



**INCREMENTO EM VOLUME E PROGNOSE DA ESTRUTURA
DIAMÉTRICA DE população de *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.)
Monach (MAÇARANDUBA) NA AMAZÔNIA ORIENTAL**

KENIA RIBEIRO BRITO SANTOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**INCREMENTO EM VOLUME E PROGNOSE DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA
DE *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach (MAÇARANDUBA) NA
AMAZÔNIA ORIENTAL**

KENIA RIBEIRO BRITO SANTOS

ORIENTADORA: Dra. ALBA VALÉRIA REZENDE
COORIENTADOR: Dr. LUCAS JOSÉ MAZZEI DE FREITAS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

Brasília - DF, 29 de agosto de 2022

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**INCREMENTO EM VOLUME E PROGNÓSE DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA
DE *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach (MAÇARANDUBA) NA
AMAZÔNIA ORIENTAL**

KENIA RIBEIRO BRITO SANTOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS FLORESTAIS.

APROVADA POR:

Prof^a. Dr^a. ALBA VALÉRIA REZENDE
Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB
Orientadora

Prof. Dr. LUCAS JOSÉ MAZZEI DE FREITAS
Departamento de Engenharia Florestal – Embrapa Amazônia Oriental
Coorientador

Prof. Dr. RENATO VINÍCIUS OLIVEIRA CASTRO
Departamento de Engenharia Florestal – UFSJ
Examinador Interno à UnB

Dr. EVALDO MUÑOZ BRAZ
Embrapa Florestas
Examinador Externo à UnB

Prof. Dr. RODRIGO GERONI MENDES NASCIMENTO
Instituto de Ciências Agrárias – UFRA
Examinador Externo à UnB (Suplente)

Brasília - DF, 29 de agosto de 2022

FICHA CATALOGRÁFICA

RR484i Ribeiro Brito Santos, Kenia
Incremento em volume e prognose da estrutura diamétrica de *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach (maçaranduba) na Amazônia oriental / Kenia Ribeiro Brito Santos; orientador Alba Valéria Rezende; co-orientador Lucas José Mazzei de Freitas. -- Brasília, 2022.
88 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, 2022.

1. Produtividade anual. 2. Manejo florestal. 3. Intensidade de corte. 4. Ciclo de corte. 5. Distribuição diamétrica. I. Valéria Rezende, Alba, orient. II. José Mazzei de Freitas, Lucas, co-orient. III. Título.

REFERÊNCIA

SANTOS, K. R. B. (2022). Incremento em volume e prognose da estrutura diamétrica de *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach (maçaranduba) na Amazônia oriental. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 88 p.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Kenia Ribeiro Brito Santos

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Incremento em volume e prognose da estrutura diamétrica de *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach (maçaranduba) na Amazônia oriental

GRAU: Mestre; ANO: 2022

É concedido à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. A autora reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito da autora.

Kenia Ribeiro Brito Santos
Keniaribeiro_@hotmail.com

DEDICATÓRIA

À minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, agradeço por tudo, pelo seu amor, bondade e cuidado comigo, por estar presente em todos os momentos, por ser meu refúgio, socorro e fortaleza.

Aos meus pais, Maria e Milton, e a todos os meus familiares, por todo amor, carinho, dedicação, apoio e por acreditarem em mim. Não consigo expressar em palavras toda a minha gratidão a vocês! Eu amo muito vocês!

À minha orientadora profa. Dra. Alba Valéria Rezende, pela orientação, amizade, paciência, conselhos, ensinamentos e confiança ao aceitar me orientar sem ao menos me conhecer.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Lucas Mazzei, que desde a graduação tem me orientado, um exemplo de pessoa e profissional. Muito obrigado por todos os ensinamentos, questionamentos, pela amizade, paciência e por sempre me impulsionar a fazer o meu melhor. Agradeço a Deus por ter tido um orientador tão incrível!

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio e concessão da bolsa de mestrado.

A Universidade de Brasília, em especial ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais pela oportunidade de realizar este curso e a todos os professores que compartilharam seus conhecimentos ao longo destes anos.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Renato Vinícius Oliveira Castro e o Pesquisador Dr. Evaldo Muñoz Braz, por graciosamente aceitarem o convite de compor a banca e por todas as contribuições valiosas.

Ao pesquisador, Evaldo Muñoz Braz, pelas orientações e contribuições pontuais e valiosas que muito contribuíram para a realização desta dissertação.

Aos professores Dr. Julio Eduardo Arce e Ronaldo Caetano, pelo apoio, ajudas e por todo conhecimento passado ao longo de várias discussões.

A Embrapa Amazônia Oriental e ao grupo Keilla pelo apoio e fornecimento dos dados de inventário deste trabalho.

Aos funcionários do Grupo Keilla e a toda equipe de campo, principalmente o engenheiro florestal Marcos e o seu Loló, pela atenção e ajuda quando precisei.

Ao amigo e engenheiro florestal Fabrício Reis Gomes, pelo apoio, amizade e por sempre me ajudar e pelas discussões sobre o manejo florestal.

A todos os amigos e colegas que conheci durante a pós-graduação, Hallefy Junio, Jorge Reategui, Guido Briceño, Maria de Fátima, Victor Almeida (*in Memoriam*) e Roberta Queiroz, pela ajuda, apoio e momentos de descontração. Em especial a Sarah Neri e Paola Aires, pela amizade, ajuda, por estarem presentes durante essa jornada e por todas as palavras de ânimo nos momentos de dificuldades durante o mestrado.

Aos meus amigos, Letícia Oliveira, Alice Aurora, Laura Aurora, Lídia Rios, Bárbara Chagas, Akira Kuwakino, Marcela Moraes, Marcos Júnior, Jeane Marinho, Mayara Brito, Lara Souza, Marina Lima, Rayssa Brito, Dannyela Dallyth, por estarem ao meu lado nesse tempo, por toda a preocupação demonstrada por mim, por todas as palavras de motivação, consolo, cuidado, e todos mais que estiveram em oração por mim nesse tempo. Eu amo vocês!

Aos colegas e amigos que tive o prazer de conhecer no Deeper-UnB, pelo apoio, pelas palavras e por todas as orações.

E, enfim, a todos que me ajudaram a chegar até aqui, muitíssimo obrigado!



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	16
Questões de pesquisa e hipóteses	18
1.2 Objetivos	19
1.3 Estrutura da dissertação	19
1.4 Material e métodos	20
REFERÊNCIAS	23
2. CAPÍTULO I	28
ESTRUTURA DIAMÉTRICA E PRODUTIVIDADE VOLUMÉTRICA DE <i>Manilkara elata</i> (ALLEMÃO EX MIQ.) MONACH NA AMAZÔNIA ORIENTAL	28
2.1 Introdução	28
2.2 Material e métodos	31
2.3 Resultados	35
2.3.1 Densidade árvores (ind ha ⁻¹) total e por classe de diâmetro nas populações de <i>Manilkara elata</i>	35
2.3.2 Estoque em volume de madeira em pé, total e por classe de diâmetro nas populações de <i>Manilkara elata</i>	38
2.3.3 Produtividade em volume de madeira em pé das populações de <i>Manilkara elata</i> durante o período monitorado	41
2.3.4 Produtividade em volume de madeira em pé entre as classes de diâmetro das populações de <i>Manilkara elata</i>	44
2.4 Discussão	46
2.5 Conclusões	52
REFERÊNCIAS	52
3. CAPÍTULO II	61
PROGNOSE DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA E DA PRODUTIVIDADE ANUAL DE <i>Manilkara elata</i> (Allemão ex Miq.) Monach (MAÇARANDUBA) NA AMAZÔNIA ORIENTAL	61
3.1 Introdução	61
3.2 Material e Métodos	65
3.3 Resultados	68
3.3.1 Curva de crescimento cumulativo em número de árvores e volume	68
3.3.2 Prognose da estrutura diamétrica com o uso da Matriz de Transição (cadeia de Markov)	69
3.3.3 Produtividade anual estimada em diferentes cenários de exploração (corte) e ciclos de corte	74
3.4 Discussão	76
3.5 Conclusões	81
REFERÊNCIAS	82

RESUMO GERAL

Este estudo teve como objetivo avaliar e estimar a produtividade líquida anual do volume de madeira em pé (incremento em volume) de *Manilkara elata* (maçaranduba) em áreas submetidas à exploração florestal localizada na Área de Manejo Florestal (AMF) Rio Capim do grupo Keilla, no Município de Paragominas, Estado do Pará. O estudo foi realizado em diferentes Unidades de Trabalho (UT) de 100 ha cada, da AMF Rio Capim. Entre os anos de 2001 e 2010, a empresa realizou inventários pré-exploratório a 100% de intensidade em cada uma das UTs, onde foram medidas árvores de espécies de interesse comercial com diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) ≥ 45 cm. Em 2015, foi realizado novo inventário, dessa vez considerando todas as espécies, sejam elas comerciais ou não. Para atender ao objetivo desse estudo, a análise foi dividida em dois capítulos. No primeiro capítulo foram avaliadas a estrutura de populações originais de *Manilkara elata*, assim como a dinâmica de crescimento, ingresso e mortalidade de árvores após a exploração. Por fim, definiu-se a produtividade líquida anual do volume de madeira em pé para a espécie em diferentes intensidades de exploração e estrutura de população. Os resultados mostraram que o ingresso de novas árvores foi o processo da dinâmica florestal que mais contribuiu para o ganho de volume nas áreas exploradas. A estrutura populacional remanescente influencia a produtividade em volume de madeira em pé da espécie. No segundo capítulo, estimou-se a produtividade anual de populações de *Manilkara elata* em diferentes combinações de cenários de intensidade e ciclos de corte. Empregando matrizes de transição, foi observado que a manutenção de maior nível de estoque em crescimento nas classes diamétricas com maior incremento maximizam a produtividade volumétrica das populações. O incremento em volume é dependente do estoque de árvores remanescente com diâmetro comercial. O aumento do ciclo de corte para 44 ou 55 anos resultou em maior produção ao final do ciclo, porém a produtividade anual diminuiu. Dessa forma, para garantir a sustentabilidade da produção florestal de populações de *Manilkara elata* na Amazônia é necessário que o sistema de manejo seja definido para cada população da espécie.

Palavras-chave: Produtividade anual; ciclo de corte; intensidade de corte; manejo florestal; distribuição diamétrica.

ABSTRACT

This paper evaluates and estimates the annual net productivity of standing wood volume (volume increment) of *Manilkara elata* (maçaranduba) in areas subjected to forest exploitation. They are located in the Forest Management Area (FMU) Rio Capim of the Keilla group, in the city of Paragominas, State of Pará, Brazil. The study was conducted in different Work Units (WUs) whose area is 100 ha each, from the AMF Rio Capim. A From 2001 to 2010, the company conducted pre-exploitation inventories at 100% intensity in each of the WUs, where trees of species of commercial interest with diameters at 1.30 m from the ground (DAP) ≥ 45 cm were measured. In 2015, it was conducted a new inventory considering all species, whether commercial or not. In order to achieve the objective of this study, we divided the analysis into two chapters. The first chapter evaluated the structure of original populations of *Manilkara elata*, as well as the dynamics of growth, recruitment, and mortality of trees after logging. Finally, it was defined the annual net productivity of standing wood volume for the species at different logging intensities and population structure. The results showed that the entry of new trees was the process of forest dynamics that contributed most to the gain in volume in logged areas. The remaining population structure influences the productivity in standing wood volume of the species. In the second chapter, we estimated the annual productivity of *Manilkara elata* populations under different combinations of logging intensity scenarios and cycles. Using transition matrices, the maintenance of higher level of growing stock in the diametric classes with greater increment maximizes the volume productivity of populations. The increment in volume is dependent on the stock of remaining trees with commercial diameter. Increasing the cutting cycle to 44 or 55 years resulted in greater production at the end of the cycle, but annual productivity decreased. In order to ensure the sustainability of forest production of *Manilkara elata* populations in the Amazon, it is necessary to define the management system for each population of the species.

Key-words: Annual productivity; cutting cycle; cutting intensity; forest management; diametric distribution.

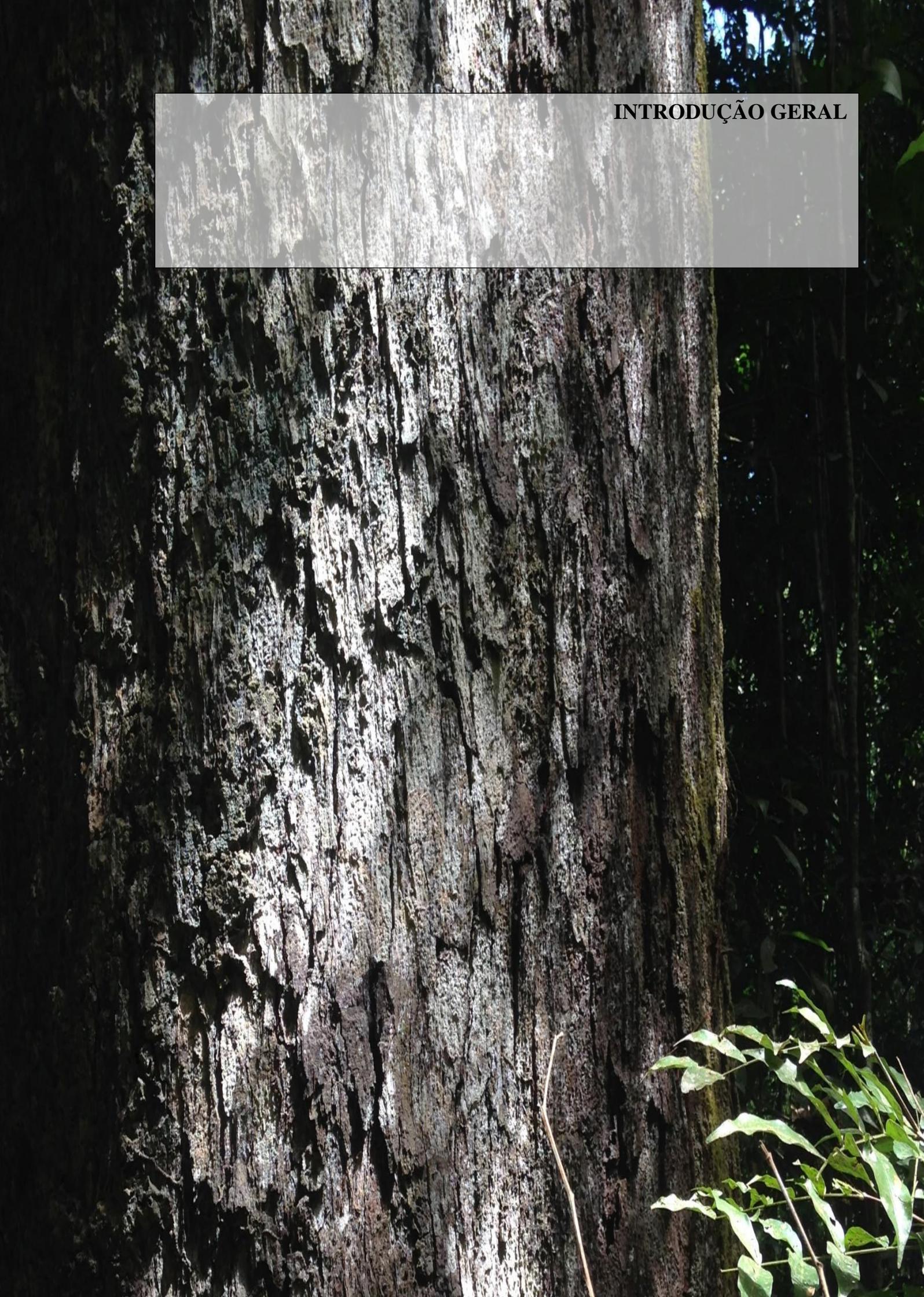
LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distância em quilômetros em linha reta entre as Unidades de Produção Anual na Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.	22
Tabela 2. Unidades de Produção Anual (UPA) inventariadas durante o período de 2001 a 2015 na Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.	22
Tabela 3. Tabela de decisão para a comparação da estrutura.	32
Tabela 4. Distribuição diamétrica inicial das árvores de <i>Manilkara elata</i> , com DAP \geq 45 cm, em seis Unidades de Produção Anual (UPAs) em área de Floresta Ombrófila Densa Submontana, na Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.	37
Tabela 5. Resultados do teste de L&O para comparação da estrutura diamétrica inicial das populações da espécie <i>Manilkara elata</i> nas seis Unidades de Produção Anual.	38
Tabela 6. Incremento das árvores remanescente, ingresso, mortalidade e produtividade líquida de volume de madeira em pé de <i>Manilkara elata</i> para árvores com DAP \geq 45, em seis Unidades de Produção Anual de uma Floresta Ombrófila Densa Submontana, na Fazenda Rio Capim, Pará, Brasil.	42
Tabela 7. Diferentes alternativas de corte mostrando diferentes cenários de corte e ciclos de corte.	68
Tabela 8. Dinâmica das árvores da espécie <i>Manilkara elata</i> (maçaranduba) entre estados, durante o período de 2004 a 2015 na UPA 8 (Não explorada).	70
Tabela 9. Dinâmica das árvores da espécie <i>Manilkara elata</i> (maçaranduba) entre estados, durante o período de 2001 a 2015 na UPA 4 (Explorada).	70
Tabela 10. Probabilidade de transição de <i>Manilkara elata</i> por centro de classe de DAP, para o período de 2004 a 2015, em 50 hectares da UPA 8 (Não explorada), para a área de Floresta Ombrófila Densa, na Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.	72

Tabela 11. Probabilidade de transição de <i>Manilkara elata</i> por centro de classe de DAP, para o período de 2001 a 2015, em 50 hectares da UPA 4 (Explorada), para a área de Floresta Ombrófila Densa, na Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.....	72
Tabela 12. Número de árvores observado e estimado pela Matriz de Transição para as UPAs 8 e 4, em área de Floresta Ombrófila Densa, na Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.	73
Tabela 13. Valores calculados do teste Qui-quadrado (χ^2) para a distribuição diamétrica das UPAs 8 e 4, em área de Floresta Ombrófila Densa, em Paragominas, Pará, Brasil.	73
Tabela 14. Produtividade anual estimada para <i>Manilkara elata</i> (maçaranduba) nos diferentes cenários de corte e ciclos de corte nas UPAs 8 e 4 da Área de Manejo Florestal da Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.	75
Tabela 15. Estimativa da produtividade anual de <i>Manilkara elata</i> (maçaranduba) nas UPAs 8 e 4 em diferentes cenários de corte em dois ciclos de corte.	76

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Localização da área de estudo na Fazenda Rio Capim, no Município de Paragominas, Pará, Brasil.....21
- Figura 2. Distribuição do volume das árvores de *Manilkara elata*, com DAP ≥ 45 cm, em seis Unidades de Produção Anual da Fazenda Rio Capim, em Paragominas, Pará, Brasil. Em que: VI= volume inicial (antes da exploração); VE= volume explorado; VR= volume remanescente imediatamente após a exploração e VF= volume no final do período monitorado.....40
- Figura 3. Análise de componentes principais (PCA) das variáveis de dinâmica em seis Unidades de Produção Anual da Fazenda Rio Capim, no Município de Paragominas, PA, Brasil. VIng = Volume total de madeira (m^3), decorrente do ingresso de novas árvores; VInc = Volume total de madeira (m^3), decorrente do incremento em diâmetro das árvores vivas, remanescentes da exploração; VMor = Volume total de madeira (m^3), decorrente da mortalidade de árvores remanescentes da exploração; IPAvol = Incremento Periódico Anual em volume (IPAvol) ou Produtividade líquida anual de volume de madeira em pé (em $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$); GR = Área basal das árvores vivas, remanescentes da exploração; NInc = Número de árvores vivas, remanescentes da exploração; NIng = Número de árvores ingressantes; NMor = Número de árvores mortas remanescentes da exploração; NI = Número de árvores iniciais (antes da exploração); NF = Número de árvores ao final do período de monitoramento.....43
- Figura 4. Dinâmica do volume de madeira ($m^3 ha^{-1}$) por classe de DAP nos diferentes processos da dinâmica em seis Unidades de Produção Anual da Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.....45
- Figura 5. Densidade de árvores e volume de madeira acumulados de *Manilkara elata* (maçaranduba) nos anos de 2004 e 2015 na UPA 8 e no ano 2001 na UPA 4.....69



INTRODUÇÃO GERAL

1. INTRODUÇÃO GERAL

As florestas são fontes de renda para milhões de pessoas no mundo e contribuem para o desenvolvimento econômico de muitos países (KÖHL et al., 2015). Em geral, a madeira extraída das florestas tropicais é utilizada como matéria-prima para a produção de mercadorias e energia (KÖHL et al., 2015).

Registros indicam que, aproximadamente, 403 milhões de hectares de floresta tropical foram designados para produção de madeira (BLASER et al., 2011). Apenas em 2005, cerca de 3,9 milhões de km² de área coberta por florestas tropicais úmidas foram submetidas a atividades de extração seletiva de madeira (ASNER et al., 2009).

Na Amazônia brasileira, cerca de 10,3 milhões de m³ de madeira em toras foram produzidos no ano de 2020, tendo como maiores produtores, os estados do Pará e Mato Grosso. Juntos, esses estados produziram 7,3 milhões de m³ de madeira (IBGE, 2021), mas, em contrapartida, esses estados também se destacaram por apresentarem a maior área desmatada na Amazônia. No Pará, o desmatamento no ano de 2020 foi de 366.335 hectares, e de 178.184 ha no Mato Grosso (MAPBIOMAS, 2021). A exploração ilegal de madeira ainda representa parte significativa do total de madeira explorada na Amazônia, e o manejo das florestas é a saída alternativa entre a proteção total e o desmatamento (PUTZ et al., 2012).

A Lei de Gestão de Florestas Públicas (Lei nº 11.284/2006) define o manejo florestal sustentável como sendo a “administração da floresta para a obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços de natureza florestal” (BRASIL, 2006). Em geral, o sistema de manejo florestal adotado nas florestas tropicais é o policíclico, com ciclos de corte que variam normalmente de 20 a 40 anos, e que envolve o corte seletivo de árvores com diâmetro igual ou superior ao diâmetro mínimo de corte (D.M.C) (LAMPRECHT, 1990).

