

BRUNO DE ALMEIDA LIMA

**EFEITO DA EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO NA FLORISTICA,
ESTRUTURA E PROGNOSE DIAMÉTRICA NA FLORESTA NACIONAL DO
TAPAJÓS, PARÁ**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Felipe Nicoletti
Coorientador: Prof. Dr. Thiago Floriani Stepka

**LAGES, SC
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Lima, Bruno de Almeida
Efeito da Exploração de Impacto Reduzido Na Florística,
Estrutura e Prognose Da Distribuição Diamétrica Na Flona Tapajós,
Pará / Bruno de Almeida Lima. -- 2021.
111 p.

Orientador: Marcos Felipe Nicoletti
Coorientador: Thiago Floriani Stepka
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2021.

1. Manejo florestal Sustentável. 2. Inventário florestal. 3. Matriz
de transição. 4. Amazônia. I. Nicoletti, Marcos Felipe . II. Stepka,
Thiago Floriani . III. Universidade do Estado de Santa Catarina,
Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Florestal. IV. Título.

BRUNO DE ALMEIDA LIMA

**EFEITO DA EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO NA FLORISTICA,
ESTRUTURA E PROGNOSE DA DISTRIBUIÇÃO DIAMÉTRICA NA FLONA
TAPAJÓS, PARÁ**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca Examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Marcos Felipe Nicoletti

(UDESC/Lages-SC)

Membro:



Prof. Dr. Rafael Rode

(UFOPA/Santarém-PA)

Membro:



Prof. Dr. Allan Libanio Pelissari

(UFPR/Curitiba-PR)

Lages, 25 de fevereiro de 2021

Dedico aos meus pais, Humberto e Rosenilda, e
meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Humberto e Rosenilda, pelo carinho, confiança e por serem os maiores apoiadores do meu objetivo. Serei eternamente grato a vocês dois, que priorizaram sempre a educação de seus filhos. Também agradeço aos meus irmãos pela cumplicidade. Amo todos!

Ao meu orientador, Marcos Nicoletti, por todo apoio, incentivo e conhecimentos valiosos compartilhados durante meu período de mestrado. Sua orientação ao longo dessa jornada foi essencial para meu desenvolvimento na pós-graduação. O senhor é um exemplo de excelente profissional, por sua dedicação e disposição em sempre ajudar seus orientados.

Ao meu coorientador, Thiago Stepka, pela parceria nessa dissertação. Suas contribuições foram fundamentais para elaboração desse trabalho. E obrigado por compartilhar seus ensinamentos durante suas disciplinas.

À Universidade Do Estado de Santa Catarina (UDESC), especialmente ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal pela estrutura oferecida para a realização deste mestrado. Um obrigado a todos os professores do curso de pós-graduação de Engenharia florestal pelas contribuições.

Agradecimentos a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) pela concessão da bolsa de estudo.

Ao laboratório de Manejo em Ecossistemas Florestais (LAMEF) da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) e à professora Lia Melo pelo suporte e auxílio na coleta dos dados.

Aos meus amigos, Bruno Rafael e Girlene Cruz, por todo apoio dado e momentos de descontração durante meu período em Lages. Obrigado também ajudarem em assuntos relacionados ao mestrado.

E por fim agradecer a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão desta dissertação.

RESUMO

LIMA, Bruno de Almeida. **Efeito da exploração de impacto reduzido e prognose da estrutura diamétrica na Flona Tapajós, Pará.** 2021. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2021.

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da exploração de impacto reduzido na estrutura, dinâmica da floresta e a prognose da estrutura diamétrica em três Unidades de Produção Anual localizadas na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. O trabalho foi dividido em três capítulos, na qual o primeiro abordou os efeitos decorridos do manejo florestal sustentável na composição florística e na estrutura da floresta. O segundo capítulo tratou da dinâmica de ingresso, mortalidade e incremento periódico após a atividade de exploração madeireira nos anos de 2007, 2008 e 2010 nas UPAs 2, 3 e 5 respectivamente. No terceiro capítulo, realizou-se a prognose da estrutura diamétrica pelo método da Matriz de transição. Os dados foram obtidos por meio do inventário florestal contínuo de parcelas permanentes (2.500 m²) medidas em quatro ocasiões, mensurando todas as árvores com diâmetro à altura do peito maior ou igual a 10 cm. A partir das coletadas dos dados, foram analisadas as variáveis de Área basal e Volume. Além disso, analisou-se a composição florística e a dinâmica da floresta (mortalidade, ingresso, incremento, iluminação de copa), bem como efetuou-se a prognose da estrutura diamétrica pelo método de matriz de transição. Diante dos resultados, a exploração de impacto reduzido realizada nas áreas de manejo provocou redução nas variáveis fitossociológicas, diversidade e composição florística na primeira medição após a extração seletiva, recuperando os valores nas medições seguintes aos padrões verificados antes da exploração, enquanto a distribuição diamétrica manteve o padrão de exponencial negativo em todas as ocasiões. Isso mostra que o manejo aplicado minimizou os impactos da exploração. Em relação a dinâmica, foi verificado a influência da exploração madeireira no aumento da mortalidade e ingresso após o manejo e ao longo dos anos a queda desses índices. As menores classes de diâmetro foram as mais suscetíveis às atividades de exploração, obtendo os maiores de valores de mortalidade. Os maiores incrementos em diâmetro, área basal e volume foram registrados no primeiro período. Árvores com grande exposição ao sol obtiveram alto incremento em diâmetro. A matriz de transição apresentou valores projetados bastantes próximos a estrutura real. A matriz probabilística 2007-2010 estimou resultados aderentes até 5 anos após a exploração de impacto reduzido, enquanto a matriz 2010-2013 até 8 anos após esta atividade.

Palavras-chave: Manejo florestal Sustentável; Inventário florestal; Matriz de transição; Incremento

ABSTRACT

LIMA, Bruno de Almeida. **Effect of reduced impact logging and prognosis of the diametric structure in Flona Tapajós, Pará.** 2021. 111 f. Dissertation (Master in Forest Engineering) – Santa Catarina State University. Post-Graduate Program in Forestry, Lages, SC, 2021.

The objective of the study was to evaluate the effects of exploration with reduced impact on the structure, dynamics of the forest and a prognosis of the diametric structure in three Annual Production Units required in the Tapajós National Forest, Pará. The work was divided into three chapters, in which the first addressed the effects of forest management on the floristic composition and structure of the forest. The second chapter dealt with the dynamics of income, mortality and periodic increase after the logging activity that occurred in the years 2007, 2008 and 2010 in APUs 2, 3 and 5 respectively. Chapter III will aim to make a prognosis of the diametric structure using the Transition Matrix method. The data were collected from the continuous forest inventory of permanent plots (2500 m²) that were measured on 4 occasions, measuring all trees with a diameter at chest height greater than or equal to 10 cm. From the information collected in the inventories, the following estimators were arranged: basal area and Volume. In addition, the floristic and dynamic composition of the forest (Mortality; Ingrowth, Increment; Forest light) was also analyzed, as well as the prognosis of the diametric structure using the transition matrix method. In view of the results, a reduced impact exploration obtained in the management areas caused a reduction in the phytosociological estimators, diversity, and floristic composition in the first carried out after the selective extraction and recovering the values in the second calls recovering to the patterns verified before the exploration in most of the variables evaluated, and the diametric distribution maintained the negative exponential pattern at all times. This shows that the management involved has minimized the impacts of forest exploration and maintenance. Regarding the dynamics, the influence of logging was verified in the increase in mortality and ingrowth after management and over the years the predetermined fall. The smallest diameter classes were the most susceptible to exploration activities, obtaining the largest of mortality values. The largest increases in diameter, basal area and volume were recorded in the first period. Trees with great exposure to the sun had a high increase in diameter. The presentation matrix estimates values quite close to the real structure. The 2007-2010 probabilistic matrix estimated adherent results up to 5 years after the exploration of reduced impact, while the 2010-2013 matrix up to 8 years after this activity.

Keywords: Forest management; Forest Inventory; transition matrix; increment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização das Unidades de Produção Anual na Floresta Nacional do Tapajós, Pará	38
Figura 2 - Número de espécies por família na Unidade de Produção Anual 2 (UPA 2) em 4 ocasiões, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará	43
Figura 3 - Número de espécies por família na Unidade de Produção Anual 3(UPA 3) em 4 ocasiões, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará	44
Figura 4 - Número de espécies por família na Unidade de Produção Anual 5(UPA 5) em 4 ocasiões, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará	44
Figura 5 - índice de Shannon (a), equabilidade de Pielou (J) (b), Número de espécies (c), em 4 ocasiões na Floresta Nacional do Tapajós, Pará	47
Figura 6 - Boxplot das variáveis (Densidade, Área basal e Volume) da Unidade de Produção Anual 2, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará	51
Figura 7 - Boxplot das variáveis (Densidade, Área basal e Volume) da Unidade de Produção Anual 3, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará	51
Figura 8 - Boxplot das variáveis (Densidade, Área basal e Volume) da Unidade de Produção Anual 5, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará	52
Figura 9 - Distribuição diamétrica das árvores mensuradas (árv ha^{-1}) em cada medição em 3 diferente UPAs, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará	54
Figura 10 - Tipos de iluminação nas copas das árvores	62
Figura 11 - Mortalidade de ingresso da UPA 2 em três períodos, Floresta Nacional do Tapajós, Pará.....	63
Figura 12 - Mortalidade de ingresso da UPA 3 em três períodos, Floresta Nacional do Tapajós, Pará.....	64
Figura 13 - Mortalidade de ingresso da UPA 5 em três períodos, Floresta Nacional do Tapajós, Pará.....	64
Figura 14 - Mortalidade e ingresso por centro de classe diamétrica, considerando o período 2006-2009, na UPA 2. Floresta Nacional do Tapajós, Pará	66
Figura 15 - Mortalidade e ingresso por centro de classe diamétrica, considerando o período 2007-2010, na UPA 3. Floresta Nacional do Tapajós, Pará	67
Figura 16 - Mortalidade e ingresso por centro de classe diamétrica, considerando o período 2010-2011, na UPA5. Floresta Nacional do Tapajós, Pará	68

Figura 17 - Incremento Periódico Anual em diâmetro, por centro de classe de dap, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. A: UPA 2; B: UPA 3; C: UPA 5.....	71
Figura 18 - IPA em diâmetro em diferentes tipos de iluminação de copa e em diferentes períodos em Unidades de Produção Anual, na Flona Tapajós, Pará	75
Figura 19 - Distribuição diamétrica observada e projetada pelo método matriz de transição considerando duas matrizes de probabilidade (2007-2010) e (2010-2013) para os anos de 2013 e 2016. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição de parcelas, ano das medições e intensidade de corte em cada Unidade de Produção Anual (UPA), Floresta Nacional do Tapajós.	39
Tabela 2 - Equações de volume desenvolvidas para inventário contínuo na Floresta Nacional do Tapajós	40
Tabela 3 - Composição florística, diversidade de Shannon (H') e equabilidade de Pielou (J) de 3 Unidades de Produção Anual (UPA) em 4 ocasiões, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará.....	41
Tabela 4 - Número de árvores total por hectare, Área Basal (G) e Volume (V) em cada UPA em 4 períodos, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará	49
Tabela 5 - Incremento Periódico Anual em diâmetro (cm ano^{-1}) em 3 Unidades de Produção Anual, Floresta Nacional do Tapajós, Pará.....	69
Tabela 6 - Incremento Periódico Anual em Área Basal ($\text{m}^2 \text{ha ano}^{-1}$) e Volume ($\text{m}^3 \text{ha ano}^{-1}$) em 3 Unidades de Produção Anual, Floresta Nacional do Tapajós, Pará.....	72
Tabela 7 - Matriz de probabilidade com dados das medições 2007 e 2010. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará	85
Tabela 8 - Matriz de probabilidade com dados das medições 2010 e 2013. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará	86
Tabela 9 - Distribuição diamétrica observada e projetada pelo método matriz de transição para os anos 2013 e 2016, utilizando matriz probabilística 2007-2010. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará	87
Tabela 10 - Distribuição diamétrica observada e projetada pelo método matriz de transição para os anos 2013 e 2016, utilizando matriz probabilística 2010-2013. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará	87
Tabela 11 - Teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para a diferença entre os valores observados e os estimados pela matriz de transição nos anos de 2013 e 2016, considerando a matriz probabilística 2007-2010. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará	89
Tabela 12 - Teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para a diferença entre os valores observados e os estimados pela matriz de transição nos anos de 2013 e 2016, considerando a matriz probabilística 2010-2013. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CC	Ciclo de corte
COOMFLONA	Cooperativa Mista da Flona Tapajós
dap	Diâmetro altura do peito medido à 1,30 m do nível solo
DMC	Diâmetro mínimo de corte
EIR	Exploração de Impacto Reduzido
Flona Tapajós	Floresta Nacional do Tapajós
H'	Shannon-Wiener
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IN	Instrução Normativa
IFT	Instituto Floresta Tropical
IPA	Incremento Periódico Anual
J'	Equabilidade de Pielou
MFS	Manejo Florestal Sustentável
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PP	Parcela Permanente
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
UPA	Unidade de Produção Anual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	15
2	OBJETIVOS	18
2.1	GERAL	18
2.2	ESPECÍFICOS	18
3	HIPÓTESES	19
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	20
4.1	FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS	20
4.2	CONCEITO DE MANEJO FLORESTAL NA AMAZÔNIA E SEU BREVE HISTÓRICO NA REGIÃO.....	22
4.3	EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO (EIR)	24
4.4	COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA	26
4.5	ESTRUTURA DA FLORESTA	27
4.6	PROCESSO DINÂMICO DA FLORESTA	28
4.6.1	Crescimento	29
4.6.2	Ingresso	30
4.6.3	Mortalidade	31
4.7	PROGNOSE DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA	31
5	CAPÍTULO 1 – EFEITOS DA EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO NA COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E NA ESTRUTURA EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA Densa NA AMAZÔNIA BRASILEIRA	35
5.1	MATERIAL E MÉTODOS	38
5.1.1	Área de estudo	38
5.1.2	Coleta e análise de dados	39
5.1.3	Análise estatística	41
5.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.2.1	Composição florística.....	41
5.2.2	Estrutura da florestal.....	48
5.3	CONCLUSÃO	56
6	CAPÍTULO 2 – DINÂMICA FLORESTAL DE ÁREAS SUBMETIDAS À EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO NA AMAZÔNIA ORIENTAL	57
6.1	INTRODUÇÃO	58
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	59
6.2.1	Área de estudo	59

6.2.2 Coleta e análise de dados	60
6.2.3 Análise Estatística	62
6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
6.3.1 Mortalidade e ingresso.....	62
6.3.2 Mortalidade e ingresso por classe de diâmetro	66
6.3.3 Incremento periódico anual	68
6.3.4 Incremento periódico anual em dap por classe diamétrica.....	69
6.3.5 Incremento periódico anual em Área basal e Volume.....	71
6.3.6 Incremento periódico anual por tipo de iluminação de copa.....	73
6.4. CONCLUSÃO	77
7 CAPÍTULO 3 – PROGNÓSE DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA DE UMA FLORESTA OMBROFILA Densa PELO MÉTODO DA MATRIZ DE TRANSIÇÃO	79
7.1 INTRODUÇÃO	80
7.2 MATERIAL E MÉTODOS	81
7.2.1 Área de estudo	81
7.2.2 Coleta e análise de dados	82
7.2.3 Prognose de distribuição diamétrica	82
7.2.4 Avaliação estatística da prognose	83
7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
7.4 CONCLUSÃO	91
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	92
REFERÊNCIAS.....	93
ANEXOS.....	109

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Bioma Amazônico é responsável pela maior área contínua de floresta tropical do mundo, além de ser fonte de fascínio para vários cientistas (CORREIA *et al.*, 2016; FAO, 2011). A floresta Amazônica possui uma alta diversidade de espécies, em que se estima que haja em torno de 12.000 a 16.000 espécies de árvores (DEMARCHI *et al.*, 2018). Em função desse contingente florístico único e rico, há um amplo potencial madeireiro, com árvores de valor comercial.

A partir da segunda metade do século XX, se intensificaram grandes projetos governamentais na floresta tropical amazônica e, com isso, tornou-se alvo de interesse pela pesquisa florestal na região (SILVA, 2015). Paralelamente ao fortalecimento destas pesquisas na região Norte do Brasil, o desmatamento e a exploração convencional cresceram nas últimas décadas, cujas atividades empregam métodos não planejados sem estudos prévios, ocasionando alto estado de degradação (BULFE *et al.*, 2009; NEPSTAD *et al.*, 2013; WEBB, 1997). Embora haja consenso da importância da floresta amazônica para manutenção dos serviços ecossistêmicos, as constantes pressões e a exploração inadequada dos recursos ameaçam sua conservação (AMARAL *et al.*, 2019). Em decorrência disso, surge a necessidade de utilizar ferramentas mitigadoras como alternativas frente ao uso desordenado dos recursos florestais.

