M.; DOBLAS, J.; ANDERSON, L. O.; ROUSSEAU, G. X.; SHIMABUKURO, Y. E.; SILVA, C. A. HOUSE, J. I.; ARAGÃO, L. E. O. C. Benchmark maps of 33 years of secondary forest age for Brazil. **Scientific Data**, 7(269), p.1-9, 2020.

SIST, P.; PIPONIOT, C.; KANASHIRO, M.; PENA-CLAROS, M.; PUTZ, F. E.; SCHULZE, M.; VIDAL, E. Sustainability of Brazilian forest concessions. **Forest Ecology and Management**, 496, p. 119-440, 2021.

TOMAZELLO - FILHO, M.; ROIG, F. A.; ZEVALLOS – POLITO, P. A. Dendrocronología y dendroecología tropical: Marco histórico y experiencias exitosas en los países de América Latina. **Ecología en Bolivia**, v. 44, n. 2, p. 73-82, 2009.

TOMAZELLO, M.; BRAZOLIN, S.; CHAGAS, M. P.; OLIVEIRA, J. T.; BALLARIN, A. W.; BENJAMIN, C. A. Application of X-ray technique in nondestructive evaluation of eucalypt wood. *Maderas*. **Ciencia y tecnología**, 10(2), p. 139-149, 2008.

VIEILLEDENT, G.; FISCHER, F. J.; CHAVE, J.; GUIBAL, D.; LANGBOUR, P.; GÉRARD, J. New formula and conversion factor to compute basic wood density of tree species using a global wood technology database. **American Journal of Botany**, p.1653-1661, 2018.

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

WORBES, Martin. How to measure growth dynamics in tropical trees a review. **IAWA journal**, v. 16, n. 4, p. 337-351, 1995.

WORBES, M. e JUNK, W. J. Dating tropical Trees by Means of ^{14}C from Bomb Tests. **Ecology**, Vol.70 (2):503-507, 1989.

XU, H. SUM, Y.; WANG. X.; FU, Y.; DONG, Y.; LI, Y. Nonlinear mixed-effects (NLME) diameter growth models for individual China-fir (*Cunninghamia lanceolata*) trees in southeast China. **PLoS ONE**, v. 9, n. 8, p. 1–10, 2014.

ZHU, J.; LU, D.; ZHANG, W. Effects of gaps on regeneration of woody plants: a meta-analysis. **Journal of Forestry Research**, v. 25, n. 3, p. 501-510, 2014.

7. Apêndice

1. Ilustrações das coletas e análises



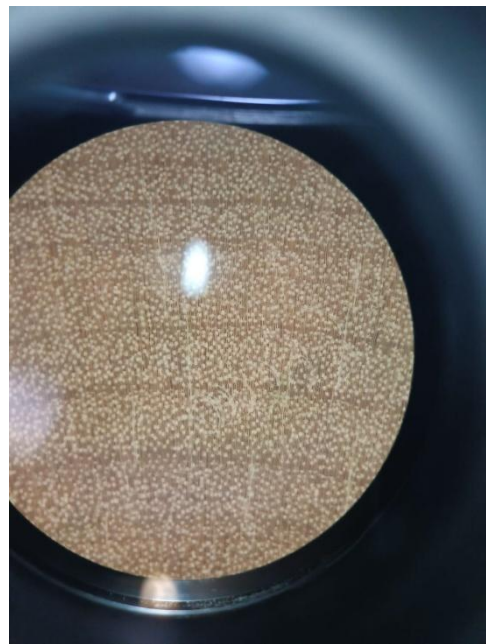
1. Coleta dos discos de *G. glabra* na altura do DAP.



2. Polimento dos discos de *G. glabra* para melhor visualização dos anéis de crescimento.



3. Coleta de informações das árvores: altura e cubagem.



4. Lenho de *G. glabra* sob a lente de aumento 10 vezes para descrição macroscópica.



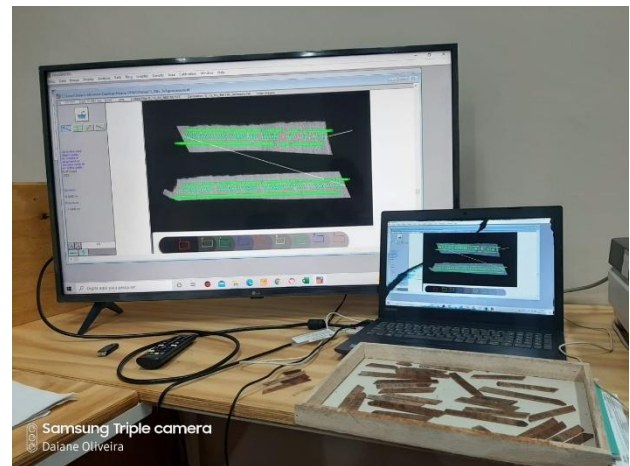
5. Recorte dos raios transversais em equipamento de dupla serra circular para retirar finas fatias radiais com medidas ideais para o Raio x.



6. Aclimação das amostras radiais a 20°C, 60% de umidade relativa por 24h.



7. Amostras (fatias radiais) na etapa de Raio X.



8. Mensuração dos anéis de crescimento no Software WinDENDRO©.