No Brasil, a extração de madeira em terras públicas ou privadas na Amazônia exige um Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), que seja elaborado conforme procedimentos técnicos estabelecidos na Instrução Normativa 005, de 11 de dezembro de 2006, e, aprovado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais

Renováveis (IBAMA) ou por órgãos ambientais estaduais. A Instrução Normativa 005, de 11 de dezembro de 2006, estabelece ciclos de corte entre 25 e 35 anos, intensidade de corte máxima de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e diâmetro mínimo de corte (DMC) de 50 cm para todas as espécies (BRASIL, 2006). Na prática, o manejo não considera as diferenças de ritmo de crescimento das espécies arbóreas madeireiras, ou seja, a intensidade e o ciclo de corte não são aplicados pensando na autoecologia das espécies (SCHÖNGART, 2008). Assim, o volume de madeira definido para extração das árvores por espécie é arbitrário, já que raramente está fundamentado na dinâmica de crescimento de cada espécie e na estrutura de suas populações (PUTZ; DYKSTRA; HEINRICH, 2000).

O potencial de recuperação tanto do volume de madeira extraído das espécies comerciais, quanto da estrutura da floresta, dentro de um ciclo de corte, deve ser considerado nos planos de manejo, para que o conceito de manejo florestal sustentável seja completo, e para que esse potencial de recuperação possa ser estimado por meio de modelos de crescimento e produtividade (BRAZ et al., 2012; GAUI et al., 2019).

Pesquisas com manejo florestal na Floresta Amazônica, realizadas no Brasil, Bolívia e Guiana Francesa, indicam que, considerando as regulamentações atuais vigentes nesses países, a produção madeireira da maioria das espécies de alto valor comercial não é sustentável, sendo necessário aprofundar mais os estudos sobre novos sistemas silviculturais que intensifiquem, por exemplo, o uso de tratamentos silviculturais para aumentar as taxas de crescimento das árvores (PIPONIOT et al., 2018; ROZENDAAL, SOLIZ-GAMBOA e ZUIDEMA, 2010; SCHULZE et al., 2008). Portanto, a avaliação do impacto da exploração florestal na recuperação de florestas tropicais é de extrema importância para melhor estimar o fornecimento futuro de madeira. Consequentemente, as práticas de manejo florestal, no que diz respeito ao ciclo de corte, intensidade de corte e diâmetro mínimo de corte, necessitam de mudanças para permitir tanto a recuperação das florestas exploradas no decorrer de ciclos de corte, quanto para a manutenção dos seus recursos madeireiros (DE MIRANDA et al., 2018; PUTZ et al., 2012; SEBBENN et al., 2008).

A determinação da intensidade de corte do sistema silvicultural deve ser considerada para garantir a sustentabilidade do manejo, considerando que intensidades fixas de volume podem causar extrações altas para espécies de crescimento lento e baixas para espécies de crescimento rápido. Dessa forma, mudanças no sistema de manejo

devem considerar as variações nas taxas de crescimento, mortalidade, recrutamento, densidade e distribuição diamétrica das espécies arbóreas (DE MIRANDA et al., 2018; SCHULZE et al., 2008).

Ciclos e intensidades de corte específicos por espécies devem garantir manejo sustentável, produzindo em novos ciclos volumes comercializáveis de madeira. Alguns estudos que utilizaram dados dendrocronológicos observaram significativa variação entre ciclos de corte e entre DMC definidos para algumas espécies, quando comparados com aqueles estabelecidos para toda a floresta pela legislação brasileira (ANDRADE et al., 2019; CANETTI et al., 2021; SCHÖNGART, 2008).

Entre as espécies arbóreas de maior valor econômico da Amazônia brasileira e mais comercializadas no mercado internacional estão o ipê, o jatobá, a maçaranduba e a muiracatiara. A maçaranduba, isto é, *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach, pertence à família Sapotaceae e ocorre em ambientes de floresta de terra firme, com até 700 m de altitude. Suas árvores são de grande porte e podem atingir cerca de 40-50 m de altura e 300 cm de diâmetro. É encontrada também na Venezuela e nas Guianas. No Brasil, a espécie ocorre nos Estados do Pará, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Rondônia e Roraima (VAN ROOSMALEN; GARCIA, 2000).

A madeira é bastante consumida tanto no mercado nacional quanto internacional (CASTRO; CARVALHO, 2014; FERREIRA et al., 2020). Apresenta cerne vermelho-escuro, grã direita, textura fina (EMBRAPA, 2004), e alta durabilidade natural (GOMES et al., 2005). É a madeira mais pesada e dura da família Sapotaceae, com densidade básica entre 0,9 e 1,04 g.cm⁻³ (FERRAZ et al., 2004), sendo, portanto, bastante utilizada na construção externa, cercas, dormentes, pisos industriais, postes, assoalhos e na fabricação de barcos. No mercado externo, a comercialização da madeira serrada desta espécie está na faixa de US\$ 1.127 o metro cúbico (ITTO, 2022).

Questões de pesquisa e hipóteses

Questão 1: A estrutura diamétrica inicial (original) de árvores de maçaranduba varia entre Unidades de Produção Anual de uma mesma Unidade de Manejo Florestal?

Questão 2: Existe diferença na produtividade anual de *Manilkara elata* em diferentes UPAs submetidas à exploração madeireira?

Questão 3: O diâmetro mínimo de corte, a intensidade de corte e o ciclo de corte afetam a produtividade anual (incremento em volume) de maçaranduba?

Hipótese 1: A produtividade anual (incremento em volume) de uma espécie depende tanto da sua taxa de crescimento quanto da sua estrutura diamétrica remanescente, após a exploração;

Hipótese 2: É possível maximizar a produção volumétrica da espécie quando sua dinâmica e sua estrutura diamétrica são consideradas na definição do sistema de manejo florestal a ser conduzido.

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Avaliar e estimar a produtividade líquida anual do volume (incremento em volume) de maçaranduba (*Manilkara elata*) em áreas submetidas à exploração florestal e uma área não explorada na Amazônia Oriental.

1.2.2. Objetivos específicos

- a) Testar se a estrutura diamétrica inicial da espécie é igual em cada Unidade de Produção Anual (UPA);
- b) Determinar e avaliar a produtividade líquida anual do volume de madeira em pé (incremento em volume) da espécie nas diferentes UPAs;
- c) Realizar a prognose da distribuição diamétrica da espécie em duas UPAs utilizando o modelo matriz de transição;
- d) Estimar a produtividade anual da espécie em diferentes combinações de cenários de corte e ciclos de corte, empregando a modelagem por matriz de transição, visando identificar (ou subsidiar) estratégias que maximize a sua produção madeireira.

1.3 Estrutura da dissertação

Para atingir os objetivos propostos, a dissertação foi estruturada em dois capítulos, conforme apresentado a seguir:

- **Capítulo I:** Estrutura diamétrica e produtividade volumétrica de *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach na Amazônia oriental;
- **Capítulo II:** Prognose da estrutura diamétrica e da produtividade anual de *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach na Amazônia oriental.

1.4 Material e métodos

1.4.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Fazenda Rio Capim, em uma Área de Manejo Florestal (AMF), de propriedade da Empresa CKBV Florestal Ltda., pertencente ao Grupo Keilla, localizada no Município de Paragominas, no Estado do Pará (Figura 1). A AMF está situada entre as coordenadas geográficas 03°30' e 03°45' de latitude Sul e 48°30' e 48°45' de longitude Oeste (MACIEL et al., 2009). A vegetação da área é classificada como Floresta Ombrófila Densa Submontana (IBGE, 2012). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo “Aw”, caracterizado como sendo tropical chuvoso, com estação seca bem definida. A temperatura média anual é de 26,3 °C, com precipitação média anual de 1.800 mm e umidade relativa do ar de 81% (ALVARES et al., 2013). Os solos da região são os Latossolos Amarelos e os Argissolos Amarelos, sendo também encontrados Plintossolos, Geissolos e Neossolos (RODRIGUES et al., 2003).

O grupo Keilla administra mais de 200 mil hectares de floresta nativa na Amazônia brasileira, e executa o Manejo Florestal certificado pelo Forest Stewardship Council (FSC). A Unidade de Manejo Florestal (UMF) é dividida em 35 Unidades de Produção Anual (UPA), que são subdivididas em Unidades de Trabalho (UT). A exploração na UMF é feita anualmente, sendo realizada a exploração de uma UPA por ano, contemplando assim um ciclo de corte 35 anos para exploração da área total (KEILLA, 2021).

As principais espécies exploradas na AMF da Fazenda Rio Capim são: *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach (maçaranduba), *Hymenaea courbaril* L. (jatobá), *Astronium lecointei* Ducke (muiracatiara), *Parkia pendula* Benth. ex Walp. (fava bolota), *Couratari oblongifolia* Ducke & Knuth (tauari), *Pouteria bilocularis* (Winkler) Baehn (goiabão), *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers (piquiá) e *Protium altsonii* Sandwith (breu

vermelho) (MAZZEI et al., 2010).

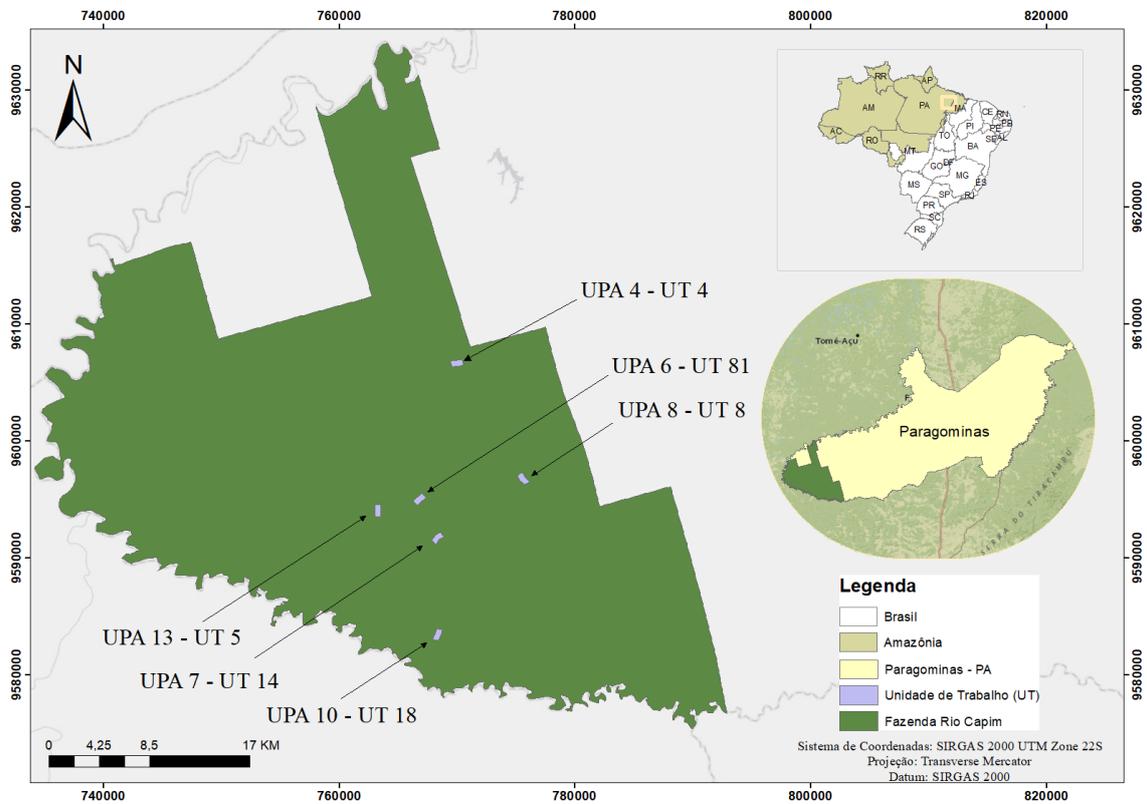


Figura 1. Localização da área de estudo na Fazenda Rio Capim, no Município de Paragominas, Pará, Brasil.

1.4.2 Banco de dados

Os dados utilizados nessa pesquisa são provenientes de seis Unidades de Produção Anual (UPA) monitoradas pela Embrapa Amazônia Oriental (Tabela 1).

Tabela 1. Distância em quilômetros em linha reta entre as Unidades de Produção Anual na Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.

UPA	4	6	7	8	10	13
4	0	11,2	14,4	10,7	22,4	13,5
6	11,2	0	3,5	8,2	11,4	3,8
7	14,4	3,5	0	8,5	7,1	5,7
8	10,7	8,2	8,5	0	14,9	12,4
10	22,4	11,4	7,1	14,9	0	10,7
13	13,5	3,8	5,7	12,4	10,7	0

Em que UPA = Unidade de Produção Anual

Em cada UPA foi selecionada uma Unidade de Trabalho (UT), e do total de UTs selecionadas, uma não foi explorada (UT 8 da UPA 8). As demais foram submetidas à exploração em diferentes anos. Para este estudo foram analisadas 6 UTs, perfazendo um total de 300 ha amostrados na UMF (Tabela 2).

Tabela 2. Unidades de Produção Anual (UPA) inventariadas durante o período de 2001 a 2015 na Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.

UPA	UT	AIF	PM	II (anos)	VAT (m ³ ha ⁻¹)	VET (m ³ ha ⁻¹)	VAM (m ³ ha ⁻¹)	VEM (m ³ ha ⁻¹)
4	4	50	2001-2015	14	56,0	26,4	16,9	10,0
6	81	50	2002-2015	13	46,3	24,4	8,7	6,5
7	14	50	2003-2015	12	57,2	28,9	14,0	10,0
8	8	50	2004-2015	11	73,1	*	16,0	*
10	18	50	2007-2015	8	51,0	29,1	7,9	6,2
13	5	50	2010-2015	5	93,4	43,5	16,7	13,9

Em que: UPA = Unidade de Produção Anual; UT = Unidade de Trabalho; AIF = Área amostrada do Inventário Florestal a 100% (ha); PM = Período do monitoramento; II = Intervalo entre os inventários (anos); VAT = Volume comercial inicial (antes da exploração) de todas as espécies comerciais (m³ ha⁻¹); VET = Volume explorado de todas as espécies comerciais (m³ ha⁻¹); VAM = Volume comercial inicial de *Manilkara elata* (m³ ha⁻¹); VEM = Volume explorado de *Manilkara elata* (m³ ha⁻¹); * = Não explorada.

Entre os anos de 2001 e 2010 foram realizados os inventários pré-exploratórios 100% em cada uma das UPAs, de acordo com o calendário de exploração da UMF (Tabela 2). O inventário florestal em cada ano considerou apenas árvores com DAP (diâmetro a 1,30 m do solo) igual ou superior a 45 cm, pertencentes as espécies listadas para corte naquele ano. O DAP mínimo de corte estabelecido pelo plano de manejo da

empresa é de 55 cm.

Em 2015 foi realizado um novo inventário florestal 100% em cada UT, onde foram mensuradas todas as árvores de todas as espécies com DAP \geq 45 cm, vivas e mortas. As árvores foram identificadas em campo pelo nome vulgar, por parabolômicos da empresa e da Embrapa Amazônia Oriental, e suas coordenadas geográficas foram coletadas com aparelho de GPS. Também foram registradas a qualidade do fuste e o tipo de aproveitamento das árvores mortas. A Tabela 2 apresenta o período, o tempo de monitoramento e o volume explorado de cada Unidade de Trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONCALVES, J. L. D. et al. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ANDRADE, V. H. F.; MACHADO, S. D.; FIGUEIREDO, A.; BOTOSSO, P. C. et al. Growth models for two commercial tree species in upland forests of the Southern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 438, p. 215-223, 2019.
- ASNER, G. P.; RUDEL, T. K.; AIDE, T. M.; DEFRIES, R. et al. A Contemporary Assessment of Change in Humid Tropical Forests. **Conservation Biology**, v. 23, n. 6, p. 1386-1395, 2009.
- BLASER, J.; SARRE, A.; POORE, D.; JOHNSON, S. **Status of Tropical Forest Management**. Yokohama, International Tropical Timber Organization, 2011. (ITTO Technical Series, 38)
- BRASIL. Instrução Normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 dez. 2006. Seção 1, p. 155
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Lei nº 11.284, de 2 de março de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 3 mar. 2006. Seção 1, p. 1
- BRAZ, E. M.; SCHNEIDER, P. R.; MATTOS, P. P. D.; THAINES, F. et al. Manejo da estrutura diamétrica remanescente de florestas tropicais. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 787-794, 2012.
- CASTRO, T. D. C.; CARVALHO, J. O. P. D. Dinâmica da população de *Manilkara huberi* (ducke) a. Chev. Durante 26 anos após a exploração florestal em uma área de terra firme na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 161-169, 2014.
- CANETTI, A.; BRAZ, E. M.; DE MATTOS, P. P.; BASSO, R. O. et al. A new

approach to maximize the wood production in the sustainable management of Amazon Forest. **Annals of Forest Science**, v.78, n. 3, 2021.

DE MIRANDA, D. L. C.; HIGUCHI, N.; TRUMBORE, S. E.; LATORRACA, J. V. F. et al. Using radiocarbon-calibrated dendrochronology to improve tree-cutting cycle estimates for timber management in southern Amazon forests. **Trees-Structure and Function**, v. 32, n. 2, p. 587-602, 2018.

EMBRAPA. **Maçaranduba *Manilkara huberi***. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004. (Projeto Dendrogene. Espécies Arbóreas da Amazônia, 4).

FERRAZ, I. D. K.; LEAL FILHO, N.; IMAKAWA, A. M.; VARELA, V. P. et al. Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeireiras da floresta de terra firme da Amazônia Central. **Acta amazonica**, v. 34, n. 4, p. 621-633, 2004.

FERREIRA, T. M. C.; DE CARVALHO, J. O. P.; EMMERT, F.; RUSCHEL, A. R. et al. How long does the Amazon rainforest take to grow commercially sized trees? An estimation methodology for *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach. **Forest Ecology and Management**, v. 473, p. 118-333, 2020.

GAUI, T. D.; COSTA, F. R. C.; COELHO DE SOUZA, F.; AMARAL, M. R. M. et al. Long-term effect of selective logging on floristic composition: A 25 year experiment in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 440, p. 258-266, 2019.

GOMES, J. I.; SILVA, E. M. A.; MELO, A. T. S. de. **Durabilidade de 15 espécies de madeiras amazônicas em contato com o solo em ambiente sombreado**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2005. 4 p. (Embrapa Amazônia Oriental. Comunicado técnico, 148).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manuais Técnicos em Geociências – número 1: Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2ª edição revista e ampliada. Rio de Janeiro, 2012

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA. **Produção da extração vegetal e da silvicultura 2020**. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289>>. Acesso em: 23 abr. 2022

ITTO - INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Tropical Timber Market Report**. 2022 (ITTO TTM Report, v. 26, n. 4)

KEILLA. **Resumo público do plano de manejo sustentável UMF's complexo Rio Capim**. Paragominas, 2021.

KÖHL, M.; LASCO, R.; CIFUENTES, M.; JONSSON, Ö. et al. Changes in forest production, biomass and carbon: Results from the 2015 UN FAO Global Forest Resource Assessment. **Forest Ecology and Management**, v. 352, p. 21-34, 2015.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas - possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado.** Eschborn: GTZ, 1990. 343p.

MACIEL, M. D. N. M.; BASTOS, P. C. D. O.; CARVALHO, J. O. P. D.; WATRIN, O. D. S. Uso de imagens orbitais e estimativa no Município de parâmetros de uma floresta primária de Paragominas, Estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 52, p. 159-178, 2009.

MAPBIOMAS. **Relatório Anual do Desmatamento no Brasil 2020.** São Paulo: MapBiomas, 2021. 93 p.

MAZZEI, L.; SIST, P.; RUSCHEL, A.; PUTZ, F. E. et al. Above-ground biomass dynamics after reduced-impact logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 3, p. 367-373, 2010.

PIPONIOT, C.; DERROIRE, G.; DESCROIX, L.; MAZZEI, L. et al. Assessing timber volume recovery after disturbance in tropical forests - A new modelling framework. **Ecological Modelling**, v. 384, p. 353-369, 2018.

PUTZ, F. E.; DYKSTRA, D. P.; HEINRICH, R. Why poor logging practices persist in the tropics. **Conservation Biology**, v. 14, n. 4, p. 951-956, 2000.

PUTZ, F. E.; ZUIDEMA, P. A.; SYNNOTT, T.; PENA-CLAROS, M. et al. Sustaining conservation values in selectively logged tropical forests: the attained and the attainable. **Conservation Letters**, 5, n. 4, p. 296-303, 2012.

RODRIGUES, T. E.; SILVA, R. C.; SILVA, J. M. L.; OLIVEIRA JÚNIOR, R. C.; GAMA, J. R. N. F.; VALENTE, M. A. **Caracterização e classificação dos solos do Município de Paragominas, Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental-CPATU, 2003. 51p. (Documentos, 162).

ROZENDAAL, D. M. A.; SOLIZ-GAMBOA, C. C.; ZUIDEMA, P. A. Timber yield projections for tropical tree species: The influence of fast juvenile growth on timber volume recovery. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 12, p. 2292-2300, 2010.

SCHONGART, J. Growth- Oriented Logging (GOL): A new concept towards sustainable forest management in Central Amazonian várzea floodplains. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 1, p. 46-58, 2008.

SCHUIZE, M.; GROGAN, J.; LANDIS, R. M.; VIDAL, E. How rare is too rare to harvest? Management challenges posed by timber species occurring at low densities in the Brazilian Amazon: Moving beyond reduced-impact logging towards a more holistic management of tropical forests. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 7, p. 1443-1457, 2008.

SEBBENN, A. M.; DEGEN, B.; AZEVEDO, V. C. R.; SILVA, M. B. et al. Modelling

the long-term impacts of selective logging on genetic diversity and demographic structure of four tropical tree species in the Amazon Forest. **Forest Ecology and Management**, v. 254, n. 2, p. 335-349, 2008.

VAN ROOSMALEN, M. G. M.; GARCIA, O. M. D. C. G. Fruits of the Amazonian Forest. Part II: Sapotaceae. **Acta amazonica**, v. 30, n. 2, p. 187-290, 2000.