Segundo Amaral *et al.* (2019), o Manejo Florestal Sustentável (MFS), ao contrário de outras formas de uso da terra praticada na Amazônia, é atualmente um meio viável para exploração sustentável dos recursos florestais. Na Amazônia, as técnicas de Exploração de Impacto Reduzido (EIR) utilizadas no MFS obtiveram benefícios em suas aplicações em relação a exploração convencional (OTANI *et al.*, 2018).

Para manejar é fundamental conhecer a estrutura, a ecologia e as informações qualitativas da floresta, como bases para o planejamento de uma exploração atrelada aos princípios sustentáveis. Todos esses parâmetros, aliados às análises fitossociológicas, formam uma base de recursos disponíveis onde o manejador planejar sua tomada de decisão. Fica evidente que o planejamento é o princípio por trás do manejo florestal sustentável, ou seja, que possibilitar o uso correto da floresta (ESPADA *et al.*, 2015).

Apesar de todo o planejamento adotado para gerar poucos impactos no MFS, danos ainda ocorrem na estrutura remanescente. Estudos relatam que há uma perda de área basal em torno de 0,5 m² e em média 4 árvores atingidas de alguma forma pela extração de uma árvore, à medida que a intensidade da exploração aumenta esses danos variam, chegando até sete danificadas pela EIR (FERREIRA, 2015; HIGUCHI *et al.*, 1999; SHENKIN *et al.*, 2015). Portanto, não basta apenas obter informações pré-exploratórias para subsidiar o manejo, é

importante também analisar os danos e as mudanças ao longo dos anos que as intervenções causam e entender quanto tempo a floresta leva para recuperar a estrutura e a disponibilidade de madeira.

O monitoramento dos danos após a EIR, para compreender seus efeitos a longo prazo, pode ser realizado através da avaliação da estrutura e da diversidade de espécies arbóreas das florestas manejadas; como também da dinâmica florestal (mortalidade, ingresso, crescimento), para a condução e estratégias no MFS, além de ajudar a entender o quanto as áreas manejadas são impactadas pelo corte seletivo. Os resultados desse monitoramento também podem inferir se a quantidade e qualidade de espécies comerciais em termos de manutenção do seu estoque madeireiro são mantidos, mas também contribuem para compreensão das mudanças dos processos ecológicos, como padrões de mudança, riqueza florística e as comunidades de plantas pós-colheita (REES *et al.*, 2001). Entender a reposta a longo prazo do manejo é crucial, porque os efeitos podem variar de acordo com a escala de tempo que está sendo considerada (DE AVILA *et al.*, 2015), mas estudos dessa abordagem de longos períodos após a exploração ainda são escassos. Devido esses poucos estudos de monitoramento torna-se ainda mais relevante a realização desta pesquisa.

Em resumo, o manejo florestal na Amazônia possui o intuito de propor o gerenciamento adequado dos recursos naturais e garantir sua contínua oferta. Há, entretanto, um desafio no pós-manejo da avaliação do cenário da floresta tropical no próximo ciclo de corte. Segundo Scolforo *et al.* (1996), além de toda a complexidade de sua composição de espécies com diferentes comportamentos silviculturais, tecnológicos e ecológicos, as informações sobre o crescimento de árvores neste tipo de vegetação são escassas em áreas com e sem manejo. Esses estudos são de importância na aplicação do plano de manejo, definição do ciclo de corte e na projeção de árvores por classe de diâmetro ao longo dos anos, para garantir o fluxo de contínuo de madeira, uma vez que a falta de planejamento acarretará definição de critérios mal estabelecidos e na falta de compatibilidade entre ações e objetivos.

Por isso, obter informações da dinâmica de crescimento da floresta explorada, modelos de crescimento, projeção do estoque futuro poderão propiciar quando a floresta estará novamente apta a um novo ciclo de corte, permitindo ao manejador selecionar espécies para exploração ou proteção e prescrever tratamentos silviculturais (CRUZ, 2014; SILVA *et al.*, 2002). O método Matriz de Transição (MT) é utilizado para projetar esse crescimento das florestas, fazendo a prognose da dinâmica da estrutura diamétrica. Na matriz de transição as projeções dependem de uma situação anterior para projeção de uma situação futura, a partir disso pode-se prever o momento que a floresta recupera seu estoque após a exploração florestal

(MACHADO *et al.*, 2017; OLIVEIRA *et al.*, 2020). Este modelo é indicado para floresta tropical amazônica devido ser um processo estocástico para predição diamétrica, número de árvores mortas, número de árvores sobreviventes e número de árvores colhidas (ROCHA, 2001). Para a prognose de floresta nativa a matriz de transição é uma alternativa, pois não se apoia em variáveis de difícil mensuração como idade e índice de sítio (SANQUETTA *et al.*, 1996).

Essa projeção da estrutura diamétrica através da MT pode ser uma ferramenta útil no planejamento do manejo, uma vez que possibilita realizar inúmeras ações para melhoria de qualidade e de produtividade e para satisfazer as necessidades presente e futura da sociedade por produtos e serviços da floresta. Dentre essas ações estão principalmente a definição do ciclo de corte, do estoque de exploração e do número de dinâmica da estrutura simetria, entre outras. Dessa forma, possibilita assegurar a sustentabilidade e a viabilidade da vegetação a ser explorada em período futuro (GAMA; SOUZA, 2004).

São poucos os estudos dos usos de métodos de predição e prognose para floresta tropical, principalmente na região amazônica. Por isso, é importante avaliar a projeção de floresta submetida a exploração de impacto reduzido dentro da Flona Tapajós. Essa ferramenta pode contribuir no planejamento do estoque das futuras florestas e também para o aumento do conhecimento desse tema para a região.

Assim, depreende-se a importância de avaliar a evolução do número de árvores ao longo do tempo como ferramenta de auxílio no manejo. Adicionalmente, há a necessidade de estudar a estrutura e a dinâmica florestal de áreas submetidas a exploração madeireira, pois, apesar dos avanços das pesquisas florestais na Amazônia sobre esses temas, alguns componentes ainda precisam ser investigados (COLPINI, 2008). A sustentabilidade da exploração madeireira é um desafio para empresas e pesquisadores na região Norte. Por isso, obter informações do estado da floresta antes e pós EIR, bem como seu comportamento futuro, ajudam a manter esse sistema de manejo ainda mais ecologicamente viável.

A partir do monitoramento de parcelas permanentes instaladas em áreas de concessão pública destinadas à COOMFLONA na Floresta Nacional Tapajós, este estudo visa contribuir com informações sobre as florestas manejadas. A dissertação está organizada em três capítulos. O primeiro consiste na avaliação do efeito da exploração de impacto reduzido (EIR) na composição florística e estrutura da floresta em três Unidades de Produção Anual (UPA). O segundo capítulo aborda as dinâmicas de ingresso, mortalidade e incremento periódico após a EIR, enquanto o terceiro capítulo objetivou realizar a prognose da estrutura diamétrica pelo método da Matriz de Transição.

2 OBJETIVOS

2.1. GERAL

Analisar o efeito da exploração de impacto reduzido na composição florística, na estrutura horizontal e na dinâmica florestal, bem como realizar a prognose da estrutura diamétrica de uma Floresta Ombrófila Densa na Amazônia brasileira.

2.2. ESPECÍFICOS

- Avaliar as alterações ao longo dos anos na composição florística, diversidade e densidade, área basal e volume em 3 Unidades de Produção Anual (UPA)
- Analisar o incremento em diâmetro à 1,3 m do solo (dap), área basal e volume, ingresso, mortalidade nas áreas exploradas.
- Determinar qual unidade de produção sofreu mais impactos por meio da mortalidade e danos causados com a retirada das árvores.
- Realizar a prognose da estrutura diamétrica de áreas exploradas por meio da matriz de transição com base em duas matrizes probabilísticas (2007-2010 e 2010-2013) para os anos de 2013 e 2016 e compará-las com suas respectivas estruturas reais.

3 HIPÓTESES

- É possível que a exploração de impacto reduzido não altere de forma significativa estatisticamente a composição florística e a estrutural florestal (densidade, área basal e volume)
- Espera-se que o ingresso e a mortalidade sejam maiores após a exploração e depois ao longo dos anos essas taxas caiam com o fechamento do dossel. E que os maiores efeitos de mortalidade e ingressos ocorram nas classes diamétricas inferiores.
- O método matriz de transição projeta valores estimados da distribuição iguais estatisticamente aos valores da estrutura diamétrica observada.
- A probabilidade de transição do intervalo 2007-2010 e 2010-2013 podem ser satisfatórias para projeção da estrutura diamétrica pós-manejo.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS

A Floresta Nacional do Tapajós (Flona Tapajós) é uma Unidade de Conservação (UC) criada pelo decreto nº 73.684, de 19 de fevereiro de 1974, e incluiu a população que já residia nas margens do Rio Tapajós (MMA, 2008). Está localizada próxima à cidade de Santarém, no Estado do Pará, e abrange os municípios de Belterra, Aveiro, Placas e Rurópolis e possui atualmente uma área de 527.319 hectares, a UC também tem uma grande riqueza sociocultural representada por cerca de mil famílias e quatro mil moradores distribuídos em 21 comunidades, além de três aldeias indígenas da etnia Munduruku (Bragança, Takuara e Marituba) (ICMBio, 2018).

A Flona Tapajós pertence à categoria Floresta Nacional do grupo das unidades de conservação de uso sustentável de acordo com o SNUC (Sistema Nacional de Unidades de Conservação) lei nº 9.985/2000, é uma floresta ombrófila densa, caracterizado pela cobertura vegetal de espécies predominantemente nativas, com o objetivo do uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas. No plano de manejo da Flona Tapajós é permitida a permanência das populações tradicionais o uso de recursos florestais e a ampla participação das populações nas decisões e ações na floresta (MMA, 2008).

Essa Flona é uma das unidades que mais abriga pesquisas autorizadas no Brasil, em torno de 391, sendo a quinta no ranking das 20 unidades com mais pesquisas autorizadas de 2007 a 2015, segundo ICMBio (2016). O início de pesquisas em manejo florestal na Floresta Nacional do Tapajós iniciou na década de 1970 em uma área de 64 ha, localizado a altura do km-67 da rodovia BR-163 (Santarém-Cuiabá), e em 1981 as pesquisas foram ampliadas para uma área de 144 ha no km-114 (CARVALHO, 1987), e atualmente contam pesquisas em várias partes da Flona. Os fatores que fazem da Flona Tapajós ser uma unidade bastante estudada na Amazônia é a cooperação entre os gestores da Unidade de Conservação e pesquisadores, riqueza biológica, o fácil e rápido acesso, investimentos e projetos de pesquisa na UC.

A criação da Flona se deu num contexto de necessidade destinar novas reservas florestais e para geração de base de dados sobre recursos naturais para dar suporte a projetos de base florestal na região. E com isso a criação dessa unidade de conservação objetivou promover o uso múltiplo de recursos sob o regime de rendimento sustentado que começara a ser introduzido na Amazônia (BUCHMANM, 2016; HIGUCHI, 1996). A partir de seu estabelecimento a Flona Tapajós foi palco para diversas pesquisas e experimentos como

(CARVALHO, 1992; COSTA FILHO *et al.*, 1980; OLIVEIRA *et al.*, 2005; SILVA, 1989; SILVA *et al.*, 1985; SILVA *et al.*, 1995), que serviram como base para estabelecer diretrizes de manejo e silvicultura de florestas nativas na Amazônia Legal e subsidiar políticas públicas.

A promulgação da SNUC garantiu aos moradores tradicionais da Flona sua participação como sociedade civil na gestão e tomadas de decisões a respeito da UC. Nos artigos 4º e 5º podemos ver isso bem definido nos seguintes trechos respectivamente aos artigos, “proteger os recursos naturais necessários à subsistência das populações tradicionais, respeitando e valorizando seu conhecimento e cultura e promovendo-as social e economicamente” e “asseguem a participação efetiva das populações locais na criação, implantação e gestão das unidades de conservação”. Isso mostra que os moradores tradicionais da Floresta Nacional do Tapajós devem ter acesso aos recursos provenientes da Unidade para seu sustento e a fim de obter benefícios econômicos, sociais e ambiental através do manejo florestal sustentável (RIBEIRO, 2013). Para que os moradores pudessem usufruir dessas prerrogativas as comunidades deveriam se organizar e buscar meios legais capazes de gerir e se tornarem sustentáveis nesta atividade. A exploração madeireira, entretanto, em escala comercial na Flona ainda era motivo de desconfiança e resistência entre os moradores, porque questionavam a entrada de uma empresa para explorar madeira em larga escala dentro da Unidade de Conservação sem que eles, que moravam a mais de 100 anos na Flona Tapajós, pudessem usufruir dos benefícios advindos da Floresta (MMA, 2008; RIBEIRO, 2013). Esse cenário mudou quando em 2002 o Projeto de Apoio ao Manejo Florestal Sustentável na Amazônia/PPG7 (ProManejo) excetuado pela IBAMA promoveu debates e oficinas com os comunitários abordando as questões técnicas, benefícios sociais, gargalos e oportunidades do manejo florestal comunitário na área (MMA, 2008).

O ProManejo promoveu a capacitação técnica, intercâmbios, orientações dos moradores, culminando em 2003 para que fosse realizado por meio da portaria N° 40/2003 do IBAMA, em caráter experimental o Manejo Florestal Comunitário para as comunidades da Flona Tapajós. Esse projeto foi conhecido como Projeto Ambé, na qual destinou uma área de 32.586,56 hectares para o manejo comunitário em harmonia com o Plano de Manejo da Floresta Nacional do Tapajós. E é a partir desse cenário de relação de projetos governamentais com os direitos das comunidades locais garantidos pela SNUC, que em 2005 é criada a Cooperativa Mista da Flona Tapajós (COOMFLONA) com o intuito de fornecer produtos e serviços do manejo florestal sustentável em consonância com o tripé da sustentabilidade com benefícios sociais, econômicos e ambientais.

Há diversas iniciativas produtivas na Flona Tapajós além do manejo florestal: extração e fabricação de produtos a partir do látex, extração de óleos de Andiroba e Copaíba, confecções de bijuterias, fabricação de móveis artesanais, comercialização de frutas in natura, produção de polpas e licores, pescado e turismo comunitário (ICMBio, 2018). A Flona Tapajós é dividida em 7 áreas de zoneamento: populacional, manejo florestal madeireiro, manejo florestal não-madeireiro, área de preservação, corredor ecológico, recuperação e amortecimento. Cada área possui uma série de diretrizes que as encaixam em níveis de uso que são: intensivo, semi-intensivo, semi-restrito e restrito. Nas áreas de uso intensivo é permitida a extração de produtos madeireiros e não-madeireiros, atividades de pesquisa, educação ambiental e ecoturismo, e na área de uso restrito não é autorizado o acesso e intervenção humana, com exceção de pesquisa científica.

4.2. CONCEITO DE MANEJO FLORESTAL NA AMAZÔNIA E SEU BREVE HISTÓRICO NA REGIÃO

O Manejo Florestal Sustentável (MFS) pode ser definido como o uso de práticas de planejamento e princípios de conservação, garantindo que uma floresta possa suprir de forma contínua um determinado produto. O MFS busca reduzir os impactos da exploração e assegurar a sustentabilidade da produção florestal através do planejamento da colheita e monitoramento do crescimento da floresta dando subsídios as tomadas de decisões do manejador (ESPADA *et al.*, 2015). E no contexto de Amazônia o manejo florestal sustentável torna-se importante, já que as florestas tropicais por possuírem alta diversidade de espécies são bastante dinâmicas e interdependentes uma das outras nas estratégias de sobrevivência, por isso aplicar uma intervenção de baixo impacto para não prejudicar essas relações ajudam a manter a resiliência da floresta. O manejo florestal se caracteriza pela adoção de sistema policíclicos com organização de atividades, os quais são baseados no uso da mesma área em períodos diferentes, promovendo um ciclo de corte da floresta e conduzi-la a uma nova intervenção (SILVA, 2015).

Quando se analisa a história da exploração florestal na Amazônia podemos dizer que há dois grupos que utilizam a floresta com fins econômicos ou subsistência: a indústria madeireira e grupos sociais dependentes da floresta para sua sobrevivência. Este último grupo representa os extrativistas, ribeirinhos, assentados, indígenas e remanescentes de quilombo, e o manejo florestal por esses representantes é conhecido como Manejo Florestal Comunitário (MFC) que pode ser considerado uma importante atividade para inibir a exploração predatória.