CAPÍTULO I

**ESTRUTURA DIAMÉTRICA E PRODUTIVIDADE VOLUMÉTRICA
DE *Manilkara elata* (ALLEMÃO EX MIQ.) MONACH NA AMAZONIA
ORIENTAL**

2. CAPÍTULO I

ESTRUTURA DIAMÉTRICA E PRODUTIVIDADE VOLUMÉTRICA DE *Manilkara elata* (ALLEMÃO EX MIQ.) MONACH NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Resumo: As recomendações de manejo florestal devem ser baseadas no conhecimento detalhado da estrutura diamétrica e dinâmica das espécies comerciais afim de não aplicar intensidade de corte além da capacidade de recuperação da espécie. Diante disso, o objetivo desse estudo foi avaliar a densidade de árvores e a estrutura diamétrica de populações originais de *Manilkara elata*, assim como, analisar a dinâmica i) de crescimento das árvores remanescentes, ii) do ingresso de novas árvores para o ganho de volume de madeira em pé e iii) a perda de produção devido a mortalidade de árvores em cinco áreas exploradas com diferentes intensidades de corte na região de Paragominas (PA). Por fim, foi definida a produtividade líquida anual do volume de madeira em pé para a espécie. O estudo foi realizado em diferentes Unidades de Trabalho (UT) de 100 ha cada, em uma Área de Manejo Florestal (AMF). Entre os anos de 2001 e 2010, foram realizados inventários de árvores com DAP ≥ 45 cm, a 100% de intensidade em espécies comerciais selecionadas pela empresa manejadora. Em 2015, foi realizado novo inventário florestal a 100% de intensidade, desta vez considerando todas as espécies, sejam elas comerciais ou não. A produtividade líquida anual de volume de madeira em pé de *Manilkara elata* variou entre as populações de $0,062 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a $-0,036 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O ingresso de novas árvores foi o processo da dinâmica florestal que mais contribuiu para o ganho de volume nas áreas exploradas. No entanto, na área não explorada o incremento das árvores remanescentes foi o principal responsável pelo ganho de produtividade. Nas populações estudadas, as árvores das classes diamétricas 85-94,9 cm e 95-104,9 cm foram as que mais contribuíram para perda de volume devido à mortalidade de árvores. A intensidade de corte aplicada e a estrutura diamétrica influenciaram a produtividade em volume de madeira em pé da espécie. A espécie *Manilkara elata* apresentou estrutura diamétrica diferente nas seis Uts avaliadas. Dessa forma, o planejamento do manejo florestal deve ser baseado em estudos específicos de cada local e não em informações gerais para uma espécie, ou seja, é necessário considerar os diferentes estoques da espécie em diferentes locais.

Palavras-chave: Manejo florestal; incremento volumétrico

2.1 Introdução

O manejo das florestas naturais tem como objetivo básico manter a produtividade dos recursos florestais sem ameaçar a qualidade da floresta no longo prazo (NOGUEIRA et al., 2011; SOUZA; SOARES, 2013). No Brasil, a Instrução Normativa 005, de 11 de

dezembro de 2006 (BRASIL, 2006) e a Resolução nº 406, de 02 de fevereiro de 2009 (BRASIL, 2009) estabelecem os parâmetros técnicos para a implementação e execução do manejo florestal em toda a região amazônica. Contudo, tais parâmetros são generalistas e é de extrema importância definir o sistema de manejo a ser aplicado a partir da autoecologia das espécies, visando garantir a sustentabilidade do manejo (CANETTI et al., 2021; CASTRO; CARVALHO, 2014).

A produtividade anual de florestas submetidas à exploração florestal na Amazônia pode variar de 0,1 a 1,9 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, considerando para esse cálculo a soma do crescimento de todas as espécies comerciais. Esses valores foram obtidos de seis sítios da Amazônia brasileira, sendo três deles localizados na Floresta Nacional do Tapajós (HIGUCHI et al., 1997; OLIVEIRA, 2000; OLIVEIRA, 2005; SILVA et al., 1995; SILVA et al., 1996; VIDAL, 2004). Esses mesmos estudos foram utilizados na determinação da estimativa da produtividade anual da floresta na Amazônia brasileira, 0,86 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, e orientou a decisão da escolha da intensidade e do ciclo de corte a ser aplicado em todos os Planos de Manejo Florestal Sustentável que utilizam máquinas para o arraste de toras (BRASIL, 2009).

Capanema et al. (2022) concluiu que o uso dos recursos madeireiros se dá de maneira inadequada ao aplicar a mesma intensidade e ciclo de corte para todas as espécies. Em estudo recente na Amazônia brasileira, Canetti et al. (2021) mostraram que quatro espécies atualmente exploradas em PMFS apresentaram maior incremento volumétrico ao utilizarem o diâmetro mínimo de corte (DAP) alternativos ao invés daquele sugerido na norma.

Segundo Brasil (2009), o estoque futuro de madeira já está na floresta. Dessa forma, a produtividade volumétrica no segundo ciclo de corte não é influenciada apenas pela taxa de crescimento das árvores, mas também pela estrutura diamétrica remanescente (BRAZ et al., 2012; DAUBER et al., 2005). De acordo com Mazzei e Ruschel (2014), a chave para manutenção da mesma produtividade volumétrica por espécie em diferentes ciclos de corte está na escolha criteriosa do indivíduo a ser explorado.

A densidade e a distribuição diamétrica inicial de uma floresta são essenciais não apenas para caracterizar o estoque em crescimento por espécie e para a comunidade (REIS et al., 2014), mas também para melhor entender a dinâmica florestal após a exploração (SIST et al., 2014). Além disso, a estrutura diamétrica inicial é também considerada o

fator mais importante na determinação da recuperação volumétrica (SCHULZE et al., 2008). Dessa maneira, as recomendações de manejo devem ser baseadas no conhecimento detalhado da estrutura e dinâmica das espécies a fim de não se aplicar uma intensidade de corte além da capacidade de sustentação da floresta ou espécie (CANETTI et al., 2021; CASTRO; CARVALHO, 2014; REIS et al., 2014; SOUZA; SOARES, 2013; TICKTIN, 2004). Por exemplo, Braz et al. (2015a) mostraram que diferentes estruturas diamétricas da mesma espécie produziram diferentes taxas de produtividade e recuperação da estrutura florestal inicial.

Algumas espécies florestais podem apresentar grande variação na densidade, distribuição diamétrica e espacial entre as diferentes regiões da Amazônia (GAYOT; SIST, 2004; KLIMAS et al., 2007; SONTAG, 2017; VIEIRA et al., 2021). Dessa forma, é importante também avaliar o comportamento de cada espécie comercial antes da exploração e em uma escala de paisagem (mesoescala), ou seja, em uma escala de 1-100 km² (CLARK et al., 1998, 1999), para fornecer subsídios para o sistema de manejo da espécie (SIST et al., 2014).

Segundo Herrero-Jáuregui et al. (2012), estudos que avaliam os efeitos da aplicação de diferentes intensidades de corte sobre a mesma espécie são de fundamental importância para determinar a taxa de corte que manterá a produção.

No presente estudo foi avaliada a dinâmica de acumulação do volume de madeira de *Manilkara elata* em seis unidades de trabalho (UTs) de uma Unidade de Manejo Florestal na Amazônia oriental, sendo uma área não explorada e cinco exploradas a partir de diferentes intensidades de corte. A espécie *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach, popularmente conhecida como maçaranduba, possui ampla distribuição na região amazônica e está entre as espécies mais exploradas e comercializadas no mercado nacional e internacional, por apresentar uma madeira com alta densidade e resistência (AZEVEDO et al., 2007; CASTRO; CARVALHO, 2014; ITTO, 2022).

Assim, o objetivo principal deste estudo foi avaliar estrutura diamétrica e a dinâmica de produtividade volumétrica de *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach, em áreas de Floresta Ombrófila Densa Submontana manejadas e não manejada na Amazônia oriental. Como objetivos específicos buscou-se (1) avaliar e comparar a densidade e estrutura diamétrica de populações originais da espécie nas diferentes áreas;

(2) avaliar os ganhos e perdas em volume de madeira em pé nas diferentes áreas e (3) definir a produtividade líquida anual do volume de madeira em pé para a espécie.

2.2 Material e métodos

2.2.1 Área de estudo

Ver tópico 1.4.1.

2.2.2 Coleta dos dados

Os dados utilizados no presente capítulo provêm de inventários 100% (item 1.4.2.1) para as árvores de *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach, com DAP ≥ 45 cm.

2.2.3 Análise dos dados

2.2.3.1 Distribuição diamétrica e volumétrica

A avaliação da estrutura diamétrica inicial da população de *Manilkara elata* em cada ano da cronossequência em estudo foi feita para árvores com DAP ≥ 45 cm. As árvores foram distribuídas em 10 classes diamétricas, com intervalo de 10 cm e para cada classe foi estimado o estoque em volume comercial de madeira. Estas classes foram utilizadas para analisar a distribuição volumétrica.

O volume comercial estimado de cada árvore foi obtido pela equação 1, que foi desenvolvida para atender o Plano de Manejo Florestal Sustentável da empresa (CIKEL, 2011), ou seja:

$$V = 10^{[(1,93 \cdot \log DAP) - 2,96]} \quad (1)$$

em que V = volume comercial da árvore em pé (m³) e DAP = diâmetro à altura do peito (cm).

2.2.3.2 Comparação das distribuições diamétricas das populações de *Manilkara elata*

Para comparar a distribuição diamétrica da densidade inicial de árvores de *Manilkara elata* registrada no censo das seis UTs, foi aplicado o procedimento proposto por Leite e Oliveira (2002). Esse procedimento consiste no resultado da combinação da estatística $F(H_0)$, na forma modificada por Graybill (1976), do teste do erro médio (t), e do coeficiente de correlação linear ($r_{Y_j Y_1}$), sendo utilizado para comparar dois grupos de dados quantitativos. Baseado nessas estatísticas é proposta uma regra de decisão para o teste de hipótese de identidade entre grupos de dados quantitativos.

A tabela 3 apresenta sumário do procedimento estatístico, que mostra as situações que podem ocorrer quando o procedimento estatístico é aplicado, com a indicação da decisão a ser tomada (LEITE; OLIVEIRA, 2002).

Tabela 3. Tabela de decisão para a comparação da estrutura.

Situação	$F(H_0)$	$t_{\bar{e}}$	$r_{Y_j Y_1}$	Decisão
1	ns	ns	$r_{Y_j Y_1} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_j = Y_1$
2	ns	ns	$r_{Y_j Y_1} \leq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
3	ns	*	$r_{Y_j Y_1} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
4	ns	*	$r_{Y_j Y_1} \leq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
5	*	ns	$r_{Y_j Y_1} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
6	*	ns	$r_{Y_j Y_1} \leq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
7	*	*	$r_{Y_j Y_1} \geq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$
8	*	*	$r_{Y_j Y_1} \leq (1 - \bar{e})$	$Y_j \neq Y_1$

ns e * denotam, respectivamente, diferenças não significativas e significativas ao nível α de probabilidade.

Fonte: Leite e Oliveira (2002).

2.2.3.2 Produtividade líquida anual do volume de madeira em pé

A produção líquida em volume de madeira em pé ($m^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) da espécie *Manilkara elata* foi segmentado em três processos da dinâmica florestal (incremento em diâmetro, ingresso e mortalidade). Assim, foi possível avaliar a dinâmica em ganho e perda em volume da população de *Manilkara elata*, tanto na área não explorada quanto nas áreas exploradas, considerando os seus respectivos intervalos de monitoramento.

Foram consideradas como “ingresso” todas as árvores que atingiram o $DAP \geq 45$

em na segunda medição. A mortalidade foi obtida pelo número de árvores que morreram entre as duas medições, excluindo aquelas que foram exploradas.

A produtividade líquida anual de volume de madeira em pé, ou Incremento Periódico Anual em volume – IPAvol, em $m^3 ha^{-1} ano^{-1}$, para cada uma das populações de *Manilkara elata*, foi obtida pela seguinte relação (FINGER, 2006):

$$IPAvol = \frac{(VF-VR)}{T} \quad (2)$$

em que VF = Volume total de madeira (m^3) no final do período monitorado; VR = Volume total de madeira remanescente (m^3) após exploração; T = intervalo de tempo entre os dois inventários (anos); $VR = VI - VE$; VI = Volume total de madeira inicial (m^3), antes da exploração e VE = Volume total de madeira (m^3) explorado.

O IPAvol representa o balanço em volume entre o acúmulo decorrente: i) do incremento diamétrico das árvores remanescentes (VInc) e consequente mudança entre classes de DAP; ii) do ingresso de novas árvores (VIng); e da perda em volume devido á mortalidade (VMor) das árvores durante o período analisado.

Durante o período monitorado de cada população de *Manilkara elata*, a dinâmica do volume de madeira também foi avaliada para cada classe de DAP.

A perda em volume de madeira, decorrente da mortalidade de árvores remanescentes da exploração, para cada classe de diâmetro i ($VMor_i$), foi dada por:

$$VMor_i = VR_i - VRPV_i$$

em que VR_i = Volume de madeira (m^3), registrado no início do período monitorado, das árvores vivas remanescentes da exploração, presentes na classe de diâmetro i; $VRPV_i$ = Volume de madeira (m^3), registrado no início do período monitorado, das árvores vivas remanescentes da exploração, presentes na classe de diâmetro i, que permaneceram vivas no final do período monitorado; i = 1, 2, 3,, 10 classes de DAP

Por outro lado, o volume total de madeira (m^3), decorrente do ingresso de novas árvores na classe de diâmetro i ($VIng_i$), durante o período monitorado, foi obtido pelo

somatório dos volumes das árvores ingressantes numa determinada classe de DAP, enquanto o volume de madeira (m³) acumulado em cada classe de diâmetro i, durante o período monitorado, decorrente do incremento em diâmetro das árvores vivas, remanescentes da exploração (VInc_i) foi obtido da seguinte forma:

$$VInc_i = VRF_i - VR_i$$

em que VRF_i = Volume de madeira (m³), registrado no final do período monitorado, das árvores vivas remanescentes da exploração, presentes na classe de diâmetro i; VR_i = Volume de madeira (m³), registrado no início do período monitorado, das árvores vivas remanescentes da exploração, presentes na classe de diâmetro i e i = 1, 2, 3,, 10 classes de DAP.

O volume acumulado devido ao incremento diamétrico das árvores remanescentes foi subdividido entre as árvores que permaneceram na mesma classe, e aquelas que mudaram de classe. Nesse último caso, a movimentação de árvores entre classes acarreta perda de volume na classe onde as árvores estavam (mudança de classe negativa) e ganho equivalente em volume para a classe que recebeu as árvores (mudança de classe positiva).

Importante mencionar que nos dois censos realizados, antes (pela empresa) e após a exploração (pela pesquisa), o ponto de medição do DAP das árvores não foi materializado no campo. Por convenção, e seguindo as regras de decisão quanto a tomada do ponto de medição, o DAP foi sempre medido à 1,30 m de distância do solo. Porém é sabido que a não marcação do ponto de medição do DAP pode levar a imprecisão na determinação do crescimento individual das árvores. Por essa razão, neste estudo, não será apresentada a informação do crescimento por árvore, e, conseqüentemente, o volume acumulado devido ao incremento em diâmetro será apenas aproximativo e pouco preciso.

De forma simplificada, a produtividade líquida anual em volume de madeira em pé ou Incremento Periódico Anual em volume (IPAvol), em m³ ha⁻¹ ano⁻¹, para cada população de *Manilkara elata*, pode também ser obtida a partir da Equação 3:

$$IPAvol = \frac{VInc+VIng-VMor}{T} \quad (3)$$

em que V_{Inc} = Volume de madeira (m^3) acumulado durante o período monitorado, decorrente do incremento em diâmetro das árvores vivas, remanescentes da exploração; V_{Ing} = Volume total de madeira (m^3), decorrente do ingresso de novas árvores; V_{Mor} = Volume (m^3) decorrente da mortalidade de árvores remanescentes da exploração e T = intervalo de tempo entre os dois inventários (anos).

Para analisar as relações entre as variáveis da dinâmica e as características estruturais das populações de *Manilkara elata*, os dados foram submetidos a Análise de Componentes Principais (PCA), que é uma técnica de análise multivariada que considera tanto a heterogeneidade das variáveis analisadas e as condensa em poucos componentes não correlacionados.

2.3 Resultados

2.3.1 Densidade árvores ($ind\ ha^{-1}$) total e por classe de diâmetro nas populações de *Manilkara elata*

Antes da exploração foram registradas 844 árvores de *Manilkara elata*, com $DAP \geq 45$, em toda área amostrada (300 hectares), e as densidades entre as seis populações estudadas, ou seja, entre as seis UPAs variaram de $1,82\ ind\ ha^{-1}$ a $3,48\ ind\ ha^{-1}$ (Tabela 4). A distância entre as populações com menor e maior número de árvores por hectare é de, aproximadamente, 22,4 km e a entre as duas populações com as maiores densidades (4 e $8\ ind\ ha^{-1}$) é de, aproximadamente, 10,7 km (Tabela 1).

As duas populações com maior densidade de árvores, ou seja, UPA 4 e 8, apresentaram maior concentração de árvores na segunda classe de diâmetro (55-64,9 cm), com valores iguais a, respectivamente, $0,76$ e $0,78\ ind\ ha^{-1}$. O mesmo ocorreu para a UPA 6 e UPA 10.

Nas populações das UPAs 8, 4 e 13, cerca de 95% das árvores estão concentradas nas primeiras 7 classes de diâmetro, ou seja, até 114,9 cm. Nas UPAs 6, 7 e 10 existem classes diamétricas com ausência de árvores e a maior árvore foi encontrada na população da UPA 13, com 165,5 cm de diâmetro.

A espécie apresentou distribuição diamétrica normal à errática na maioria das

populações (Tabela 4). Ao analisar simultaneamente os resultados da estatística F, teste do erro médio e a correlação (Teste L&O), verificou-se que a estrutura diamétrica das populações de *Manilkara elata* não são iguais estatisticamente (Tabela 5).

Tabela 4. Distribuição diamétrica inicial das árvores de *Manilkara elata*, com DAP \geq 45 cm, em seis Unidades de Produção Anual (UPAs) em área de Floresta Ombrófila Densa Submontana, na Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.

Classes de diâmetro (cm)	UPA 4		UPA 6		UPA 7		UPA 8		UPA 10		UPA 13	
	ind	ind ha ⁻¹	ind	ind ha ⁻¹	ind	ind ha ⁻¹						
45-54,9	33	0,66	24	0,48	21	0,42	26	0,52	17	0,34	33	0,66
55-64,9	38	0,76	35	0,70	26	0,52	39	0,78	25	0,50	29	0,58
65-74,9	24	0,48	26	0,52	21	0,42	28	0,56	15	0,30	23	0,46
75-84,9	28	0,56	16	0,32	28	0,56	20	0,40	10	0,20	25	0,50
85-94,9	17	0,34	7	0,14	18	0,36	23	0,46	15	0,30	14	0,28
95-104,9	16	0,32	5	0,10	13	0,26	11	0,22	5	0,10	14	0,28
105-114,9	10	0,20	0	0,00	6	0,12	10	0,20	3	0,06	14	0,28
115-124,9	4	0,08	0	0,00	5	0,10	3	0,06	1	0,02	4	0,08
125-134,9	3	0,06	1	0,02	0	0,00	2	0,04	0	0,00	2	0,04
135+	1	0,02	0	0,00	2	0,04	2	0,04	0	0,00	3	0,06
Total	174	3,48	114	2,28	140	2,80	164	3,28	91	1,82	161	3,22

Tabela 5. Resultados do teste de L&O para comparação da estrutura diamétrica inicial das populações da espécie *Manilkara elata* nas seis Unidades de Produção Anual.

UPA	F(H ₀)					
	UPA 8	UPA 4	UPA 6	UPA 7	UPA 10	UPA 13
8	-	66,35*	2455,89*	7492,56*	36517,67*	580,5*
4		-	5099,08*	10921,12*	63540,36*	1736,37*
6			-	5675,90*	6542,11*	6837,58*
7				-	11838,95*	172,94*
10					-	6347,14*
13						-

* - significativo para nível de significância de 1%.

2.3.2 Estoque em volume de madeira em pé, total e por classe de diâmetro nas populações de *Manilkara elata*

O estoque inicial em volume de madeira das árvores com DAP ≥ 55 cm, nas seis áreas, variou de 15,4 m³ ha⁻¹ (UPA 4) a 7,1 m³ ha⁻¹ (UPA 10). *Manilkara elata* apresentou maior concentração em volume de madeira em pé nas classes 4 (75-84,9cm) e 5 (85-94,9 cm) de DAP, das UPAs 8, 4, 7 e 10. Por exemplo, 20% (2,9 m³ ha⁻¹) do volume total na UPA 7 estava concentrado na quarta classe de DAP (Figura 2). Na população da UPA 4, as classes 2 e 5 de DAP concentram, respectivamente, 13% (2,3 m³ ha⁻¹) e 13% do volume (2,2 m³ ha⁻¹), sendo que a primeira classe apresenta 38 árvores e a segunda 17 árvores (Tabela 4 e Figura 2).

O volume explorado nas Unidades de Produção Anual variou de 6,2 m³ ha⁻¹ (UPA 10) a 13,9 m³ ha⁻¹ (UPA 13). A maior intensidade de corte aplicada representou uma taxa de corte de 90% de todo o estoque de madeira em pé e ocorreu na UPA 13.

A área com menor densidade de árvores (UPA 10) foi submetida à uma taxa de corte de 87% (6,2 m³ ha⁻¹) e na área com maior densidade (UPA 4), a taxa de corte foi de 65% do volume (10 m³ ha⁻¹). As classes de DAP 2 (55 a 64,9 cm) e 3 (65 a 74,9 cm) foram as mais exploradas nas UPAs 4,6 e 7 (Figura 2).

O estoque em volume de madeira em pé na área não explorada (UPA 8) aumentou 2% ao longo do período de 11 anos de monitoramento, passando de 16 m³ ha⁻¹, em 2004, para 16,4 m³ ha⁻¹, em 2015. Os estoques em volume de madeira nas populações das UPAs 6, 7 e 10, que foram exploradas, aumentaram, respectivamente, em 21% (passando de 2,2

para $2,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), 19% (passando de $4,0$ para $4,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e 24% (passando de $1,7$ para $2,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), ao longo do período avaliado. No entanto, as populações das UPAs 4 e 10 apresentaram decréscimos de 7% (passando de $6,9$ para $6,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e 3% (passando de $2,8$ para $2,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) (Figura 2).