Os primeiros estudos na área florestal na Amazônia ocorreram entre os anos de 1954 a 1961 onde a cooperação projetos governamentais brasileiro e organizações internacionais como a FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) executaram atividades na

região amazônica principalmente na bacia do rio Tapajós e Xingu. Essas atividades iam desde inventários florestais a mapeamento dos recursos do bioma e solo da Amazônia, e esses levantamentos identificaram o grande potencial madeireiro da floresta amazônica (SUDAM, 1974; MMA; IBAMA, 2004). A partir das informações obtidas dos órgãos foram instalados experimentos na Amazônia brasileira voltados ao manejo florestal como em 1957 na Reserva de Curuá-una, Oeste do Estado do Pará, onde foram aplicadas técnicas silviculturais e de manejo de florestas nativas adaptadas do sudeste Asiático para a realidade da região e para testar o *Tropical Shelterwood System*, além da construção da serraria na antiga sede da SUDAN, onde atualmente está localizada a Universidade Federal do oeste do Pará, para processamento de madeira (ANDRADE, 2020; FERREIRA *et al*, 1999).

A partir da década de 1970 iniciaram as pesquisas Floresta Nacional do Tapajós uma delas no âmbito do projeto FAO/BRA-45 que foi conduzido pelo Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal (PRODEPEF) do extinto IBDF. Em 1978 a Embrapa Amazônia Oriental - CPATU (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) começou a atuar na Flona que promoveu uma das primeiras explorações na Amazônia e o primeiro ciclo de corte na unidade em 1979 e 1982 com as diretrizes do manejo florestal (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2010, FERREIRA *et al.*, 1999). Além do pioneirismo nessa unidade de conservação, outras experiências se destacaram como a Estação de Silvicultura do Instituto de Pesquisas da Amazônia - ZF-2/INPA cuja exploração ocorreu entre 1987 e 1988 (MAZZEI; RUCHEL, 2014).

Outras instituições, além das já citadas anteriormente, desenvolveram pesquisas correlatas importantes, destacam-se o Museu Paraense Emilio Goeldi, a Faculdade de Ciências Agrárias do Pará (FCAP), Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) e a Faculdade de Tecnologia do Estado do Acre (FUNTAC), que desenvolveram também trabalhos em parceria com as comunidades locais para o uso múltiplo do manejo florestal.

Nos anos de 1990 houve contribuições de conhecimento técnico-científico para o MFS amazônico por parte de organizações não governamentais, que continuam até hoje, como Instituto do Homem e do Meio Ambiente Amazônico (IMAZON), Fundação Floresta Tropical (FFT), o Instituto Sócio Ambiental (ISA) e o Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) (FERREIRA *et al.*, 1999), que contribuem atualmente com excelentes estudos, abordando o setor florestal da região com informações não só técnicas como também dados do ponto de vista econômicos e sociais que o manejo florestal sustentável está inserido.

Apesar das várias pesquisas feitas na Amazônia em relação ao MFS que mostra seus benefícios ambientais através seu planejamento o mercado de madeiras ilegal sempre foi e ainda

é desleal. Por isso, entre 2001 e 2005, o Centro Internacional de Investigação Florestal (CIFOR) juntamente com a Agência dos Estados Unidos para Desenvolvimento Internacional (USAID) financiaram o projeto “*Restrições e oportunidades para a adoção de práticas de manejo em florestas Amazônicas*” no Brasil, Bolívia e Peru. O objetivo era entender quais eram as barreiras e as oportunidades enfrentadas pelas empresas em adotar o manejo florestal em escala industrial no meio da região norte para que no final fossem apresentadas análises, sugestões de políticas de incentivo visando a aplicação de boas práticas (ANDRADE, 2020, SABOGOAL *et al.*, 2005). Segundo as conclusões desse projeto, o empresário que adotava o manejo florestal tinha dificuldades burocráticas em órgãos governamentais, competição com empresas clandestinas que adotavam a exploração convencional predatória, falta de segurança fundiária e desconfiança da sociedade com as atividades praticadas.

Simultaneamente ao crescimento dos estudos sobre manejo florestal sustentável na Amazônia, o setor madeireiro cresceu na região por três diferentes razões: primeira foi a construção das principais estradas da região norte nos anos de 1960 e 1970. Essas estradas eram a rodovia Belém-Brasília (BR-153), rodovia Transamazônica (BR-230), e a rodovia Santarém-Cuiabá, que foram iniciativas do governo federal para interligar o restante a Amazônia ao restante do país. A segunda razão foi o esgotamento do estoque de madeiras folhosas do sul do Brasil, e o crescimento da economia nacional que demandou por madeiras produzidas no Norte. E a terceira razão foi a abundância de madeiras a baixos custos devido grande parte das explorações serem feitas em terras devolutas e sem os custos do processo de licenciamento e planejamento que a atividade requer (FERREIRA *et al.*, 1999; UHL; VIEIRA, 1989).

Até o início dos anos 2000 ainda não havia conjunto de normativas e eficiência fiscalizatória e licenciadora, além do mais a ausência de regulamentação fundiária facilitava o uso indiscriminado da terra. Em 2006, foi promulgada a Lei de Gestão de Florestas Públicas (Lei Federal 11.284/2006), que trata das florestas públicas brasileiras para a produção sustentável e tem como objetivo dar acesso a floresta ao empreendedor florestal (Empresas ou comunidades organizadas) por prazo compatível com as necessidades do manejo, o que vemos ainda é persistência do uso predatórios dos recursos florestais e as condições de competição desleal da madeira (IFT, 2014; FERREIRA *et al.*, 2019; SABOGAL *et al.*, 2005).

4.3. EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO (EIR)

A Exploração de Impacto reduzido (EIR) é uma parte integrante do Manejo Florestal, que segundo Espada *et al.* (2015) é uma alternativa à exploração convencional, na qual a exploração é executada segundo um planejamento detalhado e uso de técnicas especiais de

exploração florestal. É uma parte crucial para a execução correta do que foi previsto no manejo florestal.

A EIR permite que a floresta se recupere até a próxima colheita, uma vez que são deixadas árvores em pé e é realizado planejamento para redução dos danos a toda a vegetação, inclusive à regeneração natural (HIRAI *et al.*, 2012). A técnica também busca causar poucos danos ao solo, evitando a erosão e principalmente mantendo a regeneração natural (BARRETO, 1988). Além da atividade de corte e arraste, Sist & Ferreira (2011), complementam afirmando que inventário das árvores comerciais e o planejamento das estradas, ramais e pátios para a retirada da madeira são exemplos de ações de EIR.

Economicamente, a exploração de baixo impacto é mais viável do que a exploração predatória, pois diminui o volume de madeira desperdiçada na colheita. Os inventários pré-exploratórios de madeira em pé realizados proporcionam uma vantagem de mercado para os donos da terra e serrarias que podem estabelecer contratos antecipados com compradores, baseados no conhecimento dos volumes das espécies comerciais. O corte direcionado das árvores proporciona a segurança dos trabalhadores e diminui os riscos de acidentes, dentre outros (FIGUEREDO *et al.*, 2008).

Estudos realizados na Amazônia têm demonstrado a importância da EIR. Holmes *et al.*, (2004), verificaram que o custo de produção da madeira manejada é menor do que a madeira produzida na exploração convencional, devido ao melhor planejamento e a diminuição dos desperdícios durante as operações de corte. Gouveia (2015), comparou a extração convencional com a de manejo florestal para verificar os seus impactos sobre a vegetação. Foi observado que na área onde ocorreu manejo o crescimento diamétrico das espécies foi significativamente superior que na área de extração convencional.

A Exploração de Impacto Reduzido além de proporcionar o segundo ciclo de corte em um espaço de tempo menor do que a exploração convencional contribui para a manutenção da biodiversidade e pode sustentar a indústria madeireira, que ainda é um dos maiores geradores de renda da região Norte (REIS *et al.*, 2010). Embora a EIR siga diretrizes para explorar a floresta de forma sustentável que cause baixos níveis de danos, os efeitos da exploração das florestas nativas precisam ser cuidadosamente planejados.

Em relação a parte técnica da EIR, ela está dentro de várias etapas que constituem no manejo floresta na Amazônia que são as seguintes de acordo com IFT:

- a) macroplanejamento da exploração florestal;

- b) microplanejamento incluindo as atividades pré-exploratórias do MFS;
- c) atividades de exploração dos recursos florestais, também chamada de Exploração de Impacto Reduzido (EIR);
- d) atividades pós-exploratória, incluindo as operações de silvicultura pós-colheita.

Em relação a 3ª etapa, que é o escopo dessa seção, esse método inicia com a escolha direcional das árvores pela equipe de derrubada composta pelo operador de motosserra e um ajudante. Mas antes é realizado o teste do oco nas árvores para a avaliação de seu aproveitamento e se poderão ser derrubadas. Em seguida, caso não apresente oco a árvore estará apta a ser explorada, o ajudante da equipe fará um caminho de fuga a fim de garantir a segurança deste grupo, e o operador realizará a derruba da árvore utilizando a técnicas de corte direcionada adequada sempre observando a disposição que menor atinja as árvores remanescentes. Essa técnica de corte dependerá de cada situação, pois há algumas árvores que por possuírem certas características tecnológicas, como inclinação do fuste elevada e tensão de crescimento, demandam um corte específico, por exemplo é o caso da Maçaranduba (*Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach) e a Jarana (*Lecythis lurida*), que devido aos altos níveis de tensão racham com mais facilidade durante a derrubada. Depois do corte, as árvores são traçadas e a equipe também verifica se há possibilidade de fazer aproveitamento de madeira no galho das árvores, sendo que este aproveitamento de ter no mínimo 3m de comprimento com 45cm de diâmetro. As toras traçadas são arrastadas pelo trator *Skidder* pela trilha de arraste até o pátio de toras. A trilha de arraste é feita no planejamento da infraestrutura na área explorada para facilitar o transporte das toras e minimizar os danos árvores que ficaram em pé e o desgaste das máquinas.

No pátio de toras registradas com o número de identificação que informará a Unidade de produção (UPA), Unidade de Trabalho (UT) para a rastreabilidade que garantirá ao comprador a segurança que a árvore foi extraída conforme a legislação. Além disso, outras atividades são realizadas no pátio como a cubagem e empilhamento.

4.4. COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA

A composição florística é o conjunto de espécies ocorrentes na formação vegetal, constituindo a base para a execução de comparações quantitativas e qualitativas entre comunidades vegetais (PINHEIRO, 2011). Esses estudos iniciam-se com a coleta do material botânico, fértil se possível, das espécies arbóreas para ser classificado e identificado, resultando na listagem de espécies amostradas na área, agrupadas por famílias, conforme o sistema taxonômico vegetal utilizado na classificação (SOUZA; SOARES, 2013). Além da listagem de

espécies, a análise florística inclui também o cálculo do índice de similaridade, diversidade, agregação e associação de espécies.

Identificar as espécies permite conhecer como está composta a floresta, por conseguinte, sua autoecologia (p.ex. capacidade de regeneração natural, densidade relativa, dentre outras.), permitindo assim um melhor gerenciamento do recurso, ou seja, a avaliação da área a ser explorada a partir da listagem de espécie e quantidade de espécimes encontrados permitirá ou não a exploração de uma determinada área (PROCÓPIO; SECCO, 2008).

Conhecer a dinâmica da composição florística após a exploração ajudará o manejador a tomar decisões para práticas silviculturais que favoreça o crescimento e estabelecimento de espécies de valores comerciais (COSTA, et. al. 2002). Por isso a necessidade de realizar estudo que retratem a realidade da floresta após a exploração, pois com essas informações em mãos, ações de manejo de conservação ou mesmo recuperação de formações florestais podem ser adotadas (COLPINI, 2008).

No caso da Amazônia estudos da composição florística começaram com os trabalhos descritivos de Huber e Le Cointe em 1909 e 1911, respectivamente. Em 1934, Raunkiaer deu um enfoque mais quantitativo em seus trabalhos. Mas foi a partir da década de 1950 com Pires Dobzhansky e Black que foram analisadas a densidade e distribuição das espécies. Nesses trabalhos e outros posteriores confirmaram a alta heterogeneidade na composição na região Amazônia. Lima Filho *et al.*, (2004) em pesquisa na região norte também relata a alta diversidade de espécies, e especificamente na região da Flona Tapajós, que é a área de estudo desse projeto, Gonçalves e Santos (2008) obtiveram resultados que apresentam uma elevada diversidade florística no componente arbóreo com índice de Shannon-Weaver igual a 4,22.

4.5. ESTRUTURA DA FLORESTA

A análise estrutural fornece a base ecológica necessária a compreensão da relação das espécies vegetais que vai permitir o planejamento adequado do uso dos recursos florestais (PINHEIRO, 2011; SEITZ, 1988). Isso contribui para a formulação e aplicação de ações ambientais que visam garantir a sustentabilidade de um projeto de base florestal (GAMA *et al.*, 2007). O conhecimento da estrutura da floresta, juntamente com o estudo da composição florística, permite o planejamento e estabelecimento de sistemas de manejo com produção sustentável, condução da floresta a uma estrutura balanceada, bem como aplicação de técnicas silviculturais adequadas (SILVA *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2006).

A floresta tem sua análise estrutural feita pela avaliação da estrutura horizontal e vertical, sendo a primeira pelas estimativas de densidade, frequência de espécies dominância e a segunda aborda a posição fitossociológica e a regeneração natural (ANDRADE *et al.*, 2015).

Tais parâmetros são obtidos por meio de inventários florestais, utilizando diversas parcelas distribuídas, aleatória ou sistematicamente, sobre a área de estudo (FREITAS; MAGALHÃES, 2012). Para Gurevitch *et al.* (2009) há duas importantes questões para a análise da estrutura populacional da floresta, uma se deve ao fato de que diferentes tipos de indivíduos exercem efeitos distintos sobre o crescimento populacional, e a outra as plantas individualmente podem variar em muitas ordens de grandeza em relação ao tamanho, à forma, ao status fisiológico, e consequentemente, quanto a sua importância para o crescimento populacional.

Há vários estudos voltados para o conhecimento da estrutura da floresta amazônica, haja vista a complexidade dos diferentes fatores ambientais que influenciam na composição florística dos ambientes (SILVA *et al.*, 2011). Na Amazônia uma das formas de tornar o manejo florestal sustentável eficiente é o conhecimento estrutura e da sua relação com a diversidade e produtividade da floresta (RIBEIRO *et al.*, 2013), além disso a manutenção da floresta é fundamental para o sucesso do empreendimento de exploração na Amazônia.

Portanto é fundamental a análise estrutural da floresta, principalmente na região amazônica que apresenta alta complexidade e diversidade grande de espécies, e vai permitir determinar o estágio em que se encontra a vegetação e os distúrbios sofridos, principalmente pela atividade de exploração.

4.6. PROCESSO DINÂMICO DA FLORESTA

A dinâmica florestal é uma característica fundamental da floresta, por meio da qual se mantém em equilíbrio, mantém a sua estrutura e composição ao longo do tempo e seu estado atual é resultado da interação de vários processos como a mortalidade, ingresso, crescimento e regeneração (COLPINI *et al.*, 2010).

Segundo Pereira-Silva (2004), pode-se entender a dinâmica de uma floresta através de algumas informações fundamentais como a avaliação de crescimento através dos incrementos em diâmetro, área basal e volume em um determinado intervalo. Mello (1999) acrescenta que o recrutamento de indivíduos, que é basicamente a migração de plântulas para uma nova etapa de medição, e mortalidade, que é o número de plantas que morrem durante um intervalo de tempo, também são informações de grande relevância para o entendimento da dinâmica florestal.

O entendimento das taxas e processos de mortalidade de árvores em todas as escalas contribui para o conhecimento dos sistemas naturais, sendo necessários para avançar no entendimento da demografia das árvores, e ainda são importantes indicadores da função do ecossistema (ROSSI *et al.*, 2007). Estudos de recrutamento de plântulas e de crescimento populacional são indicados como processos ecológicos de elevada importância para a

compreensão do funcionamento e dinâmica do ecossistema (SANTOS *et al.*, 2007), além de serem componentes essenciais da resiliência das florestas (ZHANG *et al.*, 2015).

Para conhecer a dinâmica florestal, faz-se necessário a realização do inventário contínuo com a instalação de parcelas permanentes, que devem ser mantidas e medidas periodicamente para acompanhar o processo de desenvolvimento da floresta, ou seja, possibilitar o entendimento dos processos por meio dos quais ocorrem as mudanças, em níveis de espécies e para a floresta como um todo (FIGUEREDO-FILHO *et al.*, 2010). Estudos como estes influenciam diretamente na tomada de decisões no manejo florestal, principalmente, na determinação do ciclo de corte de áreas manejadas.

Segundo Espada *et al.*, (2014), esse tipo de decisão depende de muitos anos de acompanhamento da floresta para entender seu comportamento, permitindo a intervenção no povoamento em uma intensidade que não provoque alterações irreversíveis e possibilitando que a floresta atinja seu máximo potencial produtivo (AMARO *et al.*, 2008).

A previsão sobre o processo de substituição numa floresta permite que possamos nos posicionar, propor estratégias e métodos para conservação da área e manutenção ambiental (BOTEZELLI *et al.*, 2005). Neste contexto, quanto maior o conhecimento da dinâmica e riqueza biológica amazônica, mais eficiente serão as ações de manejo, conservação e restauração deste bioma (SILVA *et al.*, 2015).

As análises do crescimento, ingresso e mortalidade, quando tratadas em conjunto, são imprescindíveis para o entendimento dos processos de evolução do ecossistema florestal (FURTADO, 2009). Estas informações são de fundamental importância para o planejamento da produção e determinação dos ciclos de corte nas florestas tropicais, pois as taxas de incremento positivo, combinadas à frequentes ingressos, compõem um dos indicadores de que a floresta possui características favoráveis ao manejo para produção madeireira (OLIVEIRA, 2005).

Toledo *et al.* (2011), cita que a dinâmica das florestas após o manejo é difícil de ser prevista em função da alta heterogeneidade (solo, topografia, estrutura da floresta original, variações climáticas e biodiversidade). Logo, um dos pontos importantes que devem ser investigados nas florestas manejadas é a taxa de crescimento das árvores, combinada à identificação e quantificação dos fatores que influem sobre este crescimento (DE SOUZA *et al.*, 2017).

4.6.1. Crescimento

O crescimento de uma floresta avalia mudanças de tamanho de indivíduos ocorridos durante determinado período de tempo, mas vale ressaltar que sua somatória não reflete o

crescimento da floresta como um todo, pelo fato de existirem árvores mortas e recrutadas no período de crescimento (FURTADO, 2009).

As árvores podem ter seu crescimento influenciado por fatores climáticos como (temperatura, precipitação, vento e exposição solar), fatores pedológicos (características físicas e químicas, umidade e microrganismos), características geomorfológicas (inclinação, exposição, elevação e forma) e competição (influências de outras árvores, sub-bosque e animais) (HUSCH *et al*, 1982). Pelas características de espécies aliado aos fatores de influência citados anteriormente que as taxas de crescimento são altamente variáveis. E em locais onde há exploração madeireira uma exata determinação das taxas de crescimento é absolutamente essencial para discussões sobre longos períodos de exploração (GOUVEIA, 2015).

Avaliar o processo de crescimento das florestas, portanto, é uma análise essencial como meio de verificar a suas mudanças ao longo do tempo, implicando assim em geração de informações para correta aplicação de técnicas de manejo florestal sustentável.

4.6.2. Ingresso

O ingresso refere-se às árvores que atingiram um limite mínimo de diâmetro ao longo de um determinado período de tempo, como resultado de diferentes processos, como o estabelecimento, crescimento e mortalidade de árvores (CUBAS *et al.*, 2016). Há outras definições correlata como a de Scolforo *et al.* (1998) que considera ingresso com a entrada de árvores no segundo período de medição.

O estudo do ingresso em florestas tropicais tem importância grande do ponto de vista silvicultural e para produção da floresta ser sustentável é necessário que se tenha uma quantidade significativa de regeneração de espécies entrando na floresta e que um número mínimo dessas árvores cresça até o atingir seu ponto ideal de corte a cada ciclo de exploração (SILVA, 1989). O autor também relata que a quantidade de ingresso varia de acordo com a composição das espécies e grau de perturbação no dossel, por exemplo perturbações resultado da queda de uma árvore ou galho não levam ao aparecimento de grande número de novos indivíduos. Se a clareira for de pequeno tamanho, o ingresso não é abundante porque normalmente espécies de crescimento lento e tolerante à sombra ocupam a clareira. Mas se há perturbações com elevado grau, tais como aquelas causadas pela exploração madeireira há um número grande de novos indivíduos, principalmente pioneiras de rápido crescimento, que logo crescem até o diâmetro mínimo de medição.

4.6.3. Mortalidade

É definido como o número de árvores existentes inicialmente e que morreram num determinado período (CAMPOS e LEITE, 2009). Nas florestas tropicais o padrão de mortalidade natural no tempo e espaço é fortemente relacionado à alta longevidade das árvores distribuição em diferentes classes de tamanho, densidade relativa e o estado de clareiras.

A mortalidade pode ser classificada em duas categorias, a regular e a irregular, a primeira inclui todas as formas que uma árvore pode morrer, como idade, competição, incidência de pragas, enquanto irregular refere-se a mortalidade de forma mais severa como incêndios, condições climáticas etc. (VANCLAY, 1994; SANQUETTA, 1996).

Em áreas de exploração madeireira há alta tendência de mortalidade nas menores classes de tamanho. E após certo período de tempo, quando grande parte das espécies pioneiras da floresta tiverem morrido e substituídas por espécies tolerantes à sombra, a mortalidade tende a diminuir estabilizar (FURTADO, 2009).

4.7. PROGNOSE DA ESTRUTURA DIAMÉTRICA

A projeção da estrutura diamétrica é de real importância para a economia e manejo de florestas nativas, porque a partir dos diâmetros futuros é possível estimar as produções e definir as intervenções (SANQUETTA *et al.*, 1995). Essa ferramenta é ainda mais importante quando se pretende explorar florestas em regime de rendimento sustentável.

A prognose ou predição da produção é realizada mediante o emprego de modelos de crescimento e produção que vão desde sistemas de equações, projeções de tabela de volume não-linear, modelos matriciais até redes neurais. Esses modelos são ajustados com base em dados de crescimento e produção oriundos do inventário florestal contínuo (SOUZA e SOARES 2013).

As florestas devem ser cada vez mais estudadas para que se possa conhecer mais de seus recursos disponíveis e formas de manter sua biodiversidade, assim como para viabilizar a exploração dos produtos de forma planejada e racional, visando garantir produção contínua dos recursos disponíveis (AUSTREGÉSILO *et al.*, 2004), já que a carência de um planejamento sistemático levará à definição de objetivos com base em critérios subjetivos e à reduzida compatibilidade entre ações e objetivos. Segundo Stepka *et al.* (2010) como toda atividade de manejo gera intervenção, o profissional terá uma atuação com eficácia na medida que possuir ferramentas necessárias para prognosticar os resultados e cenários de diferentes alternativas silviculturais.

Nas florestas nativas há toda complexidade em relação sua composição, com centenas de espécies de diferentes características (Silviculturais, tecnológica e ecológica), e poucas

informações de crescimento, tanto em áreas sem intervenção quanto em área de manejo, de grande parte das espécies. Para florestas nativas uma questão de grande abordagem é em relação a definição do ciclo de corte e a evolução do número de indivíduos por classe diamétrica de determinado período (SCOLFORO *et al.* 1996). Para a determinação do ciclo de corte e intensidade, os modelos de crescimento de produção auxiliam na projeção do estoque remanescente além do estoque futuro com informação de crescimento, ingresso e mortalidade (REIS *et al.* 2018). Os autores ainda ressaltam a problemática da construção de modelos para floresta tropical que são os padrões estocásticos da dinâmica florestal, que dificulta a modelagem para grandes períodos de tempo.

A classificação dos modelos de crescimento pode ser: de povoamento total, árvores individuais e de distribuição diamétrica (por classe de tamanho). Os modelos de distribuição diamétrica projetam a densidade (árv ha^{-1}) por classes de diâmetro, em idade atuais e futuras, fundamentando-se em funções de probabilidade (fdp) como a função Weibull e matrizes de probabilidade (transição) (REIS *et al.* 2018). Para a prognose da distribuição diamétrica dois métodos são usados, método de razão de movimento e matriz de transição.

Vasconcelos *et al.* (2009) relata que a dificuldade de aplicar modelos de crescimento em florestas amazônicas, já que os estudos de crescimento de povoamento são baseados em modelos clássicos de produção florestal, desenvolvidos para florestas temperadas que utilizam variáveis de difíceis análises em florestas tropicais como índice de sítio e idade das árvores, que é bastante variável. Além das condicionantes em aplicar modelos de crescimento na Amazônia, são poucos os estudos do uso de modelos de predição e prognose para floresta tropical brasileira, principalmente na Floresta Nacional do Tapajós (Flona Tapajós). Estudos desse tipo na região citada foram realizados por Reis *et al.* (2018), Cunha *et al.* (2002), e em outras partes da Amazônia como as pesquisas de Oliveira *et al.* (2020), Vasconcelos *et al.* (2009), Souza *et al.* (2014).

O método bastante utilizado para projetar a distribuição diamétrica em florestas inequiduais como é o caso da Amazônia, é matriz de transição. Este método é um processo estocástico e assume que uma árvore em uma determinada classe de diâmetro, tem a probabilidade de mover-se para outra classe dependendo apenas do seu estado atual. Durante um período de tempo, a árvore deverá permanecer em uma determinada classe, crescer para outra ou morrer (VANCLAY, 1995). Leslie (1945) foi um dos pioneiros na utilização da matriz de transição na área biológica, mas foi Usher (1966) que aplicou o método propriamente dito na área florestal, em povoamentos de *Pinus sylvestris* na Escócia. Outro trabalho pioneiro e de grande importância para o assunto foi o de Bruner & Moser Jr (1973) com 19 anos de inventário

contínuo. Os autores obtiveram boa precisão para a predição de árvores sobreviventes, mas já observam algumas cautelas a serem adotadas devido restrições do método da matriz de transição. Aqui no Brasil os trabalhos pioneiros usando a matriz de transição para predição da estrutura da floresta atribuem-se a Higuchi (1987) na Amazônia, e Azevedo (1993) em Floresta Atlântica.

A matriz de transição leva vantagem em relação a outro modelo de predição que é a razão de movimento (RM). Uma das vantagens da Matriz de transição está na sintetização do que ocorre na floresta, usando dados de diâmetros de duas amostragens sucessivas, e também a projeção pode ser construída com base poucas informações e chegar a resultados com boa acuracidade. (STEPKA *et al.*, 2010). Já a razão de movimento em florestas tropicais não é muito utilizada isso pode ser explicada por uma de suas propriedades, a saber: nesse método assume-se que as árvores estão distribuídas uniformemente dentro das classes, onde crescem uma taxa média, mesmo sabendo que essa distribuição é desconhecida (AUSTREGÉSILO *et al.* 2004). A MT é condicionada a dois pontos básicos: Um considera o incremento periódico em diâmetro das árvores da floresta, obtido nas parcelas permanentes, tem o comportamento no futuro idêntico ao obtido por ocasião das avaliações realizadas nas parcelas permanentes. O segundo ponto é que a projeção da estrutura depende somente do estado atual, não sofrendo efeito de características passadas da floresta. Esses dois pontos relatados são conhecidos, respectivamente por transição estacionária e propriedade Markoviana.

A partir das simulações realizadas pode-se também fazer prognose de volume, área basal etc. Nessa técnica, entretanto, há uma desvantagem que pode ocorrer na projeção que é o chamado efeito absorvente observado por outros pesquisadores que o utilizaram, como: Austregésilo *et al.* (2004), Stepka *et al.* (2010), Lana *et al.* (2015), Machado *et al.* (2017). O estado absorvente não considera as mudanças de mortalidade ao longo do tempo e a passagem de árvores entre as classes e fica restrita ao período considerado na construção da matriz.

De forma geral o método matriz de transição gerou resultados satisfatórios com sua aplicação em florestas nativas isso comprovado por publicações de pesquisadores dessa área do conhecimento já citados aqui até o momento. Os resultados estimaram projeções precisas em relação a estrutura real da floresta, mostrando que a MT pode ser considerada uma ferramenta potencial para a projeção do comportamento futuro da estrutura de florestas tropicais.

São poucos os estudos do uso de modelos de predição e prognose para floresta tropical brasileira, principalmente na Floresta Nacional do Tapajós (Flona Tapajós). Estudos desse tipo na região podem-se mencionar Reis *et al* (2018), Reis *et al.* (2018), Cunha *et al.* (2002), e em outras partes da Amazônia como as pesquisas de Oliveira *et al.* (2020), Vasconcelos *et al.*

(2009), Souza *et al.* (2014). Por isso se torna ainda mais importante avaliar essa projeção de áreas submetidas ao manejo florestal sustentável dentro da Flona tapajós, podendo ser uma ferramenta de contribuição no planejamento do estoque das futuras florestas e para o aumento do conhecimento desse tema para a região amazônica que sofre da escassez deste estudo.

O MFS pode garantir a sustentabilidade florestal através de ferramentas como regulamentação do ciclo de corte, intensidade de exploração e diâmetro mínimo de corte (DAVID *et al.*, 2019). A legislação permite explorar um volume máximo de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ (Instrução Normativa IN nº05/2006 MMA), e um ciclo de corte de 35 anos, ou seja, após esse período é possível manejar novamente a área como dispõe a IN SEMA nº07/2006. A legislação também fixa em 50 cm o diâmetro mínimo de corte (DMC), dessa forma árvores só podem ser colhidas a partir do dap ≥ 50 cm. Esses parâmetros amparados pela legislação visam regular a quantidade de madeira retirada e estão relacionados também com o crescimento das árvores remanescentes (OLIVEIRA *et al.*, 2019). Nesse contexto o procedimento da prognose de matriz de transição pode auxiliar na estimativa do futuro estoque após a exploração e fazer estudos de cenários a fim de gerar possibilidades de manejo com as informações obtidas.

5 CAPÍTULO 1 – EFEITOS DA EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO NA COMPOSIÇÃO FLORÍSTICA E NA ESTRUTURA EM UMA FLORESTA OMBRÓFILA DENSE NA AMAZÔNIA BRASILEIRA

RESUMO

A exploração de impacto reduzido busca a sustentabilidade da atividade madeireira, mas os efeitos dessa atividade na estrutura florestal e na composição florística precisam ser avaliados. Neste capítulo, objetivou-se avaliar as mudanças ocorridas na composição florística, na diversidade de espécies e na estrutura da floresta submetida a exploração de impacto reduzido na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. Os dados foram obtidos através de parcelas permanentes (2.500 m²) instaladas em três Unidades de Produção Anual (UPAs n° 2, 3 e 5) exploradas em 2007, 2008 e 2010 nas respectivas UPAs. Os inventários ocorreram em quatro ocasiões, sendo a primeira antes da exploração e as demais após: UPA 2 (2006, 2009, 2012 e 2016), UPA 3 (2007, 2010, 2013 e 2016) e UPA 5 (2010, 2011, 2015 e 2016). Os diâmetros à altura do peito medidos a 1,30 m do nível solo (dap) iguais ou superiores a 10 cm foram coletados nos indivíduos arbóreos. Posteriormente, avaliou-se a composição florística, a diversidade, por meio do índice de Shannon (H') e equabilidade de Pielou (J), e as variáveis dendrométricas de densidade, Área basal e Volume). Após, foi realizada a Análise de variância (ANOVA) das variáveis analisadas entre as sucessivas medições a 95% de probabilidade e, em caso de diferença estatística, utilizou-se o teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Durante o período avaliado, foram registrados valores médios de 135, 160, 159 espécies nas UPAs 2, 3 e 5, respectivamente. A Fabaceae foi a família com maior riqueza florística em todas as medições nas UPAs. O índice de diversidade (H') foi considerado alto, mesmo após a EIR, com valores variando de 4,10 a 4,35. Devido a exploração as variáveis avaliadas tiveram quedas em seus valores, recuperando-se no decorrer dos anos. A ANOVA indicou diferença significativa apenas na densidade (árv ha⁻¹) na UPA 2. A exploração aplicada nas UPAs minimizou os danos às árvores remanescentes, devido a intensidade de corte moderada. O comportamento da floresta permite inferir que sua recuperação, aos valores pré EIR, seja atingida antes do próximo ciclo de corte, dessa forma, não comprometendo sua sustentabilidade de produção madeireira.

Palavras-chave: Manejo Florestal Sustentável; Inventário contínuo; Floresta terra firme.

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the changes that occurred, floristic composition, species diversity and forest structure subjected to reduced impact exploration in the Tapajós National Forest,

Pará. The data were used through permanent plots (2500 m²) installed in 3 Annual Production Units (APU n ° 2, 3 and 5) that were explored in 2007, 2008 and 2010 in APUs. The Inventories occurred on 4 occasions, the first before logging and the rest after. The diameter at breast height, measured at 1.3 m above the soil (dbh) equal to or greater than 10 cm was collected. Subsequently, a floristic composition, diversity was evaluated using the Shannon-Wiener index (H'), phytosociological estimators (Density, Basal Area and Volume). After, the Analysis of variance (ANOVA) of the analyzed variables was carried out between the successive settings to 95% of probability and in case of case-if used the test of Tukey ($\alpha = 0.05$). Throughout the evaluated period, an average of 135, 160, 159 species were recorded in APUs 2, 3 and 5, respectively. The family with the greatest floristic wealth was Fabaceae in all registrations in the 3 APUs. The diversity index (H') was considered high even after the EIR with values ranging from 4.10 to 4.35. After the logging, the estimators obtained dropped in their values, recovering over the years. The ANOVA indicated difference meant only in the density (tree ha⁻¹) in the APU 2. The logging applied in the APUs minimized the damage to the remaining trees due to the moderate cutting intensity. The behavior of the forest allows us to infer that its recovery, to pre-sustainability EIR values, is achieved before the next cutting cycle, thus not compromising its timber production.

Keywords: Sustainable Forest Management; Continuous inventory; Upland forest.