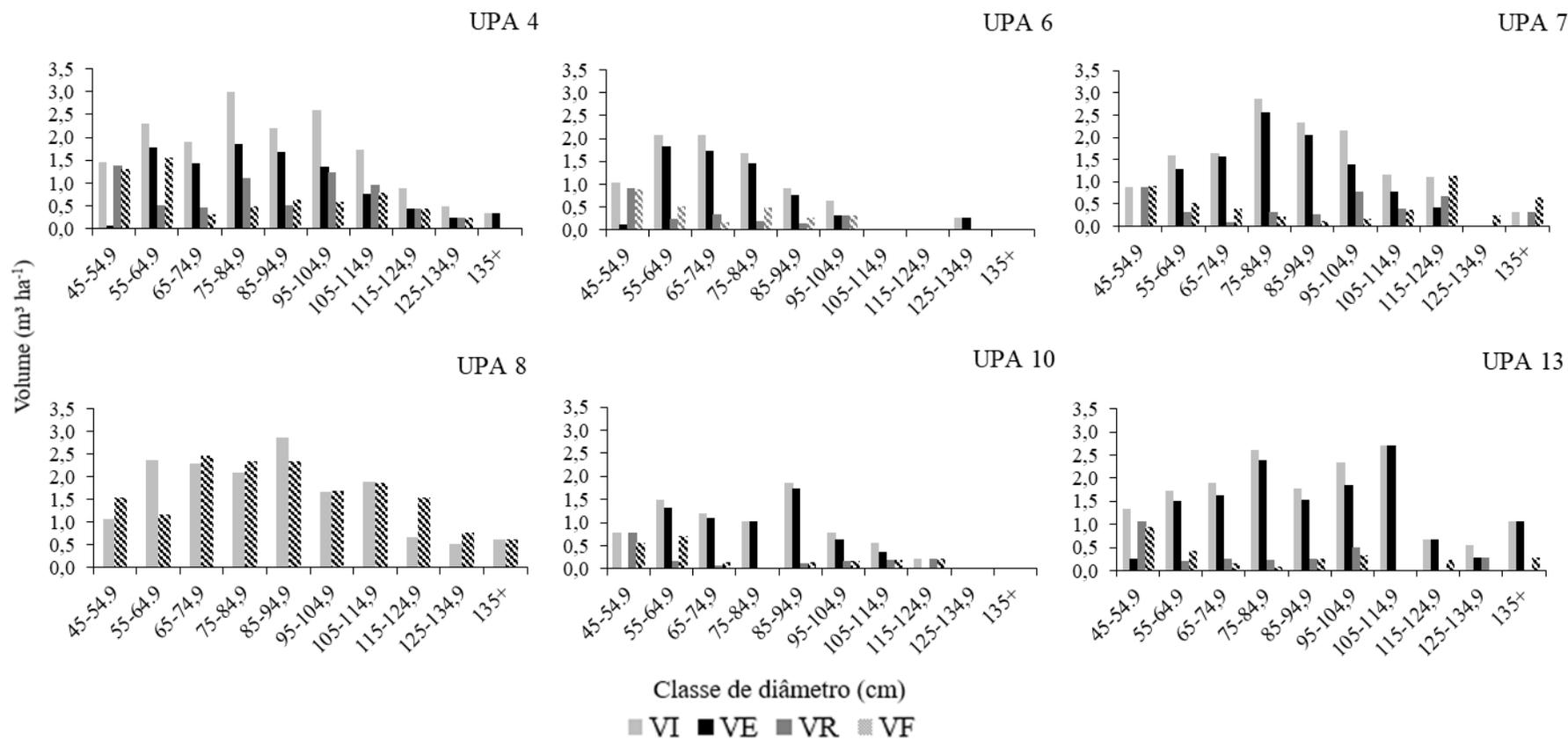


Figura 2. Distribuição do volume das árvores de *Manilkara elata*, com DAP \geq 45 cm, em seis Unidades de Produção Anual da Fazenda Rio Capim, em Paragominas, Pará, Brasil. Em que: VI= volume inicial (antes da exploração); VE= volume explorado; VR= volume remanescente imediatamente após a exploração e VF= volume no final do período monitorado.

2.3.3 Produtividade em volume de madeira em pé das populações de *Manilkara elata* durante o período monitorado

A produtividade líquida anual em volume de madeira em pé de *Manilkara elata* variou de $0,062 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na UPA 7 a $-0,036 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na UPA 4. Entre as Unidades de Produção Anual exploradas, as UPAs 4 e 13 apresentaram perda de produção ao longo do período de monitoramento (Tabela 6). De maneira geral, o ingresso de árvores foi o principal responsável pelo ganho de produtividade em volume de madeira em todas as populações. Apenas na UPA 7 o ganho em volume pelo incremento das árvores remanescentes foi maior, entretanto, a espécie apresentou balanço negativo entre os processos de ingresso e mortalidade. A perda pela mortalidade foi maior que os ganhos devido ao ingresso em 4 das 6 populações estudadas. Apenas nas UPAs 6 e 10, o balanço foi positivo para o ingresso (Tabela 6).

O volume acumulado na população não explorada (UPA 8) foi de $0,349 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ entre 2004 e 2015, ou uma produtividade anual de $0,032 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O incremento das árvores remanescentes ($0,172 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) foi o processo da dinâmica mais importante para o acúmulo de volume de madeira em pé ao longo dos 11 anos de monitoramento nesta área, enquanto o ganho de produtividade devido ao ingresso foi metade daquele produzido pelo incremento ($0,088 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Durante esse período, a mortalidade das árvores representou perda de $0,228 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Tabela 6).

Tabela 6. Incremento das árvores remanescente, ingresso, mortalidade e produtividade líquida de volume de madeira em pé de *Manilkara elata* para árvores com DAP ≥ 45 , em seis Unidades de Produção Anual de uma Floresta Ombrófila Densa Submontana, na Fazenda Rio Capim, Pará, Brasil.

UPA/UT	T (anos)	Variáveis da Dinâmica	Número de árvores	Volume (m ³ ha ⁻¹)	Volume (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)
4/4	14	Incremento	53	0,68	0,049
		Ingresso	30	1,33	0,095
		Mortalidade	24	2,51	0,179
		Produtividade	-	-	-0,036
6/81	13	Incremento	25	0,36	0,028
		Ingresso	16	0,68	0,052
		Mortalidade	10	0,58	0,045
		Produtividade	-	-	0,035
7/14	12	Incremento	35	0,80	0,067
		Ingresso	14	0,57	0,048
		Mortalidade	8	0,63	0,053
		Produtividade	-	-	0,062
8/8	11	Incremento	139	1,89	0,172
		Ingresso	23	0,97	0,088
		Mortalidade	25	2,51	0,228
		Produtividade	-	-	0,032
10/18	8	Incremento	21	0,23	0,029
		Ingresso	11	0,45	0,056
		Mortalidade	4	0,28	0,034
		Produtividade	-	-	0,050
13/5	5	Incremento	34	0,17	0,034
		Ingresso	6	0,28	0,056
		Mortalidade	8	0,52	0,104
		Produtividade	-	-	-0,014

Em que: T = Tempo de monitoramento (anos).

As variáveis da estrutura e da dinâmica foram correlacionadas com a produtividade líquida anual de volume de madeira em pé e a análise de componentes principais mostrou que os dois primeiros eixos da PCA (Dim1 e Dim2) explicaram 91% da variação dos dados (Figura 3). Observa-se que o volume acumulado devido ao ingresso de novas árvores (VIng) e principalmente o volume perdido devido à mortalidade (VMor) têm grande importância na variação do primeiro eixo da PCA, separando as populações

com produtividade negativa (UPAs 4 e 13) e a população não explorada das demais. O volume acumulado devido ao incremento das árvores remanescentes vivas (VInc) contribui para a variação do segundo eixo, separando as populações com produtividade positiva (UPAs 6, 7 e 10). Importante notar que a produtividade líquida anual em volume de madeira em pé (IPAvol) é inversamente proporcional com volume perdido devido à mortalidade de árvores (Figura 3).

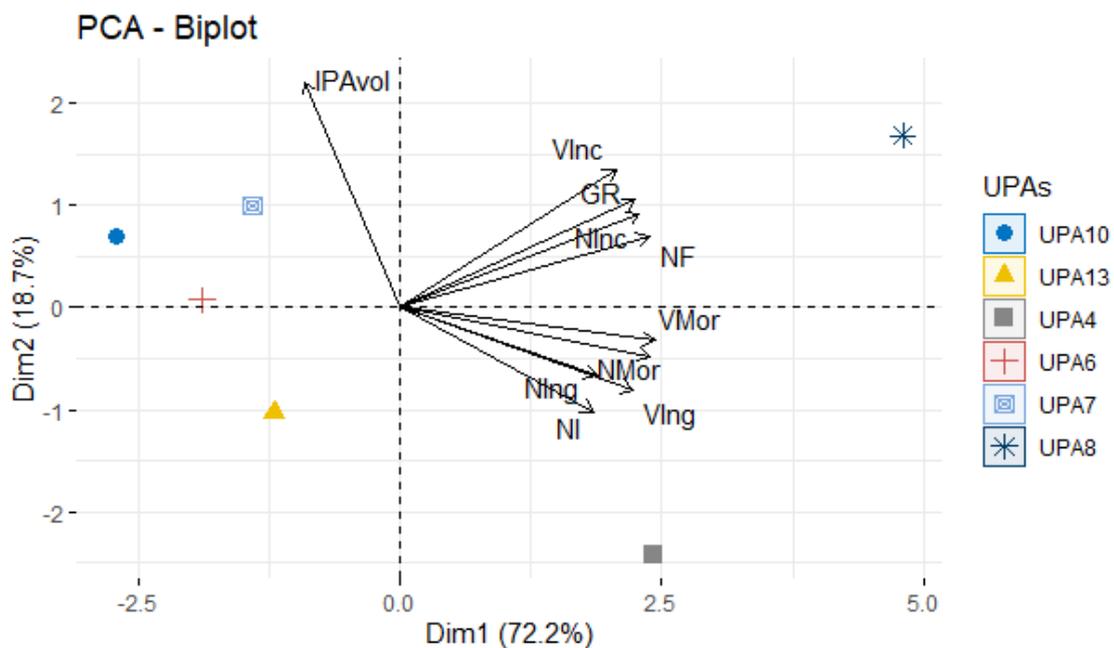


Figura 3. Análise de componentes principais (PCA) das variáveis de dinâmica em seis Unidades de Produção Anual da Fazenda Rio Capim, no Município de Paragominas, PA, Brasil. VIng = Volume total de madeira (m³), decorrente do ingresso de novas árvores; VInc = Volume total de madeira (m³), decorrente do incremento em diâmetro das árvores vivas, remanescentes da exploração; VMor = Volume total de madeira (m³), decorrente da mortalidade de árvores remanescentes da exploração; IPAvol = Incremento Periódico Anual em volume (IPAvol) ou Produtividade líquida anual de volume de madeira em pé (em m³ ha⁻¹ ano⁻¹); GR = Área basal das árvores vivas, remanescentes da exploração; NInc = Número de árvores vivas, remanescentes da exploração; NIng = Número de árvores ingressantes; NMor = Número de árvores mortas remanescentes da exploração; NI = Número de árvores iniciais (antes da exploração); NF = Número de árvores ao final do período de monitoramento.

2.3.4 Produtividade em volume de madeira em pé entre as classes de diâmetro das populações de *Manilkara elata*

A produtividade em volume de madeira em pé entre as classes diamétricas variou de $0,074 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Classe 2) na UPA 4 a $-0,109 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (Classe 2) na UPA 8. A primeira classe diamétrica (45-54,9 cm) apresentou produtividade negativa nas populações das UPAs 4, 6, 10 e 13. Isto ocorreu, principalmente, devido à mudança de árvores dessa classe para as classes subsequentes. Consequentemente, a segunda classe de DAP (55 a 64,9 cm) apresentou produtividade positiva em todas as populações exploradas, devido principalmente ao ingresso de árvores e ao incremento das árvores provenientes da classe inferior (Figura 4).

O ganho em volume decorrente do incremento das árvores remanescentes da população não explorada que mudaram de classe foi maior (20%) na terceira classe de DAP (65-74,9 cm) e menor (4%) na segunda classe de DAP (55-64,9 cm). Já nas populações exploradas das UPAs 4, 6 e 10, a segunda classe diamétrica (55-64,9 cm) foi a que apresentou o maior ganho de volume devido ao incremento (Figura 4).

O incremento das árvores remanescentes que permaneceram na mesma classe de diâmetro foi maior na primeira classe (45-54,9 cm) para todas as populações exploradas, exceto a UPA 4, cujo maior incremento ocorreu na segunda classe (55-64,9 cm). Na população não explorada (UPA 8), árvores da quinta classe (85-94,9 cm) apresentaram as maiores taxas de incremento (Figura 4).

Na população não explorada, as árvores da quinta (85-94,9 cm) e sexta (95-104,9 cm) classes de DAP também foram as que mais contribuíram para a perda de volume por mortalidade, e juntas representaram 37% ($0,085 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) do volume perdido nesta área (Figura 4). Nas populações exploradas, estas mesmas classes de diâmetro foram as que mais contribuíram para perda em volume de madeira devido à mortalidade (Figura 4). Além disso, a população explorada com menor tempo de monitoramento (UPA 13) apresentou na primeira classe de DAP (45-54,9 cm), perda por mortalidade ($-0,038 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) maior que o ganho em volume por recrutamento e incremento ($0,032 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (Figura 4).

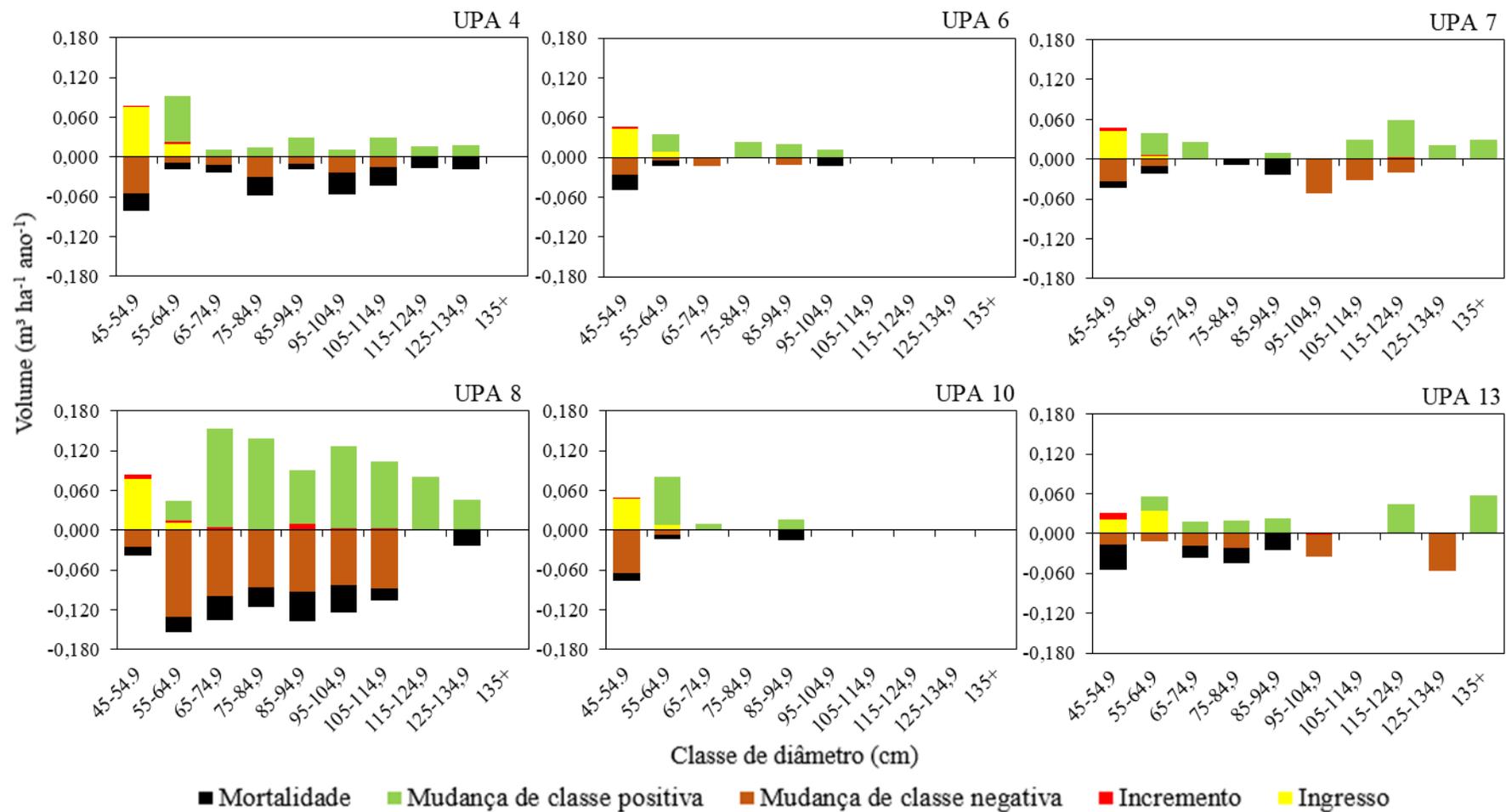


Figura 4. Dinâmica do volume de madeira ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) por classe de DAP nos diferentes processos da dinâmica em seis Unidades de Produção Anual da Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.

2.4 Discussão

Segundo Pitman (1999), a maioria das espécies arbóreas não é restrita a um único tipo de habitat ou floresta, embora algumas espécies apresentem preferência por determinados tipos de ecossistemas. A abundância de árvores da espécie *Manilkara elata* é amplamente variável ao longo da região amazônica (SONTAG, 2017; CASTRO; CARVALHO, 2014; VIEIRA et al., 2021). Além disso, o número de árvores por hectare também pode variar dentro da mesma floresta, devido as condições locais (PASCAL, 2003; POOTER et al., 1996). Os fatores edáficos, por exemplo, tipo de solo, posição topográfica e ângulo de inclinação, mostraram influência na abundância e distribuição de espécies em escalas regionais (CLARK et al., 1999; CLARK; CLARK, 2000).

A densidade de árvores de *Manilkara elata* registrada na área do presente estudo na Amazônia oriental (Tabela 4) está dentro da faixa de valores publicados na literatura para região amazônica, para as árvores com $DAP \geq 40$ cm (BARROS; BARROS; SILVA, 2000; CARVALHO, 1981; COSTA et al., 1998; COSTA et al., 2019; GAYOT; SIST, 2004; HIRAI et al., 2008; OLIVEIRA, 2000; SILVA et al., 1985; SONTAG, 2017). Por exemplo, na Amazônia ocidental (Amazonas e Rondônia) foram registradas as menores densidades para a espécie (0,02 e 0,04 ind ha^{-1} , respectivamente), considerando árvores com ≥ 40 cm (SONTAG, 2017). Já na Amazônia Central (Amazonas e Pará), o mesmo autor registrou densidade de, respectivamente, 0,54 e 3,94 ind ha^{-1} .

A densidade de uma mesma espécie pode variar significativamente em um determinado local (CLARK et al., 1998; SCHULZE et al., 2008). Por exemplo, na mesma área de estudo (Fazenda Rio Capim), Gayot e Sist (2004) e Hirai et al. (2008) registraram densidades diferentes, respectivamente, 1,8 e 0,7 ind ha^{-1} em duas áreas próximas. A área estudada por Hirai et al. (2008) está localizada a, aproximadamente, 28,6 km da área do presente estudo, e cerca de 80% da sua área apresenta topografia acidentada, com várias grotas.

Ferreira (2009) mostrou que a distribuição de árvores *Manilkara elata* estava associada a distância do rio e a declividade do terreno, sendo que as maiores densidades ocorreram em áreas mais altas e em terrenos mais úmidos. Ainda com relação à densidade, Sontag (2017) observou que a espécie *Manilkara elata* apresentou preferência por habitat, sendo que as maiores densidades ocorreram nos estados do Amazonas

(Floresta Ombrófila Densa Submontana com Dossel Emergente) e Pará (Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas com Dossel Emergente).

Segundo Schulze et al. (2008), a variação na densidade de espécies na mesma área (mesoescala) refletem associações de habitat. Estes autores mostraram que a espécie *Euxylophora paraensis* atingiu altas densidades apenas em terrenos baixos. Essa variação reforça ainda mais a importância que o manejo florestal seja por espécie e por local, pois a generalização de parâmetros de exploração para todas as espécies e locais pode comprometer a capacidade de recuperação das espécies.

Schulze et al. (2008) sugeriram que somente o conhecimento da densidade não é suficiente para avaliar a sustentabilidade do manejo florestal, sendo necessária uma compreensão da estrutura populacional em nível de espécie e local e dos processos de dinâmica, ou seja, taxa de crescimento, mortalidade e ingresso. Schulze et al. (2008) mostraram que embora a população comercial das espécies *Simarouba amara* e *Handroanthus serratifolia* em determinado local, ocorressem em densidades semelhantes, respectivamente, 7 e 6 árvores com DAP > 50 cm, em 100 hectares, a densidade de *Simarouba amara* na classe não comercial excedeu a de *Handroanthus serratifolia* em 9 árvores. Braz et al. (2012) também concluíram sobre a importância de se considerar a distribuição diamétrica remanescente para avaliação da recuperação do estoque de madeira no ciclo considerado, pois, segundo estes autores, apenas as informações de incremento não são suficientes.

Schulze et al. (2008) também consideram que conhecer a distribuição das árvores por classe diamétrica antes da exploração é o fator mais importante na determinação da recuperação após a exploração. Portanto, no planejamento da exploração florestal, a estrutura diamétrica deve ser considerada para determinar o estoque de madeira a ser explorado e para estimar a produção futura (BILA et al., 2018; CARVALHO, 1981; REIS et al., 2014).