INTRODUÇÃO

A Amazônia possui umas das maiores florestas tropicais do mundo e detêm grande quantidade de recursos naturais (PEREIRA *et al.*, 2010; CARDOSO *et al.*, 2017), caracterizada pela alta diversidade, com estimativa de 12.000 a 16.000 espécies arbóreas (DEMARCHI *et al.*, 2018; HIGUCHI *et al.*, 2005). Dentre essas quantidades de espécies estão as mais visadas economicamente, como a maçaranduba (*Manilkara elata* (Allemão *ex* Miq.) Monach), a cupiúba (*Goupia glabra* Aubl), ipê (*Handroanthus spp.*) e o cumarú (*Dipteryx odorata*), entre outras, com elevado valor econômico para o mercado de madeiras nacional e internacional.

Para que haja uma exploração seletiva das espécies comerciais, deve-se adotar técnicas que garantam um próximo ciclo de corte. Como alternativa, há a exploração de impacto reduzido (EIR), considerada uma técnica para o uso sustentável dos recursos florestais (AMARAL *et al.*, 2019). A EIR consiste na implementação de uma série de diretrizes pré- e pós-exploração, delineadas para proteger a regeneração, minimizar os danos ao solo, prevenir danos desnecessários às espécies que não serão exploradas e manter a estrutura florestal mais semelhante possível às condições pré-extração (SCHWARTZ *et al.*, 2012). No esforço para

promover o manejo florestal sustentável, a legislação ambiental definiu a exploração máxima de $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ quando mecanizada e um ciclo de corte até 35 anos (DE LIMA *et al.*, 2020).

A base para a sustentabilidade é a garantia da renovação dos recursos extraídos da floresta e isso envolve a avaliação do estoque florestal através de inventários e análises fitossociológicas (JARDIM, 2015). Entretanto, a maioria dos estudos florísticos e estruturais em florestas manejadas na Amazônia concentram-se principalmente em espécies comerciais ou potenciais ou na regeneração delas após a exploração madeireira. Consequentemente, há pouca informação sobre o efeito da exploração de impacto reduzido na composição florística e diversidade de espécies a médio e longo prazo (OLIVEIRA *et al.*, 2005). Esses efeitos na floresta remanescente e na regeneração natural devem ser considerados no manejo florestal sustentável na Amazônia, visto que há implicações diretas na autoecologia das espécies envolvidas na exploração madeireira.

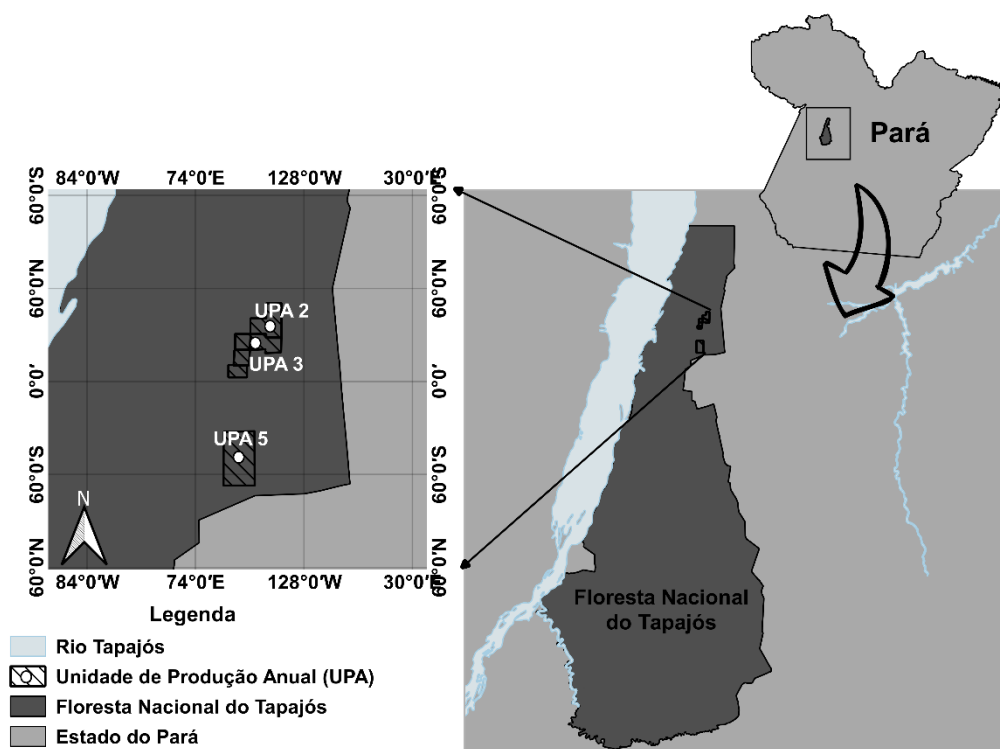
Toda intervenção planejada em floresta tropical necessita de inventários minuciosos para geração de estimativas precisas dos parâmetros de diversidade, densidade, volume, área basal e distribuição diamétrica (SOUZA *et al.*, 2006). Esses resultados são ferramentas importantes no planejamento e na execução do manejo florestal para conduzir a floresta a uma estrutura balanceada e para a tomada de decisão (VIERA *et al.*, 2014). Segundo Alencar (1988), o estudo sobre composição florística é importante para conhecer a estrutura da vegetação, que possibilita obter informações qualitativas e quantitativas do local monitorado. Por mais que as técnicas utilizadas na exploração de impacto reduzido gerem menores danos nas florestas nativas do que exploração convencional predatória, os efeitos na florística e estrutura horizontal precisam ser minuciosamente avaliados, o que requer informações quali-quantitativas das espécies e da condução das atividades realizadas na exploração. Nesse sentido, é imprescindível a análise fitossociológica e o monitoramento da floresta para diagnosticar os impactos causados pelas ações no manejo e sua capacidade de recuperação para a próxima exploração (REIS *et al.*, 2013; HIRAI *et al.*, 2007).

Diante desse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar as mudanças ocorridas na composição florística, diversidade e estrutura da floresta em três unidades de produção anual submetidas a exploração de impacto reduzido, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. A hipótese desse estudo é que a EIR provoque queda na composição florística e variáveis dendrométricas após a atividade de extração, mas essas alterações não serão significativas estatisticamente na maioria das UPAs.

5.1. MATERIAL E MÉTODOS

5.1.1. Área de estudo

O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Tapajós (Flona Tapajós), município de Belterra, estado do Pará, em área submetida a manejo florestal pela Cooperativa Mista Flona Tapajós (COOMFLONA) localizada nas margens BR-163 entre os paralelos de 2° 45' e 4° 10' de latitude Sul e entre os meridianos de 54° 45' e 55° 30' de longitude Oeste (SANTOS *et al.*, 2019). A Figura 1 mostra a área de estudo e a localização das três unidades de produção anual. Figura 1 - Localização das Unidades de Produção Anual na Floresta Nacional do tapajós, Pará



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O clima da região é quente úmido do tipo Am, com temperatura média anual de 25,5 °C e umidade relativa média de 90% de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013). A precipitação média anual está em torno de 1.820 mm, apresentando variação no regime de chuvas durante o ano, com as maiores precipitações ocorrendo nos meses de janeiro a maio (ANDRADE *et al.*, 2015). Na região, há predominância de Latossolo Amarelo Distrófico, caracterizado por textura muito argilosa, perfil profundo e baixa fertilidade (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2015).

A vegetação da área de estudo é classificada como Floresta Ombrófila Densa, que representa maior parte da Flona, caracteriza-se por indivíduos arbóreos de grande porte e pela presença de lianas lenhosas, palmeiras e epífitas emergentes e cobertura arbórea uniforme (IBGE 2012).

5.1.2. Coleta e análise de dados

Todas as árvores com diâmetro à altura do peito medido à 1,30 m do nível do solo (dap) ≥ 10 cm foram mensuradas. Os dados foram obtidos a partir do inventário florestal de 26 parcelas permanentes (PP) de 0,25 hectares cada (50 m x 50 m), representando um total de 6,5 ha amostrados, distribuídas de maneira aleatória em três unidades de produção anual (UPA). Foram realizados quatro inventários em cada UPA, sendo um antes da exploração e os restantes após, conforme as diretrizes de Silva *et al.* (2005), que trata da metodologia para instalação e medição de parcelas permanentes. O total de parcelas e os anos de medições de cada UPA se encontram na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição de parcelas, ano das medições e intensidade de corte em cada Unidade de Produção Anual (UPA), Floresta Nacional do Tapajós.

UPA	Nº de parcelas	Medições	Exploração	Intensidade de corte (m³ ha⁻¹)	% em relação ao volume total
2	6	2006	2007	12,17	8,41
		2009			
		2012			
		2016			
3	10	2007	2008	15,68	9,17
		2010			
		2013			
		2016			
5	10	2010	2010	14,36	14,68
		2011			
		2015			
		2016			

Fonte: Universidade Federal do Oeste do Pará (2018).

Na alocação das parcelas permanentes, foram utilizados piquetes de madeira marcados com tinta vermelha na parte superior. As árvores inventariadas foram plaqueteadas para identificação e marcados seus pontos de medição do diâmetro à 1,30 m para diminuir erros de coleta de dados. Nas áreas foi adotada a exploração de impacto reduzido (EIR), que se baseia em reduzir os dados ambientais da extração da madeira.

A composição florística foi obtida pela distribuição dos indivíduos em família, gênero e espécies, enquanto a diversidade foi calculada mediante o índice de diversidade de Shannon (H') (1) conforme Magurran (1988). Quanto maior o valor de H', maior será a diversidade florística da comunidade em estudo.

$$H' = \frac{[N \ln(N) - \sum_{i=1}^S n_i \ln(n_i)]}{N} \quad (1)$$

Em que: H' = índice de diversidade Shannon-Wiener; n_i = número de indivíduos amostrados da i -ésima espécie; N = número total de indivíduos amostrados; S = número total de espécies amostradas; \ln = logaritmo da base neperiana.

A Equabilidade de Pielou (J') foi calculada para representar a uniformidade da distribuição dos indivíduos entre as espécies existentes (PIELOU 1975) (2). O valor de J' varia de 0 (uniformidade mínima) a 1 (uniformidade máxima) e é calculada pela seguinte fórmula:

$$J' = \frac{H'}{\ln(S)} \quad (2)$$

Em que: J' = índice de Equabilidade de Pielou; H' = índice de diversidade de Shannon-Weaver; S = número total de espécies amostradas; \ln =logaritmo natural.

As variáveis fitossociológicas da estrutura horizontal (densidade, área basal, índice de valor de importância) usados neste trabalho foram calculados conforme Muller-Dombois e Ellenberg (1974). O valor de importância foi calculado somando-se os parâmetros relativos de densidade, dominância e frequência a fim de indicar a importância da espécie dentro floresta. Para a distribuição diamétrica utilizou-se o método empírico, que consistiu em agrupar árvores em classes de diâmetros com amplitude de 10 cm, indicada para floresta tropical amazônica, abrangendo o menor centro de classe 15 cm e o maior de 95 cm.

Para estimar o volume das árvores, foi utilizada a equação desenvolvida para a região dos Tapajós para o inventário contínuo, pela equipe de pesquisadores da Embrapa Amazônia Oriental, a qual usa apenas o dap como variável dependente (SILVA *et al.*, 1984; SILVA & ARAÚJO, 1984) (Tabela 2).

Tabela 2 - Equações de volume desenvolvidas para inventário contínuo na Floresta Nacional do Tapajós

Árvores	Equação	R ²	Syx(%)
10 cm ≤ dap < 44,9 cm	$v = 0,0994 + 9,1941 \times 10^{-4} (\text{dap}^2)$	0,96	12
dap ≥ 45,0 cm	$\ln(v) = -7,6281 + 2,1809 \ln(\text{dap})$	0,84	16

v = volume individual total (m³); dap= diâmetro à altura do peito; R²= coeficiente de determinação; Syx (%)= erro padrão da estimativa. Fonte: Silva *et al.* (1984).

A área basal, comumente expressa em m² ha⁻¹, foi determinada pela fórmula (3):

$$G = \sum_{i=1}^n g_i * f_k \quad (3)$$

Em que: G = área basal (m² ha⁻¹); g_i = área transversal (m²); f_k = fator de conversão por hectare (10.000/área total de parcelas amostradas).

5.1.3. Análise estatística

Aplicou-se para cada UPA a Análise de Variância (ANOVA) à 95% de probabilidade para avaliar se há diferença estatística entre os valores médios das variáveis área basal, densidade, volume, H' e J nas medições. Constatada essa diferença foi aplicada o teste de médias de Tukey ($\alpha = 0,05$). Foi testada a homogeneidade de variância e a normalidade dos dados para atender as premissas da ANOVA foi efetuada através do teste de Shapiro-Wilk com 95% de probabilidade (RAZALI & WAH, 2011). Nesta análise considerou-se como tratamento e repetição as medições e as parcelas respectivamente.

A análise estatística foi realizada no ambiente R (R Development Core Team, 2019) através do pacote de dados ExpDes.pt versão 1.2 (FERREIRA *et al.*, 2018). Com o uso do software realizou-se também os seguintes procedimentos: visualização dos dados através dos gráficos de tendência e box-plots, que demonstram a dispersão e o comportamento das variáveis densidade (árv ha^{-1}), área basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$), volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), equabilidade de Pielou (J) e diversidade de Shannon (H').

5.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.2.1. Composição florística

Foram registrados uma média de 135, 160, 159 espécies nas UPAs 2, 3 e 5, respectivamente. No levantamento das 26 parcelas, foi verificado a grande quantidade de espécies nas UPAs antes da exploração. Na medição seguinte, após a exploração, foi verificada a queda no número de espécies assim como em gênero e família em todas as unidades de produção (Tabela 3). Isso é consequência das implicações da exploração madeireira que provoca danos às árvores remanescentes, podendo levar à letalidade de algumas destas, reduzindo, portanto, o número desses grupos.

Tabela 3 - Composição florística, diversidade de Shannon (H') e equabilidade de Pielou (J) de 3 Unidades de Produção Anual (UPA) em 4 ocasiões, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará

UPA	Grupos avaliados	Ano das medições			
		2006	2009	2012	2016
2	Família	38	38	38	36
	Gênero	85	83	87	80
	S	131	130	138	140
	H'	4,1421	4,1420	4,2192	4,2400
	J	0,8496	0,8510	0,8563	0,8574
3		2007	2010	2013	2016
	Família	45	45	44	43
	Gênero	107	105	106	100
	S	159	155	163	164
	H'	4,3302	4,3033	4,3771	4,3904
	J	0,8543	0,8532	0,8593	0,8609

		2010	2011	2015	2016
5	Família	39	39	39	39
	Gênero	100	100	101	98
	S	160	158	159	160
	H'	4,3451	4,3438	4,3560	4,3573
	J	0,8561	0,8580	0,8593	0,8596

S: riqueza de espécies; H': Shannon-Wiener; J: Equabilidade de Pielou. Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Por outro lado, ao avaliarmos as medições seguintes, nota-se a recuperação de espécies, chegando na última medição com balanço positivo na riqueza florística nas Unidades de Produção, devido ao ingresso de novas espécies na comunidade. Essas diminuições logo após a exploração e aumento ao longo do tempo foram também observadas em outras pesquisas na Amazônia (JARDIM & QUADROS, 2016; VIEIRA *et al.*, 2014). Os autores relatam que essas variações na composição florística se devem principalmente ao tamanho e a quantidade de aberturas de clareiras no dossel. A abertura de clareiras contribui para formação de novas ecounidades, ou seja, mudanças de espécies nas diferentes categorias sucessionais. A UPA 2 teve o maior aumento, com acréscimo de 13 espécies, seguido da UPA 3 e a UPA 5, que manteve estável sua riqueza. A composição florística mostra que as áreas avaliadas são ricas, com elevado número espécies, tanto antes e após o manejo aplicado, em conformidade com outros trabalhos na região (ALMEIDA *et al.*, 2012; CONDÉ & TONINI *et al.*, 2013). De modo geral, as intervenções da exploração causaram distúrbios, modificando a composição florística e a estrutura da floresta. Dessa forma, pode-se inferir que o manejo florestal resulta, ao longo dos anos após a exploração, no aumento do número de espécies, principalmente pioneiras, mostrando o efeito positivo. Comparando com florestas nativas que não foram exploradas, essas não apresentaram aumento significativo e sim uma estabilização da riqueza florística.

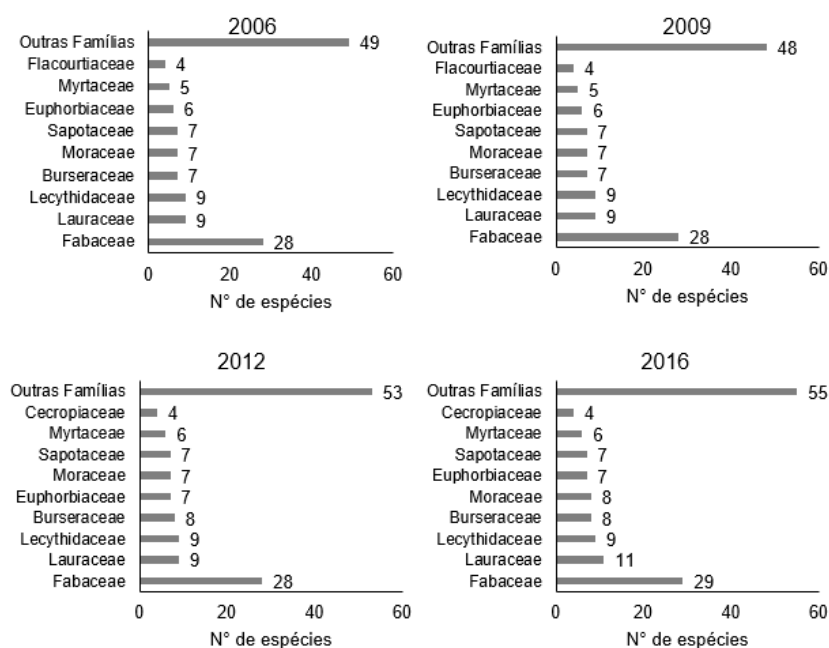
As famílias com as maiores riquezas nas UPAs foram Fabaceae, Lauraceae, Sapotaceae, Lecythidaceae, Moraceae, Burseraceae, Euphorbiaceae, Myrtaceae e Flacourtiaceae, tanto antes como após a exploração. Essas famílias concentraram maior número de espécies e indivíduos, juntas representaram em torno de 60% do total inventariado. Esse comportamento de poucas famílias concentrarem grande parte das espécies é um padrão característico da região amazônica, que também foi verificado por Azevedo (2006), Costa *et al.* (2002), Lima *et al.* (2018) e Silva *et al.* (2006).

A família Fabaceae, em todos os anos, teve destaque como a mais rica, com as porcentagens de 20% 19%, 21%, respectivamente para as UPAs 2, 3 e 5. Isso é um resultado esperado, devido sua plasticidade de hábitos de crescimento, ou seja, arbóreo, arbustivo, herbáceo e lianas. Essa família apresenta uma característica no seu processo fisiológico, como melhores estratégias de fixação de nitrogênio em diferentes tipologias na Amazônia, por isso,

seu destaque como a família de maior riqueza (SOUZA, 2012). Avaliando o grupo das 10 famílias com maior riqueza florística (Figuras 2, 3, 4), pode-se ver a distribuição delas em cada UPA nos referidos anos. Essa distribuição tem pouca variação dentro de cada unidade de produção, inclusive após a exploração.

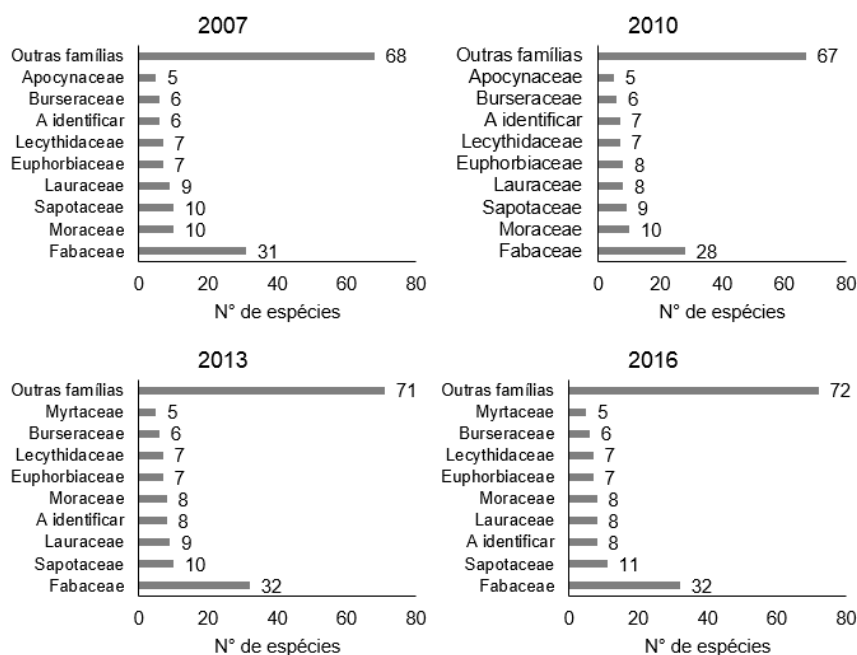
Outras pesquisas no Estado do Pará sobre o efeito do MFS na composição florística registraram uma quantidade de espécies superior ao do presente trabalho, como Souza *et al.* (2006) que inventariaram 218 espécies e Viera *et al.* (2014) que contabilizaram 216 espécies em uma área manejada. Contudo, comparando com os trabalhos realizados na Flona Tapajós os valores estão de acordo com os frequentemente encontrados (BEZERRA *et al.*, 2018; ANDRADE *et al.*, 2015). Essas diferenças florísticas entre estudos se devem principalmente aos critérios de amostragem utilizados ou ao diâmetro mínimo mensurado.

Figura 2 - Número de espécies por família na Unidade de Produção Anual 2 (UPA 2) em 4 ocasiões, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará



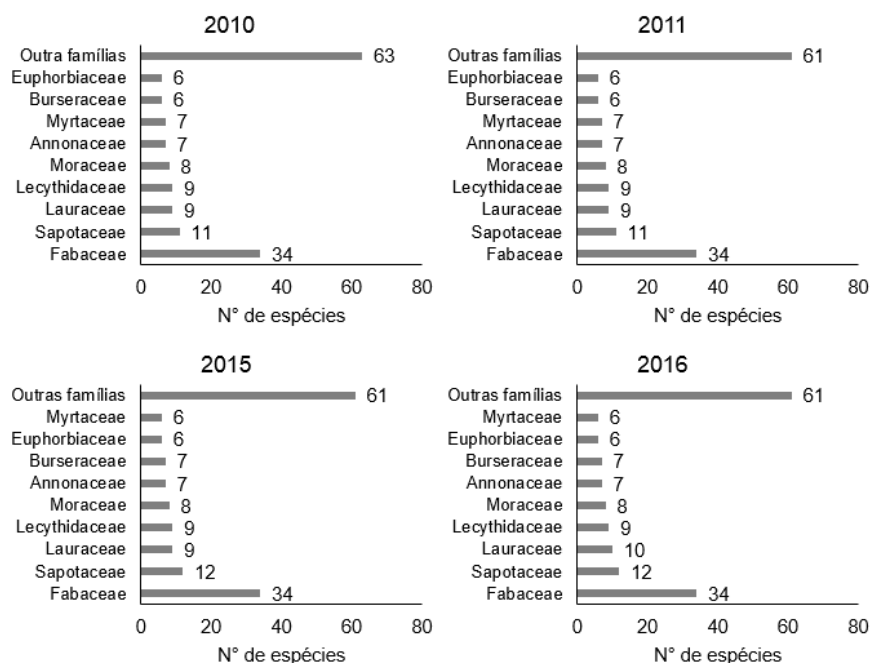
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 3 - Número de espécies por família na Unidade de Produção Anual 3(UPA 3) em 4 ocasiões, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 4 - Número de espécies por família na Unidade de Produção Anual 5(UPA 5) em 4 ocasiões, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Analisando as mudanças ocorridas na UPA 2 no período (2006-2009), houve a saída de três e ingresso de duas espécies. As ingressantes nesses anos são pioneiras (*Swartzia polyphylla*

DC. e *Inga capitata* Desv.), uma vez que a abertura de clareiras em decorrência da colheita pode favorecer o aparecimento de árvores deste grupo ecológico. Entre os anos 2009 a 2012, houve o desaparecimento de 2 espécies e o ingresso de 10 espécies e no último período (2012-2016) houve ingresso de 2 espécies.

Na UPA 3, durante o período entre 2007 e 2010, houve a mortalidade de 7 espécies e o ingresso de 3 espécies, sendo também do grupo das pioneiras. Este fato é esperado por causa do favorecimento de um ambiente deste grupo ecológico. No período 2010-2013, ocorreu a mortalidade de uma espécie, enquanto ingressaram nove. Na medição de 2013 a 2016, ocorreu apenas ingresso de uma espécie.

Na UPA 5, entre 2010 e 2011, ocorreu a perda de duas espécies e ausência de ingresso. No período de 2011 a 2015, três espécies que ocorreram na 2ª medição não apareceram na 3ª medição, ao passo que houve o ingresso de quatro novas espécies. No último período (2015-2016) manteve-se estável o balanço da riqueza sem ingresso e desaparecimento de espécies.

De maneira geral, o que se pode observar é que a intervenção ocasionou mudanças na composição florística decorridas da exploração, aumentando a riqueza de espécies pioneiras, esse mesmo comportamento é visto por Silva *et al.* (1995) que verificou na região do Tapajós (Pará) que a extração seletiva de madeira alterou a dinâmica florística que reduziu o número de espécies tolerantes em relação ao período anterior da EIR e estimulou o aparecimento das pioneiras logo após a exploração. No trabalho de Lima *et al.* (2018) é verificada a redução do número de espécies após a extração seletiva de árvores. Os autores, ao avaliarem o efeito do manejo florestal sustentável na estrutura da vegetação, observaram a redução da riqueza florística em comparação com a floresta sem intervenção. Silva (2004), no município de Paragominas-Pará, avaliou que logo após a extração seletiva ocorreu redução de espécies de 6% e 7 anos depois houve um aumento da riqueza.

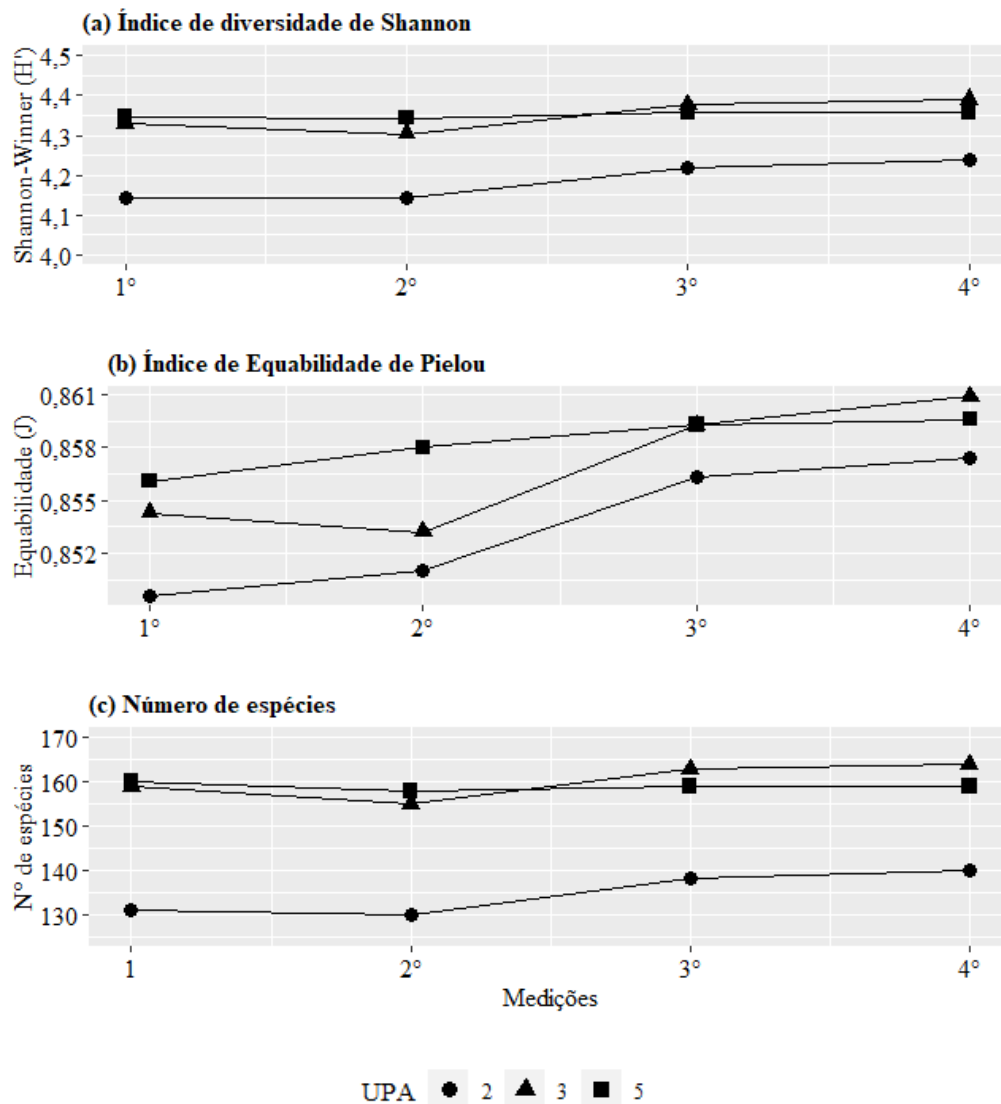
O índice de Shannon (H') teve pouca variação, ficando entre 4,14 a 4,40. Na primeira medição (2010), a UPA 5 apresentou maior valor H' com 4,34, em que, juntamente com a UPA 3, tiveram comportamento similar ao longo dos anos (Figura 5a). Como verificado, a UPA 2 teve os menores valores de H' em todas as medições em comparação com as demais. Na Figura 5a é possível observar uma leve atenuação da diversidade de Shannon na medição seguinte após a exploração madeireira em todas as UPAs e em seguida há o aumento desse índice ao longo dos anos, recuperando e ultrapassando os valores registrados inicialmente. Bezerra *et al.* (2018) avaliando a diversidade de uma floresta antes e pós manejo na Flona Tapajós também verificou

alto valor de H' na primeira medição (2012) e a diminuição na segunda medição (2015) com valores de 4,8 e 4,5 respectivamente e essas diferenças não foram significativas.

Observa-se que mesmo antes e após a intervenção feita na floresta, o índice de Shannon foi elevado nas três unidades de produção monitoradas. As áreas apresentaram altos valores de H' acima de 3,5, que segundo Floriano (2014) e Knight (1975) são considerados diversidade elevada para qualquer tipo de vegetação.

O índice equabilidade de Pielou (J) médio entre as medições de cada UPA ficou em torno de 0,85. O valor de equabilidade teve uma queda na UPA 3 na segunda medição (2010), mas se recuperou 3 anos mais tarde (2013). Nas outras unidades de produção, continuou a crescer nos inventários posteriores, mesmo após o manejo na área (Figura 5b). O comportamento da equabilidade da UPA 2, assim como verificado no índice de Shannon e número de espécies, teve os menores valores em relação as outras unidades de produção. O que pode explicar o baixo valor dessas variáveis na UPA 2 em relação as demais foi o número de parcelas inventariadas. Enquanto nessa foram seis unidades amostrais, nas outras duas UPAs foram 10 e 9 parcelas. Ribeiro *et al.* (2013), ao avaliarem a estrutura de uma floresta manejada e não manejada no município de Placas (Pará), obtiveram respectivamente índices de equabilidade Pielou (J) de 0,85 e 0,86, resultados condizentes com os valores deste trabalho.

Figura 5 - índice de Shannon (a), equabilidade de Pielou (J) (b), Número de espécies (c), em 4 ocasiões na Floresta Nacional do Tapajós, Pará



1º medição (UPA 2: 2006, UPA 3: 2007, UPA 5: 2010); 2º medição (UPA 2: 2009, UPA 3: 2010, UPA 5: 2011); 3º medição (UPA 2: 2012, UPA 3: 2013, UPA 5: 2015); 4º medição (UPA 2: 2016, UPA 3: 2016, UPA 5: 2016).

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Pela Análise de Variância não foi detectada diferença significativa no índice de Shannon para UPA 2 ($p\text{-valor}=0,5037$) e UPA 3 ($p\text{-valor}=0,1392$) (Anexo A). Esse mesmo comportamento foi observado para equabilidade de Pielou, onde não ocorreu diferença significativa nos intervalos de tempo em cada UPA, todos com $p\text{-valor}<0,05$ (Anexo B), mostrando que a exploração não contribui para alteração desses parâmetros. A exceção foi a UPA 5 que apresentou diferença significativa entre as medições em relação à diversidade de Shannon ($p\text{-valor}=0,0004$) (Anexo A). Esse resultado pode ter ocorrido devido a UPA 5, com 6 anos de medições, ainda esteja sofrendo os efeitos da extração seletiva, além do mais está

ocorrendo o estabelecimento de novas árvores e essa fase de sucessão possa estar afetando a diversidade.

5.2.2. Estrutura da florestal

A densidade total da UPA 2 antes da exploração (2006) correspondeu a 453 árv ha^{-1} , na 2ª medição (2009) uma redução para 423 árv ha^{-1} e se recuperando nos anos posteriores chegando no ano de 2016 com 470 árv ha^{-1} , ou seja, um aumento de 3,7% nesse intervalo de 10 anos. A área basal variou de 30,4 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ em 2006 até 30,7 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ na medição de 2016. O volume foi de 327,1 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ a 329,5 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, representando a primeira e a última medição respectivamente, isso é equivalente a um aumento de aproximadamente 1%.