A estrutura diamétrica de uma floresta tropical apresenta tendência ao padrão exponencial negativo (J-invertido) (CARVALHO, 1981; COSTA et al., 2019; DALLA LANA et al., 2013; PASCAL, 2003; SOUZA; SOARES, 2013). Por outro lado, a análise das distribuições diamétricas de cada espécie arbórea em uma floresta tropical mostra que elas não apresentam o mesmo comportamento (CARVALHO, 1981; PUIG, 2008). A estrutura populacional de algumas espécies pode variar de local para local (BRAZ et al.,

2015a; POOTER et al., 1996), como mostrado por Braz et al. (2015a) para espécie *Cedrela odorata*, que apresentou distribuição diamétrica diferente nos três locais avaliados e por Grogan et al. (2008), para *Swietenia macrophylla*.

A espécie *Manilkara elata* apresentou diferenças na sua estrutura diamétrica em alguns locais na Amazônia. Em uma área de manejo florestal no Amapá, por exemplo, Costa et al. (2019) mostraram que a estrutura desta espécie seguiu tendência ao padrão de J-invertido. Em Moju, no Pará, Reis et al. (2014) observaram o mesmo comportamento, porém, Braz et al. (2015b), Cunha et al. (2012), Hirai et al. (2008), Oliveira (2020) e Vieira et al. (2021), encontraram curvas de distribuição de densidade de árvores tendendo à normalidade, ou seja, a espécie apresentou baixa concentração de árvores nas primeiras classes de diâmetro e alta concentração nas classes intermediárias, com redução das árvores nas maiores classes diamétricas. A variação da distribuição dos indivíduos em classes de diâmetro pode ser atribuída à variação ambiental (MWAVU; WITKOWSKI, 2009; WRIGHT et al., 2003), mas segundo Condit et al. (1998) também é afetada por variáveis demográficas. Braz et al. (2015b) também observaram variação na distribuição de árvores de *M. elata* em três áreas de manejo florestal no Estado do Acre e descreveram que estas diferenças podem estar relacionadas ao sítio mais adequado para o seu desenvolvimento. As curvas de distribuição diamétrica também podem diferir em escala local (GAYOT; SIST, 2004), como mostrado no presente estudo.

Os diversos estudos relatados na literatura e os resultados do presente estudo mostram que a estrutura diamétrica da espécie *Manilkara elata* apresenta variação na região amazônica e em escala local. Pooter et al. (1996) sugere que os critérios de exploração devem ser baseados em estudos específicos de cada local e não em informações gerais para uma espécie. Braz et al. (2015a) também ressaltaram a importância de não generalizar as normas de manejo para cada espécie, pois esta não apresenta apenas um tipo de estrutura. Assim, é necessário considerar os diferentes estoques da espécie em diferentes locais.

Diversos estudos realizados na região amazônica mostram que a produtividade em volume de madeira em pé pode variar de 0,09 a 7,75 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (ALDER; SILVA, 2001; COSTA et al., 2008; d'OLIVEIRA; BRAZ, 2006; HIGUCHI et al., 1997; MACHADO, 2021; OLIVEIRA, 2005; REIS et al., 2010; SILVA et al., 1995, 1996, 1999; SOUZA et al, 2017; TEIXEIRA et al., 2007; VALLE et al., 2006; VIDAL, 2004;

VIDAL et al., 2016).

Os resultados obtidos em Silva et al. (1995) forneceram as primeiras informações sobre produtividade na Amazônia. Esse e outros estudos citados anteriormente foram a base para determinação da estimativa de uma produtividade anual de referência, sendo igual a $0,86 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para as florestas que utilizam máquinas para o arraste de toras (BRASIL, 2009). Variações na produtividade volumétrica estão relacionadas a diferenças marcantes na estrutura diamétrica, intensidade de corte aplicada, período de monitoramento, diâmetro mínimo de medição e grupo de espécies considerados (BRASIL, 2009; BRAZ et al., 2012; VALLE et al., 2006).

As UPAs 4 e 13 apresentaram produtividade negativa devido à mortalidade de árvores. Contudo, é importante ressaltar que o período de monitoramento entre as duas áreas é bem diferente. O período de monitoramento observado na UPA 13 pode ter sido curto para o ganho de volume de madeira em relação a UPA 4. Além disso, após a exploração florestal a mortalidade é alta devido os impactos ocasionados na estrutura da floresta. Conforme observado por Oliveira (2005), a produtividade volumétrica é altamente influenciada pela mortalidade.

O balanço entre o ingresso de novas árvores e a mortalidade foi positivo apenas nas UPAs 6 e 10 e isso aconteceu devido ao menor número de árvores mortas de grande porte. O ingresso e a mortalidade foram semelhantes nas UPAs 4 e 8. A UPA 4 foi a área explorada que apresentou a menor intensidade de corte em número de árvores e volume e, conseqüentemente, mais árvores de grande porte permaneceram na área. Dessa forma, a mortalidade de árvores nas duas áreas foi semelhante devido a mortalidade de árvores de grande porte. Por exemplo, três árvores da sexta classe de diâmetro (95 a 104,9 cm) morreram nessas áreas. A quinta (85 a 94,9 cm) e sexta classe de diâmetro (95 a 104,9 cm) foram as que mais contribuíram para perda de volume por mortalidade em todas as áreas exploradas e na área não explorada.

A perda de volume devido à morte de árvores de grande porte observada neste estudo também foi relatada por outros estudos em florestas tropicais (COSTA et al., 2008; d'OLIVEIRA; BRAZ, 2006; d'OLIVEIRA et al., 2017; SILVA et al., 1996; SIST et al., 2014). É importante ressaltar que no presente estudo não foi possível quantificar as perdas de volume devido à mortalidade atribuída somente aos impactos da exploração madeireira ou devido a causas naturais.

Aleixo et al. (2019) mostraram que durante os períodos de secas e os eventos climáticos, como o El-Niño e La-Niña, a mortalidade de árvores na floresta amazônica aumentou. Vidal et al. (2016) observaram que cerca de 4% das perdas de volume devido à mortalidade de espécies comerciais entre os anos de 2009 e 2014 resultaram da seca que ocorreu no ano de 2010. Além disso, Phillips et al. (2010) observaram que as árvores velhas (≥ 40 cm) eram mais suscetíveis à seca do que as árvores menores.

Erdmann (2019) relatou que as árvores da classe diamétrica de 30 a 50 cm da espécie *Manilkara elata* foram as mais sensíveis ao El-Niño e apresentaram redução no incremento em volume durante o período de estiagem entre os anos de 2005 e 2006. Em anos de El-Niño, o número de árvores mortas aumenta, entretanto, a maioria das árvores mortas permanece em pé e de forma gradativa vão se decompondo. Por outro lado, durante o período de La-Niña, as árvores saudáveis são derrubadas pelo efeito dominó da queda de uma árvore grande e as mais vulneráveis são derrubadas pela ação do vento (ROCHA et al., 2003). Segundo Aleixo et al. (2019), mesmo que o estresse hídrico, doenças, patógenos ou senescência sejam a causa primária da morte de algumas árvores, o vento é um fator importante que determina o momento da morte.

Segundo Chazdon (2016), em geral, os distúrbios causados por forças da natureza e os causados por atividades humanas ocorrem de forma simultânea, o que dificulta atribuir as respostas da vegetação a um determinado distúrbio. De acordo com d'Oliveira et al. (2017) tanto as florestas exploradas quanto as não exploradas estarão submetidas a mudanças na estrutura ao longo do tempo.

No presente estudo, o período de monitoramento das UPAs 6 e 7, que foram exploradas, foi, de 13 e 12 anos, respectivamente, mas as perdas em volume de madeira por mortalidade e o ganho pelo ingresso de novas árvores foram semelhantes. Contudo, o ganho pelo incremento na UPA 7 foi o dobro do observado na UPA 6.

Assim, a produtividade volumétrica foi maior na UPA 7. Esta resposta pode ser devido ao fato de que nessa UPA a relação entre o estoque de árvores antes e após a exploração permitiu a manutenção de classes bem estocadas e produtivas. Segundo Reis et al. (2010), a exploração muito pesada diminui a capacidade do incremento em volume devido à deterioração da estrutura remanescente na primeira exploração, ou seja, não foi realizada uma análise da quantidade de volume que poderia ser explorada de maneira sustentável. Braz et al. (2015a) concluíram que a sustentabilidade da produção madeireira

depende de planejamento.

Nos planos de manejo da região amazônica é aplicado o sistema silvicultural policíclico, portanto, a produção futura já está na floresta (LUNDQVIST, 2017). Assim, a produtividade volumétrica de uma floresta submetida à exploração florestal não depende apenas do ritmo de crescimento das espécies, mas também da distribuição das árvores remanescente nas classes de DAP comerciais destas espécies e abaixo do diâmetro mínimo de corte (DMC) (BRAZ et al., 2012; DAUBER et al., 2005).

A produtividade de volume de madeira em pé é bastante dependente do estoque de madeira remanescente (BRAZ et al., 2014). Braz et al. (2018) mostraram que estruturas remanescentes diferentes produzem produtividades volumétricas diferentes. Braz et al. (2012) observaram que a realização de um planejamento da exploração no primeiro ciclo de corte, de acordo com a estrutura remanescente resultará em maior produtividade. Dessa forma, somente uma estrutura planejada pode produzir melhor incremento.

De maneira geral, o ingresso de árvores foi o principal responsável pelo ganho de produtividade nas áreas exploradas, exceto na área 7. Essa resposta pode ser atribuída ao pouco estoque que permaneceu nas áreas após a exploração florestal. Por exemplo, o incremento pode ter contribuído mais para o ganho de volume na Unidade de Produção Anual 7 devido a menor intensidade de corte na segunda classe de DAP (55 a 64,9 cm). Na área não explorada (UPA 8), a terceira classe de DAP (65 a 74,9 cm) foi a que apresentou o maior ganho de volume devido à mudança de classe. Assim, a segunda classe de diâmetro (55 a 64,9 cm) foi a que apresentou maior crescimento. Braz et al. (2015b) também observaram que para espécie *Manilkara sp.*, a segunda classe de diâmetro (55 e 65 cm) foi a que mais produziu volume. Em um estudo realizado na Guiana Francesa, Hérault et al. (2011) observaram que a maioria das espécies avaliadas atingiram seu crescimento máximo em classes de tamanho intermediário.

Na África, Groenendijk, Bongers e Zuidema (2017) observaram que o aumento da produtividade resultou do maior número de árvores que permaneceu após a primeira exploração. Na Amazônia, Costa et al. (2008) e Machado (2021) também observaram que o maior número de árvores das classes de maior diâmetro (> 40 cm) resultaria em maior produtividade. Por essa razão, Braz et al. (2018) e Canetti et al. (2021) mostraram que é essencial determinar a classe diamétrica que proporciona a maior produção de madeira para cada espécie. Braz et al. (2018) mostraram que a espécie *Mezilaurus itauba*

apresentou aumento de produtividade ao manter estruturas que favoreciam as classes diamétricas produtivas. Segundo Braz et al. (2012), as árvores das classes comerciais remanescentes são responsáveis por 81% da produção acumulada anualmente. Dessa forma, Andrade et al. (2019), Canetti et al. (2021) e Groenendijk, Bongers e Zuidema (2017) concluíram que a definição de um diâmetro mínimo de corte (DMC) específico para cada espécie comercial pode aumentar de forma significativa a produtividade volumétrica.

2.5 Conclusões

- A intensidade de corte, a estrutura diamétrica e o período de monitoramento influenciam na produtividade em volume de madeira em pé da espécie *Manilkara elata*.

- O ingresso é o processo dinâmico que mais contribui para o ganho em volume de áreas exploradas da espécie.

- Em área não explorada, o incremento em volume de árvores remanescentes é o principal responsável pelo ganho em produtividade.

- A mortalidade de árvores de grande porte influência de forma significativa na perda de produtividade.

- O planejamento do manejo florestal deve ser baseado em estudos específicos de cada local e não em informações gerais para uma espécie, ou seja, é necessário considerar os diferentes estoques da espécie em diferentes locais.

REFERÊNCIAS

ALDER, D.; SILVA, J. N. M. Sustentabilidade da produção volumétrica: um estudo de caso na Floresta nacional de Tapajós com auxílio do modelo de crescimento. CAFOGROM. In: SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P. de; YARED, J. A. C. (Eds.). **A silvicultura na Amazônia Oriental: contribuições do projeto Embrapa-DFID**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental: DFID, 2001. p. 325-337.

ALEIXO, I.; NORRIS, D.; HEMERIK, L.; BARBOSA, A. et al. Amazonian rainforest tree mortality driven by climate and functional traits. **Nature Climate Change**, v. 9, n. 5, p. 384-388, 2019.

ANDRADE, V. H. F.; MACHADO, S. D.; FIGUEIREDO, A.; BOTOSSO, P. C. et al. Growth models for two commercial tree species in upland forests of the Southern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 438, p. 215-223, 2019.

AZEVEDO, N. C. R.; KANASHIRO, M.; CIAMPI, A. Y.; GRATTAPAGLIA, D. Genetic structure and mating system of *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev., a heavily logged Amazonian timber species. **Journal of Heredity**, v. 98, n. 7, p. 646-654, 2007.

BARROS, A. V.; BARROS, P. C. L.; SILVA, L. C. B. Análise fitossociológica de uma floresta situada em Curuá-Una, Pará. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 34, p. 9-36, 2000.

BILA, J. M.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; DE FREITAS, L. J. M. Distribuição diamétrica e principais espécies arbóreas presentes nos ecossistemas de Miombo, Mopane e Mécusse em Moçambique. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p. 1-7, 2018.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 406, de 02 de fevereiro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 dez. 2009. Seção 1, p. 100

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Instrução Normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 dez. 2006. Seção 1, p. 155

BRAZ, E. M.; CANETTI, A.; MATTOS, P. P.; BASSO, R. O. et al. Alternative criteria to achieve sustainable management of *Mezilaurus itauba* in the Brazilian Amazon. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, p.1-8, 2018.

BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; OLIVEIRA, M. F.; BASSO, R. O. Strategies for achieving sustainable logging rate in the Brazilian Amazon Forest. **Open Journal of Forestry**, v. 4, n. 2, p. 100-105, 2014.

BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; THAINES, F.; DE MADRON, L. D. et al. Criteria to be considered to achieve a sustainable second cycle in Amazon Forest. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 209-225, 2015.

BRAZ, E. M.; MATTOS, P.P.; CANETTI, A.; THAINES, F. et al. Planejamento do segundo ciclo de *Manilkara huberi* (Ducke) Standl. no estado do Acre. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 6., 2015, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, p. 453- 462, 2015.

BRAZ, E. M.; SCHNEIDER, P. R.; MATTOS, P. P. D.; THAINES, F. et al. Manejo da estrutura diamétrica remanescente de florestas tropicais. **Ciência florestal**, v. 22, n. 4, p. 787-794, 2012.

CANETTI, A.; BRAZ, E. M.; DE MATTOS, P. P.; BASSO, R. O. et al. A new approach to maximize the wood production in the sustainable management of Amazon Forest. **Annals of Forest Science**, v.78, n. 3, 2021.

CAPANEMA, V. P.; ESCADA, M. I. S.; ANDRADE, P. R.; LANDINI, L. G. Assessing logging legislation parameters and forest growth dissimilarities in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, 513, 2022.

CARVALHO, J. O. P. **Distribuição diamétrica de espécies comerciais e potenciais em Floresta Tropical Úmida natural na Amazônia.** Boletim de Pesquisa, Belém, Embrapa-CPATU, 1981.

CASTRO, T. C.; CARVALHO, J. O. P. Dinâmica da população de *Manilkara huberi* (ducke) a. Chev. durante 26 anos após a exploração florestal em uma área de terra firme na Amazônia brasileira. **Ciência Florestal**, 24, n. 1, p. 161-169, 2014.

CHAZDON, R. L. **Renascimento de florestas: regeneração na era do desmatamento.** São Paulo: Oficina de Textos, 430 pp., 2016.

CIKEL. **Plano de Manejo Florestal Sustentável Empresarial.** 2011

CLARK, D. B.; CLARK, D. A. Landscape-scale variation in forest structure and biomass in a tropical rain forest. **Forest Ecology and Management**, v. 137, n. 1-3, p. 185-198, 2000.

CLARK, D. B.; CLARK, D. A.; READ, J. M. Edaphic variation and the mesoscale distribution of tree species in a neotropical rain forest. **Journal of Ecology**, v. 86, n. 1, p. 101-112, 1998.

CLARK, D. B.; PALMER, M. W.; CLARK, D. A. Edaphic factors and the landscape-scale distributions of tropical rain forest trees. **Ecology**, v. 80, n. 8, p. 2662-2675, 1999.

CONDIT, R.; SUKUMAR, R.; HUBBELL, S. P.; FOSTER, R. B. Predicting population trends from size distributions: A direct test in a tropical tree community. **American Naturalist**, v. 152, n. 4, p. 495-509, 1998.

COSTA, D. H. M.; FERREIRA, C. A. P.; SILVA, J. N. M.; LOPES, J. C. A.; CARVALHO, J. O. P. **Potencial madeireiro de floresta densa no município de Moju, estado do Pará.** Belém: EMBRAPA-CPATU, 1998. 33p. (Documentos, 121).

COSTA, D. H. M.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P. Crescimento de árvores em uma área de terra firme na floresta nacional do tapajós após a colheita de madeira. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 50, p. 63-76, 2008.

COSTA, S. N. D.; RABELO, F. G.; LIMA, R. B. D.; SILVA, D. A. S. D. et al. Estrutura populacional de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. e *Dinizia excelsa* Ducke em floresta de terra firme no amapá. **Nativa**, v. 7, n. 4, p. 445-451, 2019.

CUNHA, U. S. D.; MACHADO, S. D. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; FREITAS, J. V. Diameter structure and phytosociological frequency of a 'Terra Firme' amazon forest, before and after selective cutting. **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 293-304, 2012.

DALLA LANA, M.; LINS E SILVA BRANDÃO, C. F.; PÉLLICO NETTO, S.; MARANGON, L. C. et al. Distribuição diamétrica de *Eschweilera ovata* em um fragmento de floresta ombrófila densa - Igarassu, PE. **Floresta**, 43, n. 1, p. 59, 2013.

DAUBER, E.; FREDERICKSEN, T. S.; PENA-CLAROS, M. Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. **Forest Ecology and Management**, v. 214, n. 1-3, p. 294-304, 2005.

D'OLIVEIRA, M. V. N.; BRAZ, E. M. Estudo da dinâmica da floresta manejada no projeto de manejo florestal comunitário do PC Pedro Peixoto na Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 2, p. 177-182, 2006.

D'OLIVEIRA, M. V. N.; OLIVEIRA, L. C.; ACUÑA, M. H. A.; BRAZ, E. M. Twenty years monitoring growth dynamics of a logged tropical forest in Western Amazon. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 92, p. 493-502, 2017.

ERDMANN, A. A. **Fatores que influenciam a dinâmica florestal após exploração de madeira na Amazônia brasileira**. 2019. 194 f. Tese (Doutorado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2019.

FINGER, C. A. G. **Fundamentos de biometria florestal**. Santa Maria, RS: UFSM, Centro de Pesquisas Florestais. 2006

FERREIRA, G. C. **Modelagem ambiental de espécies de árvores no Vale do Jari, Monte Dourado, Pará usando dados de inventário florestal**. 2009. 181 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro/Escola Nacional de Botânica Tropical, 2009.

GAYOT, M.; SIST, P. Vulnérabilité des espèces de maçaranduba face à l'exploitation en Amazonie brésilienne: nouvelles normes d'exploitation à définir. **Revue Bois et Forêts des Tropiques**, Nogent-Zur-Marne, v. 58, n. 208, p. 75-90, 2004.

GRAYBILL, F. A. **Theory and Application of the Linear Model**; Duxbury Press: Belmont, CA, 1976.

GROENENDIJK, P.; BONGERS, F.; ZUIDEMA, P. A. Using tree-ring data to improve timber-yield projections for African wet tropical forest tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 400, p. 396-407, 2017.

GROGAN, J.; JENNINGS, S. B.; LANDIS, R. M.; SCHULZE, M. et al. What loggers leave behind: Impacts on big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla*) commercial populations and potential for post-logging recovery in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 255, n. 2, p. 269-281, 2008.

HERAULT, B.; BACHELOT, B.; POORTER, L.; ROSSI, V. et al. Functional traits shape ontogenetic growth trajectories of rain forest tree species. **Journal of Ecology**, v. 99, n. 6, p. 1431-1440, 2011.

HERRERO-JAUREGUI, C.; SIST, P.; CASADO, M. A. Population structure of two low-density neotropical tree species under different management systems. **Forest Ecology and Management**, v. 280, p. 31-39, 2012.

HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; FREITAS, J. V.; VIEIRA, G.; COIC, A. R.; MINETTE, L. J. 1997. **Crescimento e Incremento de uma Floresta Amazônica de Terra Firme Manejada Experimentalmente**. In: Biomassa de Nutrientes Florestais. INPA/DFID, pg. 89-131.

HIRAI, E. H.; CARVALHO, J. O. P.; PINHEIRO, K. A. O. Estrutura da população de maçaranduba (*Manilkara huberi* Standley) em 84 ha de floresta natural na fazenda Rio Capim, Paragominas, PA. **Revista Ciências Agrárias**, n. 49, p. 65-76, 2008.

ITTO - INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Tropical Timber Market Report**. 2022 (ITTO TTM Report, v. 26, n. 4).

KLIMAS, C. A.; KAINER, K. A.; WADT, L. H. O. Population structure of *Carapa guianensis* in two forest types in the southwestern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 250, n. 3, p. 256-265, 2007.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. H. T. Statistical procedure to test identity between analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 33, n. 7-8, p. 1105-1118, 2002.

LUNDQVIST, L. Tamm Review: Selection system reduces long-term volume growth in Fennoscandic uneven-aged Norway spruce forests. **Forest Ecology and Management**, v. 391, p. 362-375, 2017.

MACHADO, H. B. **Caracterização do potencial madeireiro de uma floresta intensamente explorada no sudeste paraense**. 2021. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021.

MAZZEI, L.; RUSCHEL, A., 2014, Estoque comercial para o segundo ciclo de corte na Floresta Nacional do Tapajós-área experimental KM 67-Embrapa. **Anais do II Seminário de Pesquisa Científica da Floresta Nacional do Tapajós**. 161-166.

MWAVU, E. N.; WITKOWSKI, E. T. F. Population structure and regeneration of multiple-use tree species in a semi-deciduous African tropical rainforest: Implications for primate conservation. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 5, p. 840-849, 2009.

NOGUEIRA, M. M.; VIEIRA, V.; SOUZA, A.; LENTINI, M. W. **Manejo de florestas naturais da Amazônia: corte, traçamento e segurança**. Belém, PA: Instituto Floresta Tropical, 2011.

OLIVEIRA, L. C. d. **Efeito da Exploração da Madeira e de Diferentes Intensidades de Desbaste sobre a Dinâmica da Vegetação de uma área de 136 ha na Floresta Nacional do Tapajós.** 183 f. 2005. Tese (Doutorado) - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

OLIVEIRA, M. F. **Modelagem do crescimento da estrutura diamétrica para determinação e do diâmetro das espécies madeireiras da floresta amazônica.** 2020. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

PASCAL, J. P. Notions sur les structure et dynamique des forêts tropicales humides. **Revue forestière française**, v. 55, n. sp, p. 118-130, 2003.

PHILLIPS, O. L.; VAN DER HEIJDEN, G.; LEWIS, S. L.; LOPEZ-GONZALEZ, G. et al. Drought-mortality relationships for tropical forests. **New Phytologist**, v. 187, n. 3, p. 631-646, 2010.

PITMAN, N. C. A.; TERBORGH, J.; SILMAN, M. R.; NUEZ, P. Tree species distributions in an upper Amazonian Forest. **Ecology**, v. 80, n. 8, p. 2651-2661, 1999.

POORTER, L.; BONGERS, F.; VANROMPAEY, R.; DEKLERK, M. Regeneration of canopy tree species at five sites in West African moist forest. **Forest Ecology and Management**, v. 84, n. 1-3, p. 61-69, 1996.

PUIG, H. **A floresta tropical úmida.** São Paulo: Editora UNESP: Imprensa Oficial de São Paulo; França: Institut de Recherche pour le Développement, 2008. 496 p.

REIS, L. P.; RUSCHEL, A. R.; COELHO, A. A.; LUZ, A. S. D. et al. Avaliação do potencial madeireiro na Floresta Nacional do Tapajós após 28 anos da exploração florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 265-281, 2010.

REIS, L. P.; RUSCHEL, A. R.; SILVA, J. N. M.; REIS, P. C. M.; CARVALHO, J. O. P.; SOARES, M. H. M. Dinâmica da distribuição diamétrica de algumas espécies de Sapotaceae após exploração florestal na Amazônia Oriental. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 3, p. 234-243, 2014.

ROCHA, R. M.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; NAKAMURA, S.; SILVA, R. P.; PINTO, A. C. M.; TRIBUZY, E. S. Taxas de recrutamento e mortalidade e mudanças de estoques de fitomassa da floresta primária na região de Manaus-AM. **Projeto Jacarandá Fase II: Pesquisas Florestais na Amazônia Central.**, p. 43-54, 2003.

SCHULZE, M.; GROGAN, J.; LANDIS, R. M.; VIDAL, E. How rare is too rare to harvest? Management challenges posed by timber species occurring at low densities in the Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 7, p. 1443-1457, 2008.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. C. A.; OLIVEIRA, R. P.; OLIVEIRA, L. C. Growth and yield studies in the Tapajós region, Central Brazilian Amazon. **The Commonwealth Forestry Review**, v. 75, p. 325-329, 1996.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J.O.P.; LOPES, J.C.A. Um sistema silvicultural policíclico para produção sustentada de madeira na Amazônia brasileira. In: Simpósio **Silvicultural na Amazônia Oriental: contribuições do projeto Embrapa/DFID**, 1999, Belém, PA. Resumos expandidos. Belém: CPATU: DFID, 1999, p.304 (Embrapa – CPATU. Documentos, 123).

SILVA, J. N. M.; DE CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. do. **Inventário florestal de uma área experimental na Floresta Nacional do Tapajós**. 1985.

SILVA, J. N. M.; DECARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. D. A.; DEALMEIDA, B. F. et al. Growth and yield of a tropical rain-forest in the Brazilian amazon 13 years after logging. **Forest Ecology and Management**, v. 71, n. 3, p. 267-274, 1995.

SIST, P.; MAZZEI, L.; BLANC, L.; RUTISHAUSER, E. Large trees as key elements of carbon storage and dynamics after selective logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 318, p. 103-109, 2014.

SONTAG, V. E. **Alterações na legislação brasileira de manejo florestal e seus efeitos na distribuição espacial e polinização de espécies madeireiras amazônicas**. 2017. 75f. Dissertação (Mestrado) - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2017.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Floresta nativas: estrutura, dinâmica e manejo**. Viçosa, MG: 2013. 322 p.

SOUZA, M. S. D.; AZEVEDO, C. P. D.; SOUZA, C. R. D.; FRANÇA, M. et al. Dinâmica e produção de uma floresta sob regime de manejo sustentável na Amazônia central. **Floresta**, v. 47, n. 1, p. 55, 2017.

TEIXEIRA, L. M.; CHAMBERS, J. Q.; SILVA, A. R. E.; LIMA, A. J. N. et al. Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra-firme, região de Manaus-AM, com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov. **Acta amazonica**, v. 37, n. 3, 2007.

TICKTIN, T. The ecological implications of harvesting non-timber forest products. **Journal of Applied Ecology**, v. 41, n. 1, p. 11-21, 2004.

VALLE, D.; SCHULZE, M.; VIDAL, E.; GROGAN, J. et al. Identifying bias in stand-level growth and yield estimations: A case study in eastern Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 236, n. 2-3, p. 127-135, Dec 2006. Review.

VIDAL, E. **Dinâmica de florestas manejadas e sob exploração convencional na Amazônia Oriental**. 2004. 171f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos.

VIDAL, E.; WEST, T. A. P.; PUTZ, F. E. Recovery of biomass and merchantable timber volumes twenty years after conventional and reduced-impact logging in Amazonian Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 376, p. 1-8, 2016.

VIEIRA, D. D.; GOMES, K. M. A.; DOS SANTOS, L. E.; DE OLIVEIRA, M. L. R. et al. Diametric and spatial structure of wood species of economic importance in the Amazon. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 129, p. 15, 2021.

WRIGHT, S. J.; MULLER-LANDAU, H. C.; CONDIT, R.; HUBBELL, S. P. Gap-dependent recruitment, realized vital rates, and size distributions of tropical trees. **Ecology**, v. 84, n. 12, p. 3174-3185, 2003.

CAPÍTULO II

PROGNOSE DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA E DA PRODUTIVIDADE ANUAL DE *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach (MAÇARANDUBA) NA AMAZÔNIA ORIENTAL



3. CAPÍTULO II

PROGNOSE DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA E DA PRODUTIVIDADE ANUAL DE *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach (MAÇARANDUBA) NA AMAZÔNIA ORIENTAL

Resumo: Um dos temas chave para a sustentabilidade do manejo florestal é a regulação da produção. O planejamento da produção do primeiro ciclo de corte deve se basear em informações atuais e futuras das populações das espécies comerciais. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estimar a produtividade anual de madeira em pé (incremento em volume) da *Manilkara elata* (maçaranduba) em diferentes combinações de cenários de intensidade e ciclos de corte. Empregando-se matrizes de transição, analisamos como a produtividade pode subsidiar estratégias de manejo da espécie. A estimativa da produtividade foi realizada em duas áreas, sendo a primeira uma área de floresta natural não explorada e a outra uma área que foi submetida à exploração florestal. Para estimar a produtividade anual foram consideradas a estrutura diamétrica inicial e a matriz de transição de árvores de cada população. Entre os cenários de corte que assumem a exploração de todas as árvores a partir de um determinado DAP, o cenário de corte 3 ($DAP \geq 80$ cm) em um ciclo de corte de 33 anos foi o que apresentou maior produtividade: $0,124 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A remoção de todo volume comercial disponível produziu menos volume para o segundo ciclo de corte. O aumento do ciclo de corte para 44 ou 55 anos resultou em maior produção ao final do ciclo, porém a produtividade anual diminuiu. A manutenção de maior nível de estoque em crescimento nas classes diamétricas com maior incremento maximizam a produtividade volumétrica, ou seja, o incremento em volume é dependente do estoque de árvores remanescente das classes mais produtivas.

Palavras-chave: Estoque em crescimento; ciclo de corte; incremento volumétrico; diâmetro mínimo de corte.

3.1 Introdução

Cerca de 1,15 bilhão de hectares de florestas do mundo são destinados para produção de produtos florestais madeireiros e não madeireiros (FAO, 2020). A Floresta Amazônica é a maior floresta tropical do mundo (PHILLIPS et al., 2004). Esse bioma possui uma vasta variedade de produtos não madeireiros como também abriga enormes estoques de volume de madeira comercial, carbono e biomassa (BRASIL, 2019).

O ipê (*Handroanthus serratifolius*), o jatobá (*Hymenaea courbaril*), a maçaranduba (*Manilkara elata*), a cupiúba (*Goupia glabra*), o cedrinho (*Erism*

uncinatum) e a muiracatiara (*Astronium lecointei*) estão entre as principais espécies madeireiras de valor econômico exploradas na Amazônia e comercializadas no mercado nacional e internacional (BRASIL, 2019; ITTO, 2022)

O manejo florestal é uma das principais atividades econômicas da Amazônia (BRAZ et al., 2017), tendo como finalidade a compatibilização da produção com a conservação dos recursos florestais (MAZZEI; RUSCHEL, 2014). Além disso, desempenha importante papel socioeconômico, pois contribui para geração de emprego e renda para mais de 2 milhões de habitantes (BRASIL, 2019; DAVID et al., 2019).

As estratégias adotadas para promover o uso das florestas através do manejo têm sido centradas na exploração de impacto reduzido e no estabelecimento de parâmetros de regulação da produção pela área. A legislação florestal brasileira estabeleceu que a intensidade de corte máxima deve ser de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ para um ciclo de corte de 35 anos, associados com a produtividade anual da floresta de $0,86 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (BRASIL, 2006, 2009). No entanto, apenas a aplicação da exploração de impacto reduzido não tem sido suficiente para garantir a produção florestal contínua (SIST; FERREIRA, 2007). Apesar da flexibilização na legislação que regulamenta o manejo florestal para alteração de quaisquer parâmetros técnicos estabelecidos na norma, tal prática ainda não tem sido executada com frequência para as florestas de terra firme da Amazônia (BRASIL, 2006).

Além do planejamento das atividades de exploração madeireira conforme as técnicas de Exploração de Impacto Reduzido, como por exemplo, o planejamento de estradas e da direção de queda das árvores (SIST; FERREIRA, 2007), é necessário o planejamento da produção no primeiro ciclo de corte, considerando as características de cada espécie, já que a falta desse planejamento tem acarretado a indicação de altas intensidades de corte para algumas espécies (BRAZ et al., 2012, 2018). Por essa razão, diversos estudos que avaliaram a taxa de recuperação do volume sob os atuais critérios de exploração indicaram a baixa recuperação ou da floresta ou de espécies da floresta (AVILA et al., 2017; CASTRO et al., 2021; GOYOT; SIST, 2004; ROOPSIND et al., 2017; SIST; FERREIRA, 2007; VAN GARDINGEN; VALLE; THOMPSON, 2006; VIDAL et al., 2016).

O ponto de maior importância no manejo florestal é a regulação da produção ou o planejamento da produção florestal. Dessa forma, fica claro a necessidade de realizar o planejamento da produção no primeiro ciclo de corte com base em informações atuais e

futuras da floresta ou de suas populações (PENG, 2000). A ferramenta utilizada para conhecer a estrutura diamétrica atual dos indivíduos de tamanho comercial e o seu potencial madeireiro é o inventário florestal 100% ou censo florestal. Já o monitoramento da dinâmica por meio do inventário florestal contínuo fornece informações sobre as taxas de crescimento, mortalidade e recrutamento por espécie e por classe de diâmetro (SOUZA; SOARES, 2013).

A projeção da distribuição diamétrica futura da floresta pode ser realizada com o uso de modelos de crescimento e produção (BRAZ et al., 2012; REIS et al., 2018; TEIXEIRA et al., 2007), no entanto, atualmente, os gestores florestais que elaboram os Planos de Manejo Florestal na Amazônia brasileira não utilizam modelos de crescimento e produção para prever a distribuição diamétrica futura, e, conseqüentemente, a produção futura (REIS et al., 2016).

A utilização da modelagem no planejamento é de suma importância, pois permite ao gestor estimar vários cenários de corte e avaliar os efeitos de cada cenário quanto à sustentabilidade do manejo (ALDER; SILVA, 2001; BRAZ et al., 2018; BUONGIORNO; GILLESS, 2003; HUTH; DITZER, 2001; NASCIMENTO et al., 2012), ou seja, a exploração pode ser planejada a partir da recuperação da estrutura diamétrica remanescente (FREITAS, 2001). Além disso, os modelos podem ser uma ferramenta útil para prever a capacidade de recuperação da floresta (BRAZ et al., 2012; KIMMINS, 1990).

Os modelos de distribuição diamétrica ou modelos de classe de tamanho são os mais utilizados e difundidos devido à facilidade de obtenção dos dados (SOUZA; SOARES, 2013). Este modelo estima o número de árvores por classe de diâmetro, e a partir de seu emprego associado a uma equação de volume, pode-se estimar a produção por classe (NASCIMENTO et al., 2012; SANQUETTA et al., 1995).

Matriz de Transição ou Cadeia de Markov (BUONGIORNO; MICHIE, 1980; REIS et al., 2018), Razão de Movimentação (BRAZ et al., 2012), Redes Neurais (REIS et al., 2016) e funções de densidade de probabilidade (ORELLANA et al., 2017) são os métodos utilizados para estimar a estrutura diamétrica. Dentre os modelos por classe de tamanho, a matriz de transição é a técnica mais empregada (VASCONCELOS et al., 2009), em decorrência da possibilidade de efetuar prognoses com apenas duas medições e pela fácil aplicação (BRUNER; MOSER JR, 1973; LANA et al., 2015).

A modelagem por matriz de transição fundamenta-se no conceito de estado. O estado é a situação que uma árvore pode ser encontrada na floresta, como, por exemplo, estacionada em uma determinada classe de diâmetro, morta ou sendo recrutada. Uma árvore que esteja em um determinado estado, pode nele permanecer, mover-se para outro (excetuando-se a morta), ou ser removido. A mudança de um estado para o outro é estimada pelas probabilidades de transição (SOUZA; SOARES, 2013).

As estratégias discutidas nos últimos anos para maximizar a produção volumétrica têm sido focadas no manejo em nível de espécie (ANDRADE et al., 2019; BRAZ et al., 2018; CANETTI et al., 2021; DAVID et al., 2019; GROENENDIJK; BONGERS; ZUIDEMA, 2017; FERREIRA et al., 2020; PIRES et al., 2021). Nos planos de manejo na África Central, por exemplo, são consideradas as taxas de crescimento e mortalidade específicas por espécie (LIGOT et al., 2022). Segundo Carvalho, Silva e Lopes (2000), o incremento em diâmetro é um dos principais fatores que devem ser considerados nos planos de manejo, pois, podem prever a produção.

Os processos da dinâmica não são os únicos fatores que influenciam a produtividade anual e a capacidade de recuperação de uma espécie ou da floresta. Outros fatores, como a intensidade de corte, o diâmetro mínimo de corte, o ciclo de corte, a distribuição diamétrica e abundância local também têm importante papel (GROENENDIJK; BONGERS; ZUIDEMA, 2017; RUTISHAUSER et al., 2015).

Vários estudos mostram que as espécies apresentam taxas de crescimento e estrutura diamétrica altamente variáveis entre si. Há variação entre espécies, bem como entre árvores de mesma espécie (ANDRADE et al., 2019; CANETTI et al., 2021; DAVID et al., 2019; FERREIRA et al., 2020; GOYOT; SIST, 2004; LIGOT et al., 2022). Dessa forma, faz-se necessário a inclusão dessas informações no planejamento da produção (CARVALHO; SILVA; LOPES, 2000; DAVID et al., 2019).

O conhecimento das características de cada espécie garante que sejam realizadas projeções mais precisas ao calcular o que poderá ser recuperado após a exploração madeireira no ciclo de corte considerado (BRAZ et al., 2012; LIGOT et al., 2019; OLIVEIRA, 2020). De acordo com Canetti et al. (2021) a utilização de critérios de exploração florestal baseados em curvas de crescimento e na estrutura diamétrica de cada espécie proporciona a maximização da produção volumétrica. Assim, mais projeções da produção considerando as características de cada espécie são necessárias para aumentar

a produtividade volumétrica das espécies (GROENENDIJK; BONGERS; ZUIDEMA, 2017).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi estimar a produtividade anual (incremento em volume) da espécie *Manilkara elata* (maçaranduba), em diferentes combinações de cenários de corte e ciclos de corte, empregando matriz de transição, visando identificar (ou subsidiar) estratégias de manejo da espécie.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Área de estudo

Ver tópico 1.4.1.

3.2.2 Coleta dos dados

Neste capítulo foram utilizados os dados dos inventários 100% realizados nas Unidades de Produção Anual 8 (área não explorada) e 4 (área explorada) (tópico 1.4.2).

3.2.3 Análise dos dados

3.2.3.1 Curva de crescimento cumulativo

A curva de crescimento cumulativo em número de árvores e volume por centro de classe de diâmetro para cada UPA foi calculada com base na estrutura diamétrica original, ou seja, antes da exploração madeireira.

3.2.3.2 Prognose da distribuição diamétrica

O método utilizado para projetar a estrutura diamétrica das árvores de *Manilkara elata* nas UPAs 8 e 4 foi a Matriz de Transição. Os diâmetros foram agrupados em classes com intervalos de 10 cm, a partir do diâmetro mínimo de 45 cm. Árvores com DAP acima de 135 foram agrupadas na última classe de diâmetro.

A matriz de transição foi construída com base na determinação das probabilidades de transição. As probabilidades de transição para cada intervalo de medição foram

calculadas por proporção, dividindo-se, respectivamente, o número de árvores que permaneceram na mesma classe, morreram ou mudaram de classe, pelo número total de árvores vivas no início do período de monitoramento (BUONGIORNO; MICHIE, 1980), ou seja:

$$G = \begin{matrix} \begin{matrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \\ \vdots \\ i_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & c_5 & b_5 & a_5 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & \dots & m_n \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

Em que: G = matriz de probabilidade de transição; I_n = i -ésima classe de diâmetro; a_i, b_i, c_i = probabilidades de uma árvore viva permanecer na mesma classe diamétrica (a_i), mudar para a classe diamétrica subsequente (b_i) ou mudar duas classes (c_i); m_1 = probabilidade de árvores que morrerem no período monitorado.

A distribuição diamétrica da floresta no tempo futuro foi resultado da multiplicação da matriz de probabilidade de transição G pelo número de árvores no período atual, somado ao número de árvores recrutadas, conforme a Equação 4 (BUONGIORNO; MICHIE, 1980), dada por:

$$Y_{t+\Delta t} = G \cdot Y_{it} + I_{it} \quad (4)$$

Em que: $Y_{t+\Delta t}$ = número de árvores projetadas; G = probabilidade de transição por classe diamétrica; Y_{it} = número de árvores por classe de diâmetro no período atual; I_{it} = número de árvores ingressas ou recrutadas.

A forma matricial da expressão 4 é:

$$\begin{bmatrix} Y_{1t+\Delta t} \\ Y_{2t+\Delta t} \\ Y_{3t+\Delta t} \\ Y_{4t+\Delta t} \\ Y_{5t+\Delta t} \\ \vdots \\ Y_{nt+\Delta t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & c_5 & b_5 & a_5 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \\ Y_{4t} \\ Y_{5t} \\ \vdots \\ Y_{nt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_{1t} \\ I_{2t} \\ I_{3t} \\ I_{4t} \\ I_{5t} \\ \vdots \\ I_{nt} \end{bmatrix} \quad (5)$$

O ingresso foi considerado como sendo o número de árvores que atingiram ou ultrapassaram o diâmetro mínimo de 45 cm em 2015.

A prognose da estrutura diamétrica foi realizada para períodos equivalentes às medições realizadas, ou seja, para períodos de onze anos para a UPA 8 e quatorze anos para a UPA 4. Neste caso, partindo-se dos dados de 2004 e 2015 da UPA 8 foi projetada a distribuição diamétrica para os anos de 2015, 2026 e 2037. Com base nos dados dos inventários de 2001 e 2015 na UPA 4, com intervalo de quatorze anos, foram feitas as projeções para os anos de 2015 e 2029. O teste de aderência Qui-quadrado (χ^2) (VASCONCELOS et al., 2009; TEIXEIRA et al., 2007) foi utilizado para comparar as estimativas de número de árvores por classe de diâmetro com a estrutura diamétrica observada em cada Unidade de Produção Anual (8 e 4), considerando um nível de 5% de significância.

Para a projeção da produção foram utilizadas as probabilidades de transição apenas entre os sete primeiros centros de classe de diâmetro. As probabilidades dos demais centros foram excluídas do cálculo da prognose da estrutura diamétrica devido aos estados absorventes dessas classes, que podem superestimar a produtividade da espécie. A prognose da estrutura diamétrica para a Unidade de Produção Anual 8, com base nas medições realizadas nos anos de 2004 e 2015, foi realizada até alcançar ciclos de corte de 33, 44 e 55 anos. Para a UPA 4, a estrutura diamétrica foi projetada ao longo de ciclos de corte de 28, 42 e 56 anos. Após obtida a estrutura diamétrica final, converteu-se o número de árvores em volume, utilizando a equação de volume (1) descrita no Capítulo I, para obtenção da produção volumétrica total no período considerado.

3.2.3.3 Cenários de corte (Exploração)

O cenário de corte refere-se à remoção de uma proporção fixa de árvores em cada

centro de classe de diâmetro, variando de 25% a 100%. As alternativas de corte são definidas pela combinação de um cenário de corte com vários ciclos de corte. Foram estabelecidas diferentes alternativas de corte para avaliar os efeitos da alteração dos cenários de corte e ciclos de corte na produtividade anual de *Manilkara elata* (maçaranduba) (Tabela 7).

Para estimar a produtividade anual nas UPAs 8 e 4, foram consideradas a estrutura diamétrica inicial (antes da exploração) e a matriz de transição obtida para cada UPA. A matriz de transição da UPA 8 representa a dinâmica de uma população não explorada e a UPA 4 de uma população submetida à exploração madeireira.