Essas variáveis se recuperaram num período de 10 anos, mostrando boa resposta da floresta à exploração. Embora as variáveis de área basal, volume e densidade diminuam em virtude da exploração e danos, paralelamente essa atividade de manejo contribui para a abertura do dossel o que favorece o ingresso de novas espécies e de árvores de espécies já presentes da área, impulsionando o desenvolvimento das remanescentes, aumentando consequentemente o número de árvores ao longo dos anos. Gourlet-Fleury *et al.* (2004) argumentam que a maiores entradas de indivíduos nas menores classes de dap influenciam no aumento da densidade, pois esta variável aumenta quando há grande número de árvores de pequeno porte.

As experiências mostram que após certo período os crescimentos dessas variáveis se estabilizam à medida que se fecha o dossel, diminuindo a disponibilidade de luz que desacelera o aparecimento de novas árvores. Andrade *et al.* (2019), monitorando a recuperação de floresta manejada na Flona Tapajós, registraram que esse período de estabilização durou 15 anos.

Na UPA 3, a densidade na medição inicial (2007) correspondeu um total de 463 árv ha^{-1} e na final (2016) de 472 árv ha^{-1} (+2%), a área basal passou de 31,5 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ a 29,9 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$, uma queda de 7,62%. Em termos de volume antes da exploração (2007) contabilizou-se um total de 334,8 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ e no ano de 2016 esse total foi de 300,5 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, ou seja, diminuição de 10,25%. Na UPA 5 comparando a primeira e última medição (2010-2016), houve um aumento de 9% na densidade, a área basal aumentou 6%, e no volume ocorreu uma queda de 5% (Tabela 4).

Apesar da área basal e do volume da UPA 3, bem como do volume da UPA 5, não recuperarem seus valores na última medição em relação a primeira antes da exploração, a tendência é que haja recuperação em alguns anos, pois, observando o comportamento dessas variáveis após o período da extração, nota-se um ritmo de aumento, que permite inferir o restabelecimento das variáveis antes do próximo ciclo de corte. O fato da UPA 5 ter seis anos de monitoramento (2010-2016) contribuiu para que o volume do último ano ainda esteja abaixo

da medição 2010. Este estudo tem quatro medições para cada UPA, em que a área mais antiga possui 10 anos de monitoramento. Isso nos limita apontar quais os valores reais que as florestas dessas unidades de produção teriam num ciclo de 25-35 anos, mas persistindo o comportamento das variáveis, em breve haverá a recuperação da estrutura original.

No inventário contínuo da UPA 2 foram contabilizadas quatro árvores exploradas, isso representou uma densidade de 3 árv ha⁻¹, um volume 14,1 m³ ha⁻¹, e área basal de 1,1 m² ha⁻¹. Na UPA 3 a EIR extraiu 9 árvores correspondendo a 4 árv ha⁻¹, 2,3 m² ha⁻¹ de área basal, e volume de 32,9 m³ ha⁻¹. O mesmo número de árvores exploradas também foi registrado na UPA 5 que significou 3 árv ha⁻¹, 1,7 m² ha⁻¹ área basal e volume de 24,1 m³ ha⁻¹.

O comportamento das variáveis foi semelhante a outras práticas de manejo correlatas na Flona Tapajós, ou seja, recuperando seu estoque. Estes fatos corroboram a vantagem da aplicação da exploração de impacto reduzido na Amazônia, no caso deste trabalho as áreas de monitoramento, que foram submetidas à intensidade permitida pela legislação, conseguiram manter resiliência e mostrando-se capazes de se restabelecerem, tendo transcorrido no máximo 10 anos para um ciclo de corte de 25-30 anos. Sabe-se que há uma problemática ainda em relação a intensidade e ao ciclo de corte proposto para florestas tropicais amazônicas, pois não consideram a diferença existente entre espécies na dinâmica de crescimento, podendo afetar a capacidade de recuperação da floresta, chegando no próximo ciclo com estoques desiguais. Mesmo não sendo o ideal, mas para a realidade atual, o manejo adotado tem uma boa resposta às intervenções aplicadas, em relação aos danos causados e conservação.

Tabela 4 - Número de árvores total por hectare, Área Basal (G) e Volume (V) em cada UPA em 4 períodos, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará

UPA	medição	N/ha	G(m ² ha ⁻¹)	V(m ³ ha ⁻¹)	Nº total de árvores
2	2006	453	30,4	327,1	680
	2009	423	29,4	316,7	635
	2012	451	29,1	310,5	677
	2016	470	30,7	329,5	705
3	2007	463	31,5	334,8	1158
	2010	450	26,9	275,3	1127
	2013	459	27,0	274,6	1150
	2016	472	29,1	300,4	1181
5	2010	399	24,1	244,9	1097
	2011	388	22,2	220,4	1068
	2015	394	22,9	228,8	1083
	2016	436	25,6	231,9	1091

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Todas as variáveis reduziram seus valores após a primeira medição em todas as UPAs. Isso foi reflexo da exploração de madeira que consequentemente reduziu esses valores, além dos danos desta atividade nas árvores remanescentes, aumentando a mortalidade. No trabalho de Oliveira *et al.* (2019), também se verificou a mesma tendência em uma floresta ombrófila densa manejada no município de Paragominas, Pará. Os autores detectaram que após a diminuição dos valores de área basal e densidade, a floresta com o decorrer dos anos foi recuperando sua estrutura, chegando 10 anos após a medição com aproximadamente 80% dos valores da floresta original. Outros autores, como Viera *et al.* (2014), avaliando as implicações do manejo na Amazônia, observaram alterações deste tipo.

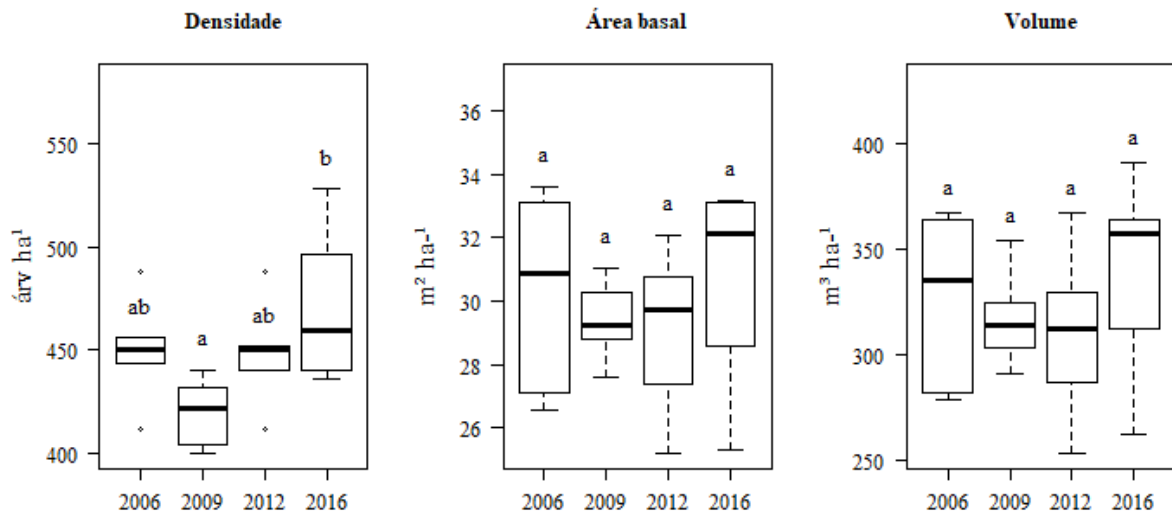
O fato de árvores de grande porte serem colhidas, isso afeta diretamente na área basal das UPAs na medição posterior ao corte (LIMA *et al.*, 2018). Isso também foi verificado neste trabalho, como por exemplo na UPA 3 onde a redução foi de 15% e seguida da UPA 5 e 2 com 7% e 4% respectivamente. Progressivamente, a área basal foi se recuperando, chegando na última medição com valor bem próximo ao encontrado na medição inicial em todas as áreas.

Apesar de não ser o foco do trabalho, mas comparando com a exploração convencional, Vidal *et al.* (2002) registraram uma redução média em área basal, após a exploração, aproximadamente de 31%, uma perda considerável para resiliência da floresta. Os baixos percentuais de redução de área basal do presente trabalho que variaram de 4% a 15% são resultantes das técnicas da EIR e estão dentro do esperado para este cenário. Essas técnicas incluíram o planejamento da extração, que compreenderam o inventário e mapeamento das árvores e o treinamento das equipes de colheita.

A tendência do volume seguiu o mesmo comportamento da densidade e da área basal na UPA 2, chegando no último ano de inventário com valores maiores, comparado ao primeiro inventário. Esse comportamento não foi verificado nas UPAS 3 e 5 em que seus volumes, respectivamente $300,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ e $231,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, no ano de 2016 não atingiram os valores da primeira medição.

Nos box-plots (Figuras 6, 7, 8) nota-se nitidamente o comportamento das variáveis em diferentes anos. A variação após a exploração seletiva diminui e, em seguida, se recupera em todas as variáveis. Para a UPA 2 a densidade variou significativamente nos intervalos de tempo pela ANOVA (p-valor = 0,0471), enquanto o teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) evidenciou que os valores após o manejo (medição 2009) não diferiram dos anos de 2006 e 2012, apenas do ano 2016. Para as variáveis área basal (p-valor = 0,6728) e volume (p-valor = 0,5516), não houve diferença significativa (Anexos D, E; Figura 6).

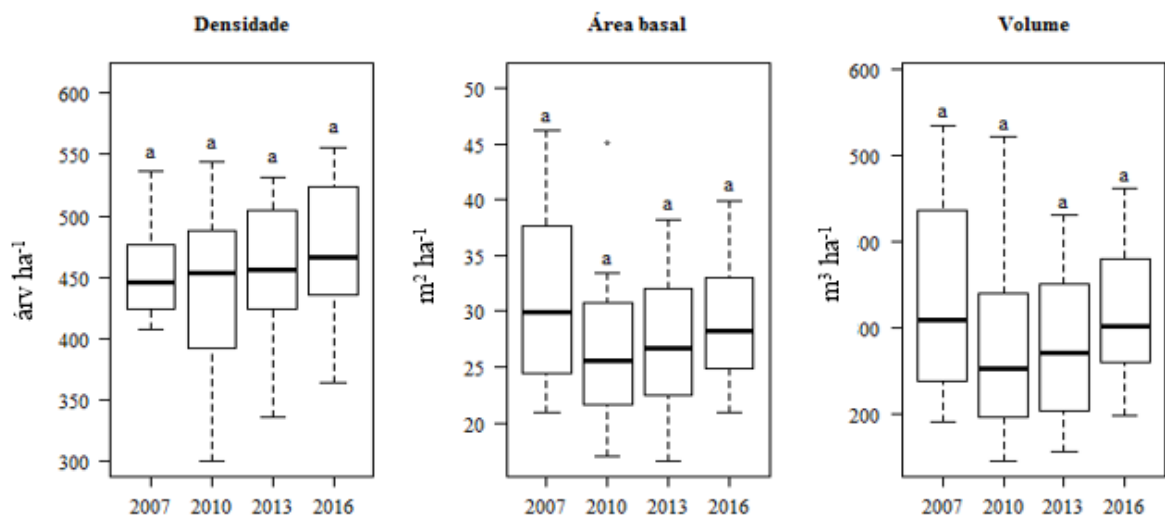
Figura 6 - Boxplot das variáveis (Densidade, Área basal e Volume) da Unidade de Produção Anual 2, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará



Varição de 50% em os dados entre o primeiro e o terceiro quartis são definidos pela caixa que mostra a mediana (linha horizontal interna), os valores máximo e mínimo (linhas tracejadas). Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($\alpha=0,05$). Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Avaliando cada variável da UPA 3 todos apresentaram igualdade estatística pela ANOVA e teste Tukey (Figura 7).

Figura 7 - Boxplot das variáveis (Densidade, Área basal e Volume) da Unidade de Produção Anual 3, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará

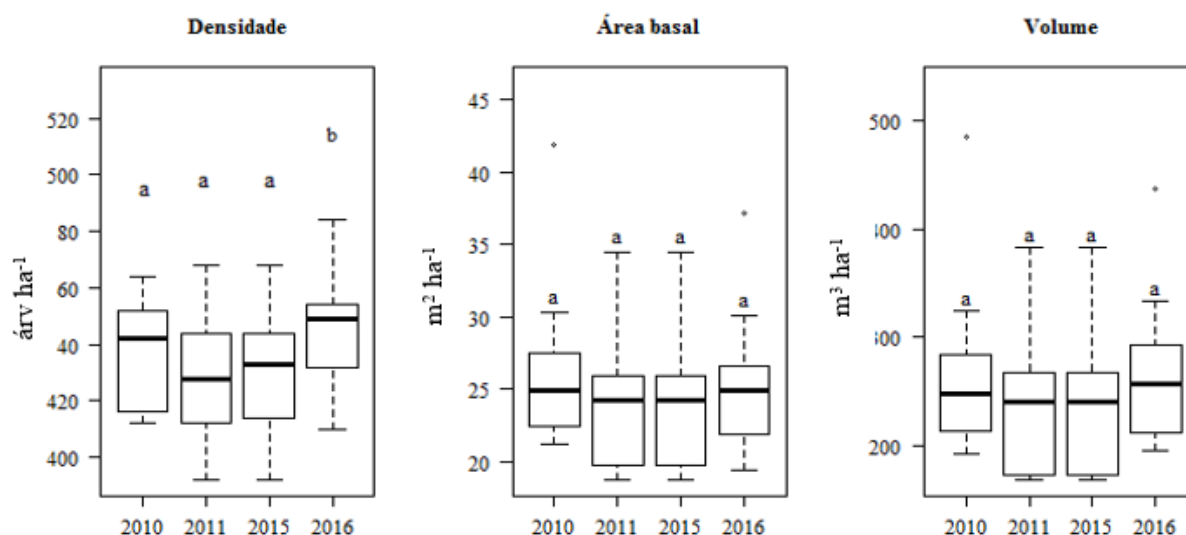


Varição de 50% em os dados entre o primeiro e o terceiro quartis são definidos pela caixa que mostra a mediana (linha horizontal interna), os valores máximo e mínimo (linhas tracejadas). Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($\alpha=0,05$). Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A UPA 5 teve diferença estatística apenas na densidade ($F: 10,85$; $p < 0,05$), enquanto o teste Tukey ($\alpha = 0,05$) indicou diferenças significativas entre o valor de 2016 em relação aos

anos anteriores (Figura 8). Todos os resultados da Análise de variância da Densidade, Área Basal e Volume estão respectivamente nos Anexos C, D e E.

Figura 8 - Boxplot das variáveis (Densidade, Área basal e Volume) da Unidade de Produção Anual 5, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará



Variação de 50% em os dados entre o primeiro e o terceiro quartis são definidos pela caixa que mostra a mediana (linha horizontal interna), os valores máximo e mínimo (linhas tracejadas). Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste Tukey ($\alpha=0,05$). Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nas Figuras 6, 7, 8 percebe-se que nas UPAs ocorreram flutuações das variáveis ao longo dos anos, mas que em sua maioria não foram significativas, mostrando que a técnica de manejo utilizada é viável para conservação, enquanto os danos a vegetação remanescentes são naturalmente suprimidos e a floresta apresenta bons indicadores de recuperação. Nos casos em que houve diferença significativa, se referindo a densidade da UPA 2 e 5, foram motivadas pelas últimas medições na quais apresentaram valores elevados em relação aos demais anos. Esses resultados deixam claro que a adoção da técnica de EIR pelo manejo florestal provocam distúrbios na floresta, assim como outras intervenções antrópicas, com a diferença que o MFS causa prejuízos menos danosos à estrutura da floresta (densidade área basal e volume) no médio prazo com a retirada de madeira. Isso reforça que as florestas manejadas são ferramentas capazes de ao mesmo tempo explorarem os recursos disponíveis e garantirem a viabilidade econômica e sustentável.