Tabela 7. Diferentes alternativas de corte mostrando diferentes cenários de corte e ciclos de corte.

CE	CC (anos)		Centro de classe de DAP (cm)									
	UPA		50	60	70	80	90	100	110	120	130	135
	8	4	Percentual de corte do número de árvores por centro de classe de DAP									
1	33	28	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	44	42	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	55	56	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
2	33	28	-	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	44	42	-	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	55	56	-	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
3	33	28	-	-	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	44	42	-	-	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	55	56	-	-	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
4	33	28	-	-	-	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	44	42	-	-	-	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	55	56	-	-	-	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%
5	33	28	-	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%	75%
6	33	28	-	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
7	33	28	-	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%	25%
8	33	28	-	76%	75%	64%	76%	56%	40%	50%	33%	100%

Em que: CE = Cenário de corte (exploração); CC = Ciclo de corte

3.3 Resultados

3.3.1 Curva de crescimento cumulativo em número de árvores e volume

A Figura 5 mostra a curva cumulativa de densidade e volume de madeira por classe de DAP nos anos de 2004 e 2015 para as UPAs 8 (área não explorada) e 4 (área explorada), no ano de 2001 (pré-exploração). Ao analisar a UPA 8 foi observado que durante os 11 anos de monitoramento da dinâmica florestal, apenas na primeira classe de DAP (45 a 55 cm) houve um aumento de 42% no número de árvores (11 árvores ou 0,22 ind ha⁻¹) e 45% no volume de madeira (24 m³ ou 0,48 m³ ha⁻¹). Nas demais classes de DAP houve decréscimo desses incrementos. A partir da sétima classe de DAP (105 a 115 cm) houve estabilização na densidade de árvores em ambas UPAs (Figura 5).

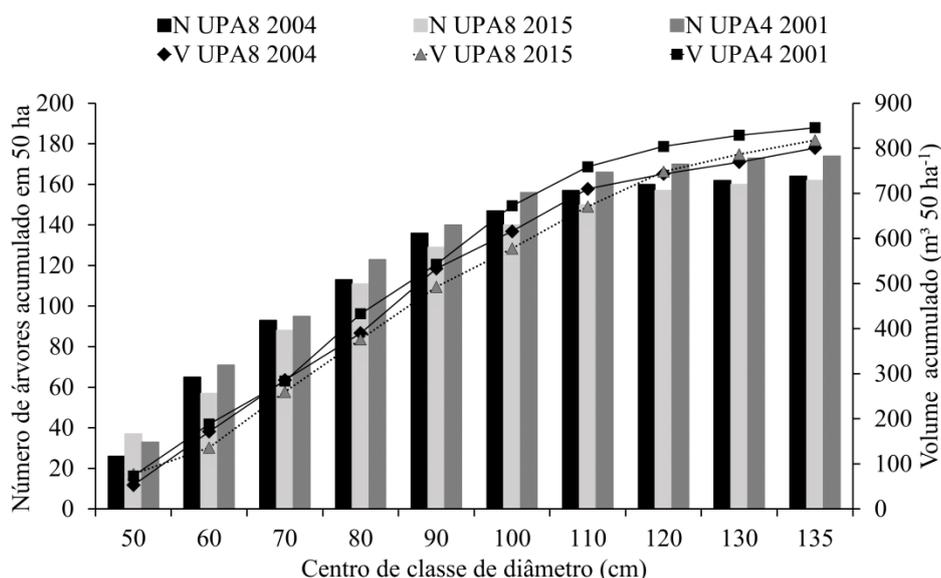


Figura 5. Densidade de árvores e volume de madeira acumulados de *Manilkara elata* (maçaranduba) nos anos de 2004 e 2015 na UPA 8 e no ano 2001 na UPA 4.

3.3.2 Prognose da estrutura diamétrica com o uso da Matriz de Transição (cadeia de Markov)

A transição do número absoluto de árvores de um estado (recrutamento, mortalidade e incremento) para outro, durante o período de 11 anos (2004 a 2015) na UPA 8 (área não explorada) e de 14 anos (2001 a 2015) na UPA 4 (área explorada) pode ser observada, respectivamente, nas Tabelas 8 e 9. As matrizes de probabilidade de transição das árvores das UPAs 8 e 4 são apresentadas nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 8. Dinâmica das árvores da espécie *Manilkara elata* (maçaranduba) entre estados, durante o período de 2004 a 2015 na UPA 8 (Não explorada).

CC	R	Centro da classe de DAP em 2004										2015
		50	60	70	80	90	100	110	120	130	≥ 135	
R												
50	21	16										37
60	2	6	12									20
70			21	10								31
80			2	13	8							23
90					7	11						18
100					2	7	2					11
110						1	5	4				10
120							1	3	3			7
130								2		1		3
≥ 135											2	2
M		4	4	5	3	4	3	1		1		25
2004		26	39	28	20	23	11	10	3	2	2	162

Em que: CC= Centro de classe de diâmetro (cm); R= Recrutamento; M= Mortalidade.

Tabela 9. Dinâmica das árvores da espécie *Manilkara elata* (maçaranduba) entre estados, durante o período de 2001 a 2015 na UPA 4 (Explorada).

CC	R	Centro da classe de DAP em 2001										2015
		50	60	70	80	90	100	110	120	130	≥ 135	
R												
50	25	6										31
60	5	17	5									27
70			2	2								4
80				2	3							5
90					3	2						5
100						1	3					4
110					1		1	2				4
120								1	1			2
130							1					1
≥ 135												0
M		8	2	2	4	1	3	2	1	1		24
2001		31	9	6	11	4	8	5	2	1	0	83

Em que: CC= Centro de classe de diâmetro (cm); R= Recrutamento; M = Mortalidade.

A Tabela 10 mostra que a partir do oitavo centro de DAP (115 a 124,9 cm), a matriz de probabilidade de transição apresentou estados absorventes, ou seja, todas as árvores destas classes de diâmetro permaneceram na mesma classe, pois a probabilidade de transição entre uma classe e a outra é igual a zero. Já na matriz de transição da UPA 4, a probabilidade das árvores do nono centro de classe de DAP (130 cm) morrerem tem valor 1 (100%), ou seja, todas as árvores deste centro de classe diamétrica morreram no período (Tabela 11).

As árvores do segundo e terceiro centros de classe de DAP da UPA 8 (área não explorada) têm maiores probabilidades de mudarem de classe de diâmetro. Por exemplo, a proporção de árvores do segundo centro de classe (60 cm) moverem-se para a classe subsequente é dada por $21/39 = 0,54$. Em outras palavras, 54% do total de árvores dessa classe apresentou crescimento diamétrico suficiente para uma mudança de classe no período de 11 anos. Para a mortalidade foi observado elevado percentual (50%) no nono centro de classe de DAP, assim como para o sexto centro de classe (100 cm), onde a probabilidade foi dada por $3/11 = 0,27$ ou 27% (Tabela 10).

Ao analisar as probabilidades de transição do segundo centro de classe de DAP (60 cm), nas UPAs 8 e 4, é possível observar que a probabilidade das árvores mudarem de centro de classe de DAP é maior (55%) na UPA explorada (Tabelas 10 e 11).

Tabela 10. Probabilidade de transição de *Manilkara elata* por centro de classe de DAP, para o período de 2004 a 2015, em 50 hectares da UPA 8 (Não explorada), para a área de Floresta Ombrófila Densa, na Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.

CC 2015	Centro da classe de diâmetro em 2004									
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	≥ 135
50	0,62									
60	0,23	0,31								
70		0,54	0,36							
80		0,05	0,46	0,40						
90				0,35	0,48					
100				0,10	0,30	0,18				
110					0,04	0,45	0,40			
120						0,09	0,30	1,00		
130							0,20		0,50	
≥ 135										1,00
M	0,15	0,10	0,18	0,15	0,17	0,27	0,10		0,50	

Em que: CC= Centro de classe de diâmetro (cm); M= Probabilidade de mortalidade.

Tabela 11. Probabilidade de transição de *Manilkara elata* por centro de classe de DAP, para o período de 2001 a 2015, em 50 hectares da UPA 4 (Explorada), para a área de Floresta Ombrófila Densa, na Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.

CC 2015	Centro da classe de diâmetro em 2001									
	50	60	70	80	90	100	110	120	130	≥ 135
50	0,19									
60	0,55	0,56								
70		0,22	0,33							
80			0,33	0,27						
90				0,27	0,50					
100					0,25	0,38				
110				0,09		0,13	0,40			
120							0,20	0,50		
130						0,13				
≥ 135										
M	0,26	0,22	0,33	0,36	0,25	0,38	0,40	0,50	1,00	

Em que: CC= Centro de classe de diâmetro (cm); M= Probabilidade de mortalidade.

A Tabela 12 apresenta o número de árvores observado e estimado pela Matriz de Transição para as UPAs 8 e 4.

O teste Qui-quadrado χ^2 mostra que houve diferença significativa ao nível de 5% de significância entre as distribuições diamétricas observadas em 2004 e 2015 e as projetadas para os anos de 2026 (Ano 22) e 2037 (Ano 33) na UPA 8 (Tabela 13). No entanto, não houve diferença significativa entre as frequências observadas em 2015 (Ano 11) e projetadas para o ano 2026 (Ano 22) na distribuição do número de árvores em cada classe diamétrica (Tabelas 12 e 13).

Tabela 12. Número de árvores observado e estimado pela Matriz de Transição para as UPAs 8 e 4, em área de Floresta Ombrófila Densa, na Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.

CC (cm)	UPA 8				UPA 4		
	Observado		Projetado		Observado		Projetado
	2004	2015	2026	2037	2001	2015	2029
	Ano 0	Ano 11	Ano 22	Ano 33	Ano 0	Ano 14	Ano 28
50	26	37	44	48	31	31	31
60	39	20	17	17	9	27	37
70	28	31	22	17	6	4	7
80	20	23	24	21	11	5	3
90	23	18	17	16	4	5	4
100	11	11	10	9	8	4	3
110	10	10	10	9	5	4	3
120	3	7	11	15	2	2	2
130	2	3	3	4	1	1	0
≥ 135	2	2	2	2	0	0	0

Em que: CC= Centro de classe de diâmetro (cm).

Tabela 13. Valores calculados do teste Qui-quadrado (χ^2) para a distribuição diamétrica das UPAs 8 e 4, em área de Floresta Ombrófila Densa, em Paragominas, Pará, Brasil.

Ano	UPA 8				UPA 4		
	0-11	0-22	0-33	11-22	0-14	0-28	14-28
χ^2_{cal}	26,01	46,51	59,94	6,98 ^{ns}	24,65	52,3	6,24 ^{ns}

^{ns} Não significativo a 5% de probabilidade

3.3.3 Produtividade anual estimada em diferentes cenários de exploração (corte) e ciclos de corte

A produtividade anual estimada para as populações de *M. elata* nas UPAs 8 e 4 apresentou diferença nos diferentes cenários de corte e ciclos de corte avaliados (Tabelas 14 e 15). Para a UPA 8, entre os cenários de corte 1, 2, 3 e 4, que assumem que todas as árvores a partir de um determinado centro de classe de DAP serão exploradas, o cenário de corte 3 (≥ 80 cm), em um ciclo de corte de 33 anos, foi o que produziu a maior produtividade ($0,124 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). A remoção de todo volume comercial disponível (cenário 1) produziu menos volume para o segundo ciclo de corte na UPA 8. No cenário de corte 3, o aumento do ciclo de corte para 44 ou 55 anos resultou em maior produção ao final do ciclo, porém, a produtividade anual diminuiu (Tabela 14).

Dentre os 4 cenários de corte avaliados na UPA 4, o cenário de corte 1, em um ciclo de corte de 28 anos, apresentou o maior incremento em volume ($0,088 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) (Tabela 14). Nos cenários de corte 5, 6, 7 e 8, o corte parcial nas classes diamétricas produziu produtividade negativa, exceto no cenário 5 na UPA 8 e 4 (Tabela 15).

Tabela 14. Produtividade anual estimada para *Manilkara elata* (maçaranduba) nos diferentes cenários de corte e ciclos de corte nas UPAs 8 e 4 da Área de Manejo Florestal da Fazenda Rio Capim, Paragominas, Pará, Brasil.

UPA	CC (anos)	Dados	Cenário de corte			
			1	2	3	4
8	33	IC do 1° ciclo (m ³ ha ⁻¹)	15,0	12,7	10,5	8,4
		Produtividade (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	0,060	0,103	0,124	0,113
		IC do 2° ciclo (m ³ ha ⁻¹)	2,0	3,4	4,1	3,7
		Produção por ciclo (m ³ 100 ha ⁻¹)	197,4	339,6	408,0	372,2
8	44	IC do 1° ciclo (m ³ ha ⁻¹)	15,0	12,7	10,5	8,4
		Produtividade (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	0,063	0,096	0,113	0,093
		IC do 2° ciclo (m ³ ha ⁻¹)	2,8	4,2	5,0	4,1
		Produção por ciclo (m ³ 100 ha ⁻¹)	277,0	421,3	495,5	410,4
8	55	IC do 1° ciclo (m ³ ha ⁻¹)	15,0	12,7	10,5	8,4
		Produtividade (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	0,068	0,088	0,089	0,085
		IC do 2° ciclo (m ³ ha ⁻¹)	3,7	4,8	4,9	4,7
		Produção por ciclo (m ³ 100 ha ⁻¹)	371,6	481,5	491,3	465,4
4	28	IC do 1° ciclo (m ³ ha ⁻¹)	15,7	13,4	11,5	8,6
		Produtividade (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	0,088	0,048	0,046	0,062
		IC do 2° ciclo (m ³ ha ⁻¹)	2,5	1,3	1,3	1,7
		Produção por ciclo (m ³ 100 ha ⁻¹)	247,0	134,6	127,5	173,5
4	42	IC do 1° ciclo (m ³ ha ⁻¹)	15,7	13,4	11,5	8,6
		Produtividade (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	0,081	0,042	0,035	0,040
		IC do 2° ciclo (m ³ ha ⁻¹)	3,4	1,8	1,5	1,7
		Produção por ciclo (m ³ 100 ha ⁻¹)	340,9	176,1	146,0	167,3
4	56	IC do 1° ciclo (m ³ ha ⁻¹)	15,7	13,4	11,5	8,6
		Produtividade (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	0,072	0,037	0,027	0,026
		IC do 2° ciclo (m ³ ha ⁻¹)	4,0	2,1	1,5	1,5
		Produção por ciclo (m ³ 100 ha ⁻¹)	403,2	207,3	152,7	146,8

Em que: UPA = Unidade de Produção Anual; CC = Ciclo de corte em anos; IC = Intensidade de Corte.

Tabela 15. Estimativa da produtividade anual de *Manilkara elata* (maçaranduba) nas UPAs 8 e 4 em diferentes cenários de corte em dois ciclos de corte.

UPA	CC (anos)	Dados	Cenário de corte			
			5	6	7	8
8	33	IC do 1º ciclo (m³ ha⁻¹)	11,3	7,5	3,8	9,2
		Produtividade (m³ ha⁻¹ ano⁻¹)	0,015	-0,029	-0,073	-0,017
4	28	IC do 1º ciclo (m³ ha⁻¹)	11,8	7,8	3,9	9,0
		Produtividade (m³ ha⁻¹ ano⁻¹)	0,014	-0,062	-0,137	-0,017

Em que: UPA = Unidade de Produção Anual; CC = Ciclo de corte em anos; IC = Intensidade de Corte.

3.4 Discussão

A exploração ativou a dinâmica de mudança de classe das árvores remanescentes da população de *M. elata*. Isso é facilmente notado pelos valores observados no primeiro centro de classe de DAP da UPA 8, quando comparada com a UPA 4 (Tabela 10 e 11). Essa maior quantidade de transição de árvores do primeiro centro de classe de DAP para o superior na UPA 4 é decorrente, provavelmente, do fato dessas árvores apresentarem maior incremento diamétrico (VASCONCELOS et al., 2009) devido à maior incidência de luz nessa área, ocasionada pela exploração madeireira (d'OLIVEIRA; BRAZ, 2006).

Segundo Bruner e Moser Jr (1973), a precisão das projeções ao longo de vários períodos necessita de boas estimativas das probabilidades de transição que, por sua vez, dependem de dados suficientes em todas as classes de diâmetro, bem como de intervalos de medição maiores (AZEVEDO; SOUZA; JESUS, 1995). Analisando as matrizes de transição obtidas a partir das observações nas UPAs 8 e 4, nota-se que o baixo número de árvores remanescentes em algumas classes diamétricas, devido à alta mortalidade e a exploração florestal, pode contribuir para a ocorrência de estados absorventes (Tabela 10 e 11).

Os estados absorventes tendem a ocorrer nas classes de maior diâmetro devido à diminuição do incremento nessas classes e ao menor número de árvores amostradas (LONGHI et al., 2017), bem como, pelo curto prazo do intervalo de medição (REIS et al., 2018). A matriz de probabilidade de transição da UPA 8 apresentou estados absorventes em dois centros de classes de maior diâmetro (120 cm e ≥ 135 cm) devido ao crescimento reduzido nessas classes durante o período de monitoramento (Tabela 10).

Cunha et al. (2002) avaliando a evolução da estrutura diamétrica da *Manilkara elata* no período de 1984 a 2000 (16 anos), também encontraram estados absorventes a partir da classe diamétrica de 95 cm. Esse estado tem relevância no manejo florestal, uma vez que a probabilidade das árvores mudarem das classes que apresentam este estado é zero. Isso provocará um contínuo incremento em volume e área basal devido ao acréscimo de árvores continuamente nesta classe (MACHADO et al., 2017; PULZ et al., 1999; REIS et al., 2018; STEPKA et al., 2010) e, conseqüentemente, incremento negativo (OSMASTON, 1968).

Uma desvantagem do emprego da Matriz de Transição é que o período de projeção da estrutura diamétrica só pode ser múltiplo do intervalo de medição em que a matriz foi construída (ARCE et al., 1998; BRUNER; MOSER JR., 1973; SANQUETTA et al., 1995). Desse modo, a definição de alternativas de manejo fica também condicionada aos anos múltiplos do período de medição (HARRISON; MICHIE, 1985). Nesse sentido, no presente estudo foi estabelecido ciclos de corte diferentes, porém, próximos entre si, para permitir a comparação entre as UPAs 4 e 8.

Para a UPA 8 (Não explorada), os resultados do teste Qui-quadrado (χ^2) mostraram que houve diferença significativa entre as duas estruturas diamétricas observadas (2004 e 2015), bem como para as duas projetadas para os anos de 2026 e 2037. Isso está associado a dinâmica natural da população de *Manilkara elata*, no longo intervalo de tempo que foi utilizado para construção da matriz de transição. Ao longo dos 11 anos, muitas árvores do primeiro e segundo centros de classes de DAP mudaram de classe, resultando em grandes diferenças nessas classes entre os anos de medição (PINTO, 2008).

Diversos estudos utilizaram a modelagem para simular cenários de corte a fim de avaliar estratégias de manejo florestal quanto à sua sustentabilidade (ALDER; SILVA, 2001; AZEVEDO et al., 2008; BRAZ et al., 2014, 2018; GROENENDIJK; BONGERS; ZUIDEMA, 2017; HUTH; DITZER, 2001; MENDOZA; SETYARSO, 1986; OSHO, 1995; VAN GARDINGEN; VALLE; THOMPSON, 2006). Mendoza e Setyardo (1986) utilizaram Matriz de Transição para simular e avaliar a capacidade do Sistema de Exploração da Indonésia e outras alternativas de manejo de manter uma produção sustentável. Os resultados indicaram que o estoque de crescimento previsto após o segundo corte era inadequado para sustentar a produção. Além disso, um modelo de

programação foi desenvolvido para determinar uma estrutura diamétrica ótima e sustentável. Estes autores concluíram que era necessário manter um maior número de árvores por hectare.

A dinâmica de crescimento de uma floresta natural segue uma curva de crescimento cumulativo, que possui duas características: ponto de inflexão e assíntota. O estoque em crescimento ou a produção evolui dos estágios inicial, médio e avançado, até atingir a capacidade máxima de suporte ou o valor assintótico no estágio clímax. Uma floresta primária não explorada contém elevado estoque em área basal e volume que foi acumulado durante um longo período de crescimento (SOUZA; SOARES, 2013).

No presente estudo, *Manilkara elata* apresentou estabilização na densidade de árvores na UPA 8 e 4 a partir do sétimo centro de classe de DAP (110 cm). Isto deve-se provavelmente a capacidade de suporte da espécie ter chegado ao seu limite nestas classes (WHITTAKER, 1975). Assim, o baixo acúmulo de volume observado nas classes de maior diâmetro foi causado pelo baixo incremento e pela alta mortalidade nessas classes (BRAZ et al., 2018).

O manejo florestal é alcançável somente quando se conhece os processos da dinâmica e o potencial máximo da floresta e das espécies arbóreas (OSHO, 1995). A consideração de curvas de crescimento no planejamento do manejo evitará o uso de uma intensidade de corte máxima que prejudique o incremento futuro, ou seja, que as árvores de espécies comerciais sejam exploradas antes de atingir seu potencial máximo de crescimento (CANETTI et al., 2021; DAVID et al., 2019).

Braz et al. (2017), avaliando a curva de crescimento cumulativo em área basal da espécie *Erisma uncinatum* (cedrinho), observaram que o incremento máximo em área basal (ponto de inflexão) ocorreu na classe diamétrica 85 cm e, após esta classe, o crescimento tendeu a decrescer, até atingir a capacidade máxima de suporte. De maneira semelhante, Canetti et al. (2021) mostraram que o incremento corrente anual máximo em volume dessa mesma espécie ocorreu aos 64 cm e o ponto de rotação técnica (idade ótima de corte) aos 86 cm. Estes autores relatam que a culminação das curvas de crescimento ocorreu em classes diamétricas maiores devido à grande concentração de indivíduos arbóreos nessas classes.

A exploração de todo o volume comercial disponível no primeiro ciclo de corte reduzirá a produtividade anual (ALDER; SILVA, 2001; BRAZ et al., 2012). No presente

estudo, essa redução foi de, aproximadamente, 50% no cenário 1 (Tabela 14). Braz et al. (2012) mostraram que as árvores das classes diamétricas comerciais remanescentes são responsáveis por 81% do incremento em volume necessário para recuperação do volume explorado, ou seja, essas árvores são as que mais contribuem para o acúmulo em volume. Dessa forma, a manutenção de árvores das classes comerciais tem sido uma das estratégias discutidas e utilizadas visando maximizar o rendimento de madeira para o próximo ciclo de corte (BRAZ et al., 2012, 2018; DAVID et al., 2019; GAYOT; SIST, 2004; GROENENDIJK; BONGERS; ZUIDEMA, 2017; OSHO, 1995).

O incremento em volume ou a produtividade anual de uma espécie ou da floresta depende, além da taxa de crescimento e da estrutura diamétrica remanescente, do volume do estoque em crescimento (BRAZ et al., 2012, 2014; SOUZA; SOARES, 2013). O cenário de corte 3 (80 cm) e o ciclo de corte de 33 anos foi a alternativa de corte que produziu maior incremento estimado em volume na UPA 8, devido à exploração das árvores das classes de menor incremento e à manutenção do estoque de árvores comerciais no segundo e terceiro centros de classes de DAP (Tabela 14) (GROENENDIJK; BONGERS; ZUIDEMA, 2017; DAVID et al., 2019; ROOPSIND et al., 2017). Braz et al. (2018) alcançaram resultados semelhantes para a espécie *Mezilaurus itauba*, que produziu mais volume ao manter a classe de diâmetro 55 cm e ao aumentar o diâmetro mínimo de corte (DMC) para 60 cm ($0,023 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

No presente estudo, o cenário de corte 3 na UPA 4 foi o que produziu menor incremento (Tabela 14). Isso ocorreu porque na UPA 4 o corte foi simulado em uma área explorada com estrutura diamétrica remanescente com baixo volume de estoque em crescimento.

O DMC específico de uma espécie pode aumentar o incremento volumétrico e com isso garantir maior produção de madeira (CANETTI et al., 2021). Entretanto, existe um ponto ótimo de classe diamétrica a ser mantido na floresta, acima do qual o retorno do crescimento líquido do volume de madeira é nulo devido à diminuição do incremento e do aumento da mortalidade (BRAZ et al., 2012, 2018). O aumento do DMC para 90 cm (cenário 4) na UPA 8 resultou em menor incremento volumétrico e produção total, considerando um ciclo de corte de 33 anos. Foi observado ainda que o aumento do ciclo de corte (44 e 55 anos) produziu maior produção volumétrica, no entanto, a produtividade anual diminuiu (Tabela 14). Segundo Braz et al. (2018) o manejo para a espécie *M. itauba*

foi mais adequado em ciclos de corte de 35 anos, devido a menor produtividade anual em ciclos de corte mais longos.

Ao analisar os cenários de corte 2 e o 5 na UPA 8, nota-se que a aplicação das intensidades de corte de $12,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e de $11,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ produziram incrementos estimados de $0,103 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $0,015 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente (Tabela 14 e 15), ou seja, mesmo não tendo uma grande diferença entre as intensidades de corte, o incremento estimado no cenário de corte 5 foi muito menor. Isso aconteceu porque no cenário 5, 75% das árvores do segundo centro de classe de DAP foram cortadas, enquanto no cenário de corte 2, o segundo centro de classe de DAP foi totalmente mantida. Dessa forma, conclui-se que a produtividade é mais influenciada pela estrutura e incremento do que pela intensidade de corte.

Braz et al. (2012) afirmam que a realização do planejamento da produção no primeiro ciclo de corte, de acordo com a estrutura diamétrica de cada espécie, proporcionará maior incremento volumétrico, pois, tal incremento varia de acordo com a estrutura diamétrica remanescente (BRAZ et al., 2014).

As diferenças na distribuição diamétrica de cada espécie (GOYOY; SIST, 2004; SCHULZE et al., 2005) ressaltam a importância de se avaliar a sustentabilidade em cada estrutura (BRAZ et al., 2015). Por exemplo, Goyot e Sist (2004) mostraram que a espécie *Manilkara bidentata* apresenta uma população de árvores jovens muito maior que a população comercial e, conseqüentemente, maior recuperação do estoque de madeira, independentemente da intensidade de corte aplicada, que neste caso será baixa, devido à baixa densidade de árvores nas classes comerciais. Já para *Manilkara elata*, nas UPAs 4 e 8, o número de árvores de tamanho comercial era maior e a população abaixo da classe 55 cm era menor. Dessa forma, as diferenças nas taxas de recuperação estão diretamente relacionadas à estrutura diamétrica e à intensidade de corte aplicada no primeiro ciclo (CASTRO et al., 2021; DAUBER et al., 2005; GAYOY; SIST, 2004; ROOPSIND et al., 2017).

Segundo Brasil (2009), é necessário explorar da floresta tão somente o que ela é capaz de produzir ao longo de um ciclo de corte, sem risco de exaustão da capacidade de produção (SOUZA; SOARES, 2013). Contudo, a capacidade de recuperação de cada espécie que irá compor a intensidade de corte da floresta não é avaliada nos planos de manejo florestal (BRAZ et al., 2012). Segundo a atual norma que regulamenta o manejo

florestal na Amazônia uma intensidade de corte de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, em ciclos de corte de 35 anos, pode ser sustentada com base no incremento de $0,86 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para toda a população de espécies comerciais (BRASIL, 2009). A falta de consideração das características de cada espécie no planejamento da produção tem permitido a aplicação de intensidades de cortes maiores que a capacidade de reposição de algumas espécies (GROENENDIJK; BONGERS; ZUIDEMA, 2017; LIGOT et al., 2022).

A utilização de taxa de crescimento que difere do incremento real de uma espécie pode levar a decisões incorretas sobre a intensidade de corte (GROENENDIJK; BONGERS; ZUIDEMA, 2017). Canetti et al. (2021) enfatizam que é possível maximizar a produção florestal ao serem consideradas as características das espécies comerciais. Os mesmos autores mostram que o DMC e ciclos de corte alternativos aos definidos na legislação florestal produziram maior incremento em volume para as quatro espécies avaliadas por eles. Por exemplo, a espécie *Erisma uncinatum* produziu incremento em volume sete vezes maior ao utilizar um DMC 70% maior ao estabelecido na legislação (86 cm). Groenendijk, Bongers e Zuidema (2017) observaram um aumento de até 73% na produção ao utilizarem intensidade de corte específica por espécie. Em vista disso, o incremento máximo em volume deve ser um dos indicadores da definição do DMC, intensidade de corte e do ciclo de corte (DAVID et al., 2019).

Os gestores florestais devem considerar alternativas de manejo que possam promover a sustentabilidade ecológica e econômica do manejo florestal (DAUBER et al., 2005). Segundo Van Gardingen, Valle e Thompson (2006) e Souza e Soares (2013), as empresas florestais deveriam coletar dados de cada espécie para determinar a distribuição diamétrica, volume do estoque em crescimento, taxas de crescimento, recrutamento e mortalidade para as condições locais da Unidade de Produção manejada, ou seja, para garantir a sustentabilidade da produção florestal na Amazônia é necessário que o sistema de manejo seja definido por espécie e considerando as características do local (ANDRADE et al., 2019; DAVID et al., 2019).

3.5 Conclusões

As diferenças nas estruturas diamétricas de *Manilkara elata* (maçaranduba) em uma mesma Unidade de Manejo Florestal (Fazenda Rio Capim) ressaltam a importância

da realização do planejamento da produção no primeiro ciclo de corte, considerando as características da espécie em cada unidade de produção. Sendo as características principais a estrutura remanescente e o incremento e a capacidade de produção das classes.

A utilização de taxas fixas ou mesmo variáveis de exploração para todas as espécies resulta na aplicação de intensidades de corte que podem comprometer a capacidade de produção comercial do estoque de madeira. Por isso é necessário calcular a exploração baseadas na estrutura e incremento por espécie e por local visando garantir produção sustentada de madeira.

Com um planejamento considerando estrutura e produção por classe pode-se inferir melhor diâmetro de corte e ciclo para a população da espécie em análise, identificando-se produção potencial.

A manutenção de maior nível de estoque em crescimento nas classes diamétricas com maior incremento maximizam a produtividade volumétrica, ou seja, o incremento em volume é dependente da identificação e manutenção de classes com maior capacidade produtiva.

REFERÊNCIAS

ALDER, D.; SILVA, J. N. M. Sustentabilidade da produção volumétrica: um estudo de caso na Floresta nacional de Tapajós com auxílio do modelo de crescimento CAFOGROM. In: SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P. de; YARED, J. A. C. (Eds.). **A silvicultura na Amazônia Oriental: contribuições do projeto Embrapa-DFID**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental: DFID, 2001. p. 325-337.

ANDRADE, V. H. F.; MACHADO, S. D.; FIGUEIREDO, A.; BOTOSSO, P. C. et al. Growth models for two commercial tree species in upland forests of the Southern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 438, p. 215-223, 2019.

ARCE, J. E.; PIZATTO, W.; SANQUETTA, C. R.; WENDLING, J. L. G. et al. Utilização das matrizes de transição na avaliação e simulação precoces do crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Floresta**, v. 27, n. 12, 1997.

AVILA, A. L. D.; SCHWARTZ, G.; RUSCHEL, A. R.; LOPES, J. D. C. et al. Recruitment, growth and recovery of commercial tree species over 30 years following logging and thinning in a tropical rain forest. **Forest Ecology and Management**, v. 385, p. 225-235, 2017.

AZEVEDO, C. P. D.; SANQUETTA, C. R.; SILVA, J. N. M.; MACHADO, S. A. et al. Simulação de estratégias de manejo florestal na Amazônia com o uso do modelo SYMFOR. **Acta amazonica**, v. 38, n. 1, p. 51-70, 2008.

AZEVEDO, C. P.; SOUZA, A. L.; JESUS, R. M. Um modelo de matriz de transição para prognose de crescimento de povoamento natural remanescente de Mata Atlântica. **Revista Árvore**, v. 19, n. 2, p. 167-199, 1995.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Instrução Normativa nº 5, de 11 de dezembro de 2006. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 dez. 2006. Seção 1, p. 155

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 406, de 02 de fevereiro de 2009. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 06 dez. 2009. Seção 1, p. 100

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Serviço Florestal Brasileiro (SFB). **Florestas do Brasil em resumo: 2009**. Brasília: MAPA/SFB, 2019. 207p.

BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P.; OLIVEIRA, M. F.; BASSO, R. O. Strategies for achieving sustainable logging rate in the Brazilian Amazon Forest. **Open Journal of Forestry**, v. 4, n. 2, p. 100-105, 2014.

BRAZ, E. M.; MATTOS, P.P.; CANETTI, A.; THAINES, F. et al. Planejamento do segundo ciclo de *Manilkara huberi* (Ducke) Standl. no estado do Acre. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 6., 2015, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, p. 453- 462, 2015.

BRAZ, E. M.; CANETTI, A.; MATTOS, P. P.; BASSO, R. O. et al. Alternative criteria to achieve sustainable management of *Mezilaurus itauba* in the Brazilian Amazon. **Pesquisa Florestal Brasileira**, 38, 2018.

BRAZ, E. M.; MATTOS, P. P. D.; ARCO-VERDE, M. F.; BASSO, R. O. et al. Otimização do ciclo de corte na Floresta Amazônica sob o ponto de vista econômico. Colombo: Embrapa Florestas, 2017. 7p. (Embrapa Florestas. **Comunicado Técnico**, 402).

BRAZ, E. M.; SCHNEIDER, P. R.; MATTOS, P. P. D.; THAINES, F. et al. Manejo da estrutura diamétrica remanescente de florestas tropicais. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 4, p. 787-794, 2012.

BRUNER, H. D.; MOSER JR, J. W. A Markov chain approach to the prediction of diameter distributions in uneven-aged forest stands. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 3, p. 409-417, 1973.

BUONGIORNO, J.; GILLESS, J. K. **Decision Methods for Forest Resource Management**. 1 ed. 2003. 439 p.

- BUONGIORNO, J.; MICHIE, B. R. A matrix model of uneven-aged forest management. **Forest Science**, v. 26, n. 4, p. 609-625, 1980.
- CANETTI, A.; BRAZ, E. M.; DE MATTOS, P. P.; BASSO, R. O. et al. A new approach to maximize the wood production in the sustainable management of Amazon Forest. **Annals of Forest Science**, v. 78, n. 3, p. 21, 2021.
- CARVALHO, J. O. P. D.; SILVA, J. N. M.; LOPES, J. D. C. A. Incremento diamétrico de espécies arbóreas em mata de terra firme na floresta nacional do Tapajós, em resposta a duas intensidades de exploração. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 2p. (Embrapa Amazônia Oriental. **Comunicado Técnico**, 50).
- CASTRO, T. D. C.; CARVALHO, J. O. P. D.; SCHWARTZ, G.; SILVA, J. N. M. et al. The continuous timber production over cutting cycles in the Brazilian Amazon depends on volumes of species not harvested in previous cuts. **Forest Ecology and Management**, v. 490, p. 119-124, 2021.
- CUNHA, U. S. D.; MACHADO, S. D. A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; SANQUETTA, C. R. Predição da estrutura diamétrica de espécies comerciais de terra firme da Amazônia por meio de matriz de transição. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 109-122, 2002.
- D'OLIVEIRA, M. V. N.; BRAZ, E. M. Estudo da dinâmica da floresta manejada no projeto de manejo florestal comunitário do PC Pedro Peixoto na Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, v. 36, n. 2, p. 177-182, 2006.
- DAUBER, E.; FREDERICKSEN, T. S.; PENA-CLAROS, M. Sustainability of timber harvesting in Bolivian tropical forests. **Forest Ecology and Management**, v. 214, n. 1-3, p. 294-304, 2005.
- DAVID, H. C.; CARVALHO, J. O. P.; PIRES, I. P.; SANTOS, L. S. et al. A 20-year tree liberation experiment in the Amazon: Highlights for diameter growth rates and species-specific management. **Forest Ecology and Management**, v. 453, p. 117-584, 2019.
- FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global Forest Resources Assessment 2020: Main report**. Rome, Italy. Disponível em: <<https://doi.org/10.4060/ca9825en>>. Acesso em: 23 abr. 2
- FERREIRA, T. M. C.; DE CARVALHO, J. O. P.; EMMERT, F.; RUSCHEL, A. R. et al. How long does the Amazon rainforest take to grow commercially sized trees? An estimation methodology for *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach. **Forest Ecology and Management**, v. 473, p. 118-333, 2020.
- FREITAS, L. J. M. **Inventário de prospecção e otimização da colheita visando a sustentabilidade do manejo de uma floresta estacional semidecidual submontana**. 2001. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

GAYOT, M.; SIST, P. Vulnerabilité des espèces de maçaranduba face à l'exploitation en Amazonie brésilienne: nouvelles normes d'exploitation à définir. **Revue Bois et Forêts des Tropiques**, Nogent-Zur-Marne, v. 58, n. 208, p. 75-90, 2004.

GROENENDIJK, P.; BONGERS, F.; ZUIDEMA, P. A. Using tree-Ring data to improve timber-Field Projections for African web tropical forest tree species. **Forest Ecology and Management**, v. 400, p. 396-407, 2017.

HARRISON, T. P.; MICHIE, B. R., 1985. A generalized approach to the use of matrix growth models. **Forest Science**, v. 31, n. 4, p. 850-856.

HUTH, A.; DITZER, T. Long-term impacts of logging in a tropical rain forest - a simulation study. **Forest Ecology and Management**, v. 142, n. 1-3, p. 33-51, 2001.

ITTO - INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Tropical Timber Market Report**. 2022 (ITTO TTM Report, v. 26, n. 4)

KIMMINS, J. P. Modeling the sustainability of forest production and yield for a changing and uncertain future. **Forestry Chronicle**, v. 66, n. 3, p. 271-280, 1990.

LANA, M. D.; PÉLLICO NETTO, S.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. et al. Prognose da estrutura diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, v. 22, p. 71-78, 2015.

LIGOT, G.; FAYOLLE, A.; GOURLET-FLEURY, S.; DAINOU, K. et al. Growth determinants of timber species *Triplochiton scleroxylon* and implications for forest management in central Africa. **Forest Ecology and Management**, v. 437, p. 211-221, 2019.

LIGOT, G.; GOURLET-FLEURY, S.; DAINOU, K.; GILLET, J. F. et al. Tree growth and mortality of 42 timber species in central Africa. **Forest Ecology and Management**, v. 505, p. 13, 2022.

LONGHI, R. V.; SCHNEIDER, P. R.; LIRA, D. F. S.; LISBOA, G. S. Projeção da distribuição diamétrica em floresta com araucária explorada seletivamente no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 2, p. 210-219, 2017.

MACHADO, S.; CYSNEIROS, V.; NASCIMENTO, R. G.; MARTINS, A. et al. Projeção da Estrutura Diamétrica de Grupos Ecológicos em uma Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

MAZZEI, L.; RUSCHEL, A., 2014, **Estoque comercial para o segundo ciclo de corte na Floresta Nacional do Tapajós-área experimental KM 67-Embrapa**. Anais do II Seminário de Pesquisa Científica da Floresta Nacional do Tapajós. 161-166.

MENDOZA, G. A.; SETYARSO, A. A transition matrix forest growth-model for evaluating alternative harvesting schemes in Indonesia. **Forest Ecology and Management**, v. 15, n. 3, p. 219-228, 1986.

NASCIMENTO, R. G. M.; MACHADO, S. D. A.; FILHO, A. F.; HIGUCHI, N. Modelo de projeção por classe diamétrica para florestas nativas: enfoque na função probabilística de Weibull. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 70, 2012.

OLIVEIRA, M. F. **Modelagem do crescimento da estrutura diamétrica para determinação e do diâmetro das espécies madeireiras da floresta amazônica**. 2020. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2020.

ORELLANA, E.; FIGUEIREDO, A. The use of the parameter prediction method to project the diameter distribution in natural forest with the weibull function. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 981-991, 2017.

OSHO, J. S. A. Optimal sustainable harvest models for a Nigerian tropical rain-forest. **Journal of Environmental Management**, v. 45, n. 2, p. 101-108, 1995.

OSMASTON, F. C. **The management of forests**. Londres: George Allen and Unwin, 1968. 384 p.

PULZ, F. A.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; MELLO, J. M.; OLIVEIRA FILHO, A. T. Acuracidade da predição da distribuição diamétrica de uma floresta inequiana com a matriz de transição. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 1 p. 1-14, 1999

PENG, C. H. Growth and yield models for uneven-aged stands: past, present and future. **Forest Ecology and Management**, v. 132, n. 2-3, p. 259-279, 2000.

PHILLIPS, P. D.; DE AZEVEDO, C. P.; DEGEN, B.; THOMPSON, I. S. et al. An individual-based spatially explicit simulation model for strategic forest management planning in the eastern Amazon. **Ecological Modelling**, v. 173, n. 4, p. 335-354, 2004.

PIRES, S. A. D.; DE MENDONCA, A. R. D.; DA SILVA, G. F.; D'OLIVEIRA, M. V. N. et al. Growth modeling of *Carapa guianensis* and *Tetragastris altissima* for improved management in native forests in the Amazon. **Ecological Modelling**, v. 456, p. 12, 2021.

PINTO, A. C. M. **Dinâmica de uma floresta de terra firme manejada experimentalmente na região de Manaus (AM)**. 2008. 167 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais Tropicais) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008.

REIS, L. P.; DE SOUZA, A. L.; MAZZEI, L.; DOS REIS, P. C. M. et al. Prognosis on the diameter of individual trees on the eastern region of the amazon using artificial neural networks. **Forest Ecology and Management**, v. 382, p. 161-167, 2016.

REIS, L. P.; TORRES, C.; DE SOUZA, A. L.; DE FREITAS, L. J. M. et al. Prognosis of diametric distribution by transition matrix after harvest in a forest in eastern amazon. **Ciência Florestal**, 28, n. 2, p. 715-724, 2018.

ROOPSIND, A.; WORTEL, V.; HANOEMAN, W.; PUTZ, F. E. Quantifying uncertainty about forest recovery 32-years after selective logging in Suriname. **Forest Ecology and Management**, v. 391, p. 246-255, 2017.

RUTISHAUSER, E.; HERAULT, B.; BARALOTO, C.; BLANC, L. et al. Rapid tree carbon stock recovery in managed Amazonian forests. **Current Biology**, v. 25, n. 18, p. R787-R788, 2015.

SANQUETTA, C. R.; ÂNGELO, H.; BRENA, D. A.; MENDES, J. B. Predição da distribuição diamétrica, mortalidade e recrutamento de floresta natural com matriz Markoviana de potência. **Floresta**, v. 24, n. 1/2, p. 23-26, 1995.

SCHULZE, M.; VIDAL, E.; GROGAN, J.; ZWEEDE, J.; ZARIN, D. Madeiras nobres em perigo: práticas e leis atuais de manejo florestal não garantem a exploração sustentável. **Ciência Hoje**, v. 36, p. 66-69, 2005.

SIST, P.; FERREIRA, F. N. Sustainability of reduced-impact logging in the Eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 243, n. 2-3, p. 199-209, 2007.

SOUZA, A. L.; SOARES, C. P. B. **Floresta nativas: estrutura, dinâmica e manejo** Viçosa, MG: 2013. 322 p.

STEPKA, T. F.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S. D. A. et al. Prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Mista com os métodos razão de movimentos e matriz de transição. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 64, p. 327-335, 2010.

TEIXEIRA, L. M.; CHAMBERS, J. Q.; SILVA, A. R. E.; LIMA, A. J. N. et al. Projeção da dinâmica da floresta natural de Terra-firme, região de Manaus-AM, com o uso da cadeia de transição probabilística de Markov. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 3, p. 377-384, 2007 2007.

VAN GARDINGEN, P. R.; VALLE, D.; THOMPSON, I. Evaluation of yield regulation options for primary forest in Tapajos National Forest, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 231, n. 1-3, p. 184-195, 2006.

VASCONCELOS, S. S.; HIGUCHI, N.; OLIVEIRA, M. V. N. Projeção da distribuição diamétrica de uma floresta explorada seletivamente na Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, v. 39, n. 1, p. 71-80, 2009.

VIDAL, E.; WEST, T. A. P.; PUTZ, F. E. Recovery of biomass and merchantable timber volumes twenty years after conventional and reduced-impact logging in Amazonian Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 376, p. 1-8, 2016.

WHITTAKER, R. H. **Communities and ecosystems**. New York: MacMillan Publishing Co. 1975