As 3 UPAS sofreram uma intensidade de exploração moderada (Tabela 1) praticamente metade que a Instrução Normativa IN nº05/2006 MMA permite (30 m³ ha⁻¹), e isso ajuda a explicar recuperação de grande parte das variáveis já supracitados. Coincidentemente as áreas que sofreram as maiores intensidades de corte como a UPA 3 com 15,68 m³ ha⁻¹ correspondendo a 9% do volume total e UPA 5 com 14,36 m³ ha⁻¹ e 14% do volume total não recuperaram seu

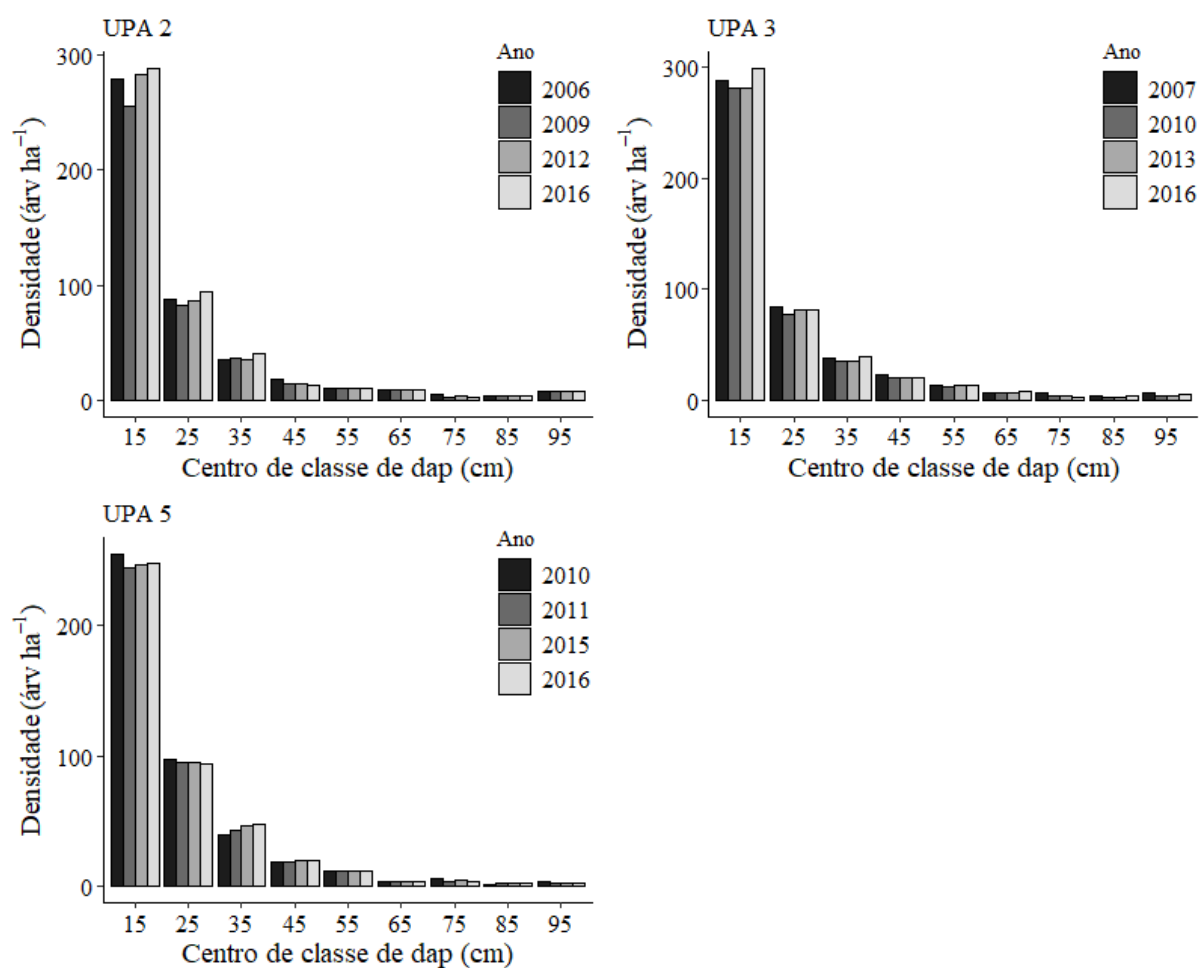
estoque de volume após quase 10 anos da exploração, diferente da UPA 2 ($12,17 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ou 8 % do volume total) que restabeleceu seu volume comparada a medição antes da EIR. Segundo Oliveira *et al.* (2005), as alterações na floresta estão diretamente relacionadas com a intensidade das intervenções. As intensidades moderadas das UPAs permitem inferir que a próxima exploração ocorrerá antes do ciclo de corte máximo estabelecido pela legislação (35 anos), uma vez que, quanto maior a intensidade a ser adotada, maior deverá ser o ciclo de corte, para propiciar tempo suficiente de recuperação a floresta até a próxima exploração (IFT, 2015).

Quanto a estrutura diamétrica, observou-se uma elevada concentração de árvores nas menores classes de diâmetro e uma diminuição exponencial no número de indivíduos em classes maiores, caracterizando um padrão J-invertido, comportamento que se manteve mesmo após a exploração (Figura 9). Esse padrão é típico de floresta tropical primária (XAUD *et al.*, 2013), isso sugere que as populações de uma comunidade estão estáveis e autorregenerando-se, devido ao balanço entre mortalidade e recrutamento de árvores (GONÇALVES; SANTOS, 2008; PHILLIPS, 1994). Ainda na Figura 9, percebe-se que nas menores classes de dap é mais nítida a diminuição e o aumento da densidade antes e após a exploração, em que dois fatores podem estar relacionados. Primeiro, as árvores com os menores dap, mesmo não sendo alvos da extração de madeira, são as mais propensas aos danos da exploração, explicando a diminuição logo após a intervenção. O segundo motivo é que, após a retirada da árvore, abre-se uma clareira pequena na floresta. Com a EIR acredita-se que possa ter contribuído para aceleração de seu crescimento e ingresso de novas árvores que atingiram o dap de inclusão (10 cm), pois essa abertura facilita a entrada de raio solar e favorece as espécies demandantes de luz (RUTISHAUSER *et al.*, 2016; VATRAZ *et al.*, 2016).

Ao longo dos anos, os valores de densidade se recuperaram, como mostrado na Tabela 4, e isso se reflete na estrutura diamétrica. No ano de 2016, que corresponde a 10 e 9 anos após a primeira medição para as UPAS 2 e 3 respectivamente, percebe-se nas classes de diâmetro iniciais a recuperação de densidade, inclusive superior aos valores antes da exploração. Na UPA 5 as classes 15 e 25 cm no ano de 2016 ainda não recuperaram suas densidades comparadas a 2010, que pode ser justificada pela quantidade de anos transcorrido, que somam 6 anos de medição. Já nas árvores inclusas em algumas classes de dap > 45 cm no ano de 2016 a densidade está ligeiramente abaixo de períodos anteriores, porque nessas classes houve a exploração de espécies. Ruchel (2008) em área de EIR avaliou a mesma tendência, ou seja, classes de dap > 45 ainda não tinham recuperado totalmente a densidade comparada às árvores de menor dap, mas que o estoque para o próximo ciclo estava garantido.

Na medição de 2016 em todas as UPAs as maiores quantidades de árvores, em torno de 70%, concentraram-se principalmente nas classes iniciais. Andrade *et al.* (2015) indicam que este fato, mesmo após o manejo florestal, mostra que essa capacidade de regeneração característica de floresta tropical amazônica, ajuda a manter sustentabilidade e a viabilidade da produção florestal. São essas árvores de classes diamétricas inferiores que mudarão para classes superiores ao longo dos anos até que atinja o Diâmetro Mínimo de Corte (DMC) de 50 cm para exploração.

Figura 9 - Distribuição diamétrica das árvores mensuradas (árv ha⁻¹) em cada medição em 3 diferentes UPAs, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O valor de importância (VI) é um indicador da importância ecológica das espécies. E dentre as 20 espécies de maior VI calculadas na UPA 2 no ano de 2006, 16 se mantiveram na medição 2016 (10 anos depois) com destaque para a *Pouteria guianensis* Aubl que nas duas ocasiões registou o maior VI (22,7 e 16,67). Entre as 20 espécies mais importantes também estão duas espécies que são exploradas na Flona tapajós, que são *Couratari guianensis* Aubl. e *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach Chevalier. Ambas as espécies se mantiveram nos

dois períodos, mas tiveram uma redução no VI. Isso ocorreu porque após a exploração duas árvores de *C. guianensis* Aubl foram afetadas, uma foi extraída e outra morreu pelos danos causados ou pela queda ou arraste de toras. Outro motivo também foi na 3ª medição (2012): uma árvore de grande porte desta espécie foi registrada como morte natural. Em relação a *Manilkara elata* (Allemão ex Miq.) Monach, duas árvores com dap acima de 50 cm foram exploradas.

As espécies *Manilkara elata* e *Couratari guianensis* Aubl., popularmente conhecidas como Maçaranduba e Tauari, respectivamente, estão entre as árvores mais exploradas da Amazônia e comercializadas no mercado nacional e internacional. A Maçaranduba tem a busca grande, devido as características de sua madeira, por ser dura com alta densidade básica ($0,87 \text{ g.cm}^{-3}$) e bastante resistente (CASTRO; CARVALHO, 2014). O Tauari tem sua madeira com aceitação no mercado e é usada para fabricação de painéis compensados e móveis (GARCIA *et al.*, 2012).

Das 20 espécies com maiores VI antes da exploração (2007) na UPA 3, 17 continuaram a aparecer entre as mais importantes na medição de 2016, com destaque para *Pausandra Martini* Baill. com maior VI nas duas ocasiões, com 16,06 e 12,99, respectivamente em 2007 e 2016. Em relação as espécies que são exploradas na Flona, *Manilkara elata*, *Couratari guianensis* Aubl. e *Lecythis lurida* (Miers) S.A. Mori estiveram entre as 20 mais importantes na primeira medição, mas na medição de 2016 a *Manilkara elata* saiu dessa lista, indicando que a seleção de árvores desta espécie para exploração contribuiu para redução de suas variáveis e dessa forma caindo nesse *ranking*.

Na UPA 5 as 20 espécies mais importantes em 2010, apenas 17 continuaram neste grupo em 2016. E das espécies que podem ser exploradas só *Couratari guianensis* Aubl., apareceu nos dois anos entre as 20 espécies com maior VI.

Analisando o VI ao longo dos anos nas UPAs, ocorreu pouca mudança em termos de entrada e saída de espécies. O fato da maioria das 20 espécies de cada UPA permanecerem importantes tanto na primeira quanto na última medição, permite concluir que a estrutura florestal desses grupos foi pouco alterada pela extração seletiva. Isso é motivado porque o valor de importância reuni três parâmetros como critérios (densidade, área basal e frequência) (SOUZA; SOARES, 2013), inferindo que as espécies dos grupos com alto VI apresentaram maior sucesso em explorar os recursos de seus habitats

Nas três Unidades de Produção foi comum entre as mais importantes o registro de 2 espécies que são muito exploradas na Flona: *Manilkara elata*. Andrade *et al.* (2015) registrou essas duas espécies com maiores VI na mesma unidade de conservação. Notou-se que ambas

as espécies reduziram seu valor em VI em função de algumas de suas árvores serem colhidas e geralmente são árvores de grande porte, contribuindo para essa diminuição e assim perdendo sua posição de importância para árvores que não são passíveis de exploração. Os autores anteriormente citados sugerem para essas espécies que são exploradas recuperarem seu VI através de tratamentos silviculturais que podem ser aplicados na floresta visando aumentar novamente seu potencial ecológico e econômico.

5.3. CONCLUSÃO

As intervenções realizadas provocaram redução na riqueza e na diversidade de espécies por meio dos índices de Shannon e Pielou na primeira medição pós-exploração. Contudo, essas reduções não foram significativas estatisticamente e se recuperaram até o final da medição em cada UPA.

A tendência observada foi a redução não significativa das variáveis (densidade, área basal e volume) avaliados após a EIR, seguida pela recuperação dos valores em relação as medições iniciais, chegando até ultrapassá-los na maioria dos casos.

O manejo aplicado manteve a distribuição diamétrica padrão de florestas nativas em todas as medições. Isso mostra que a EIR causou poucos danos nas árvores das classes iniciais.

A exploração aplicada nas três UPAs pôde ser considerada de baixo impacto, pois minimizou os danos as árvores remanescentes. E mesmo na UPA onde a variável volume não recuperou seu valor inicial, o comportamento da floresta permite afirmar que ao longo dos anos as áreas recuperem o estoque antes mesmo do próximo ciclo de corte. Dessa forma não comprometendo a sustentabilidade da floresta.

6 CAPÍTULO 2 – DINÂMICA FLORESTAL DE ÁREAS SUBMETIDAS À EXPLORAÇÃO DE IMPACTO REDUZIDO NA AMAZÔNIA ORIENTAL

RESUMO

O estudo teve como objetivo avaliar as dinâmicas de mortalidade, ingresso e incremento (dap, área basal e volume), bem como o crescimento das árvores por diferentes tipos de iluminação de copa. O local de estudo está localizado em três Unidades de Produção Anual (UPA) na Flona Tapajós, Estado do Pará. Foram realizados inventários florestais em parcelas permanentes de 0,25 ha cada, distribuídas nas três UPAs e avaliadas em quatro períodos diferentes, em que a primeira medição ocorreu antes da exploração e as demais após ela. Mensurou-se todas as árvores com $\text{dap} \geq 10$ cm, e a, partir disso, analisou-se a mortalidade, o ingresso e os incrementos em dap, área basal e volume, bem como o crescimento por diferentes tipos de iluminação sobre as árvores: 1: copa emergente, 2: copa parcialmente iluminada, e 3: copa sombreada. Os resultados mostraram que a exploração de impacto reduzido contribuiu para o aumento da mortalidade, principalmente nos primeiros anos, com 8,5%, 14,2% e 6,6%, respectivamente para as UPAs 2, 3 e 5. Também houve aumento do ingresso logo após o manejo, em que, após aproximadamente 6 anos, esses índices tiveram quedas ao longo dos anos. As menores classes de diâmetro foram as mais suscetíveis a atividades de exploração obtendo maior mortalidade na classe de diamétrica 15 cm. O incremento médio em diâmetro das UPAs foi de $0,32 \text{ cm ano}^{-1}$. As médias de incremento anual em área basal em volume foram: UPA N°2 ($0,47 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ e $5,67 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), UPA N° 3 ($0,42 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ e $5,02 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$), UPA N° 5 ($0,44 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ e $5,28 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$). O maior crescimento em dap foi observado nas árvores com o tipo 1 de iluminação (copa emergente) em relação às demais. A dinâmica das áreas manejadas está de acordo com o esperado para floresta tropical, em que a continuação do monitoramento se faz necessário para continuar a avaliar o comportamento da floresta até o próximo ciclo de corte.

Palavras-chave: Mortalidade; Ingresso; Incremento; Luminosidade

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the dynamics of mortality, ingrowth, increase (dbh, basal area, and volume) and the growth of trees by different types of canopy lighting. The study was conducted in the Tapajos National Forest (TFN), State of Pará, precisely in three Annual Production Units (APUs). Forest inventories were carried out in permanent plots of 0.25 ha each, distributed over the three APUs, which were evaluated in 4 different periods, where the first measurement before exploration and the rest after. All trees with $\text{dbh} \geq 10$ cm were measured, and from there they analyzed mortality, ingrowth and increments in dbh, basal area and volume, as well as growth

by different types of lighting on the trees: 1: emergent crown, 2: canopy partially lit, 3: canopy shaded. The harmed results that the reduced impact exploitation contributed to the increase in mortality mainly in the first years with 8.5%, 14.2%, 6.6% respectively for APUs 2, 3 and 5. There was also an increase in admission soon after management and that after a certain period these indexes have dropped over the years. The smallest diameter classes were the most susceptible to exploration activities, obtaining the highest mortality in the 15 cm diameter class. The average increase in diameter of the APUs was 0.32 cm year⁻¹. The averages of annual increase in basal area in volume were: APU N ° 2 (0.47 m² / ha and 5.67 m³ / ha), APU N ° 3 (0.42 m² ha⁻¹ and 5.02 m³ ha⁻¹), APU N ° 5 (0.44 m² ha⁻¹ and 5.28 m³ ha⁻¹). The highest growth in dbh was observed in trees with type 1 lighting (emerging canopy) in relation to the others. The dynamics of the managed areas are in line with what is expected for the tropical forest, and further monitoring is necessary to continue assessing the behavior of the forest until the next cutting cycle.

Keywords: Mortality; Ingrowth, Increment; Forest light.

6.1. INTRODUÇÃO

Na floresta amazônica é praticado o manejo florestal sustentável que minimiza os impactos sobre áreas de exploração e aumenta a produtividade de madeira através da exploração de impacto reduzido (EIR). Essa técnica é elaborada para permitir o manejo ao longo prazo, em que um número limitado de árvores é explorado, conservando sua estrutura florestal e permitindo a regeneração da vegetação (NOGUEIRA *et al.*, 2016; PUTZ *et al.*, 2008).

A EIR, apesar de ser uma atividade planejada de baixo impacto que cause danos em menor escala do que as demais ações antrópicas, ainda sim é um distúrbio para a floresta, ocasionando mudanças da dinâmica florestal (DIONOSIO, 2020). Neste tipo de exploração, há o corte de árvore de grande porte (dap ≥ 50 cm), trazendo efeitos para a dinâmica da floresta e perda de estoque de volume (DE AVILLA *et al.*, 2017). Por isso, a importância do monitoramento da vegetação após a EIR para avaliar os efeitos a longo prazo das alterações antrópicas na floresta.

Os distúrbios naturais fazem parte do processo de demografia e são fundamentais para a dinâmica florestal, pois influenciam nos processos que promovem o ingresso e a mortalidade, estabelecimento de novos indivíduos e espécies na comunidade (DE AVILA *et al.*, 2013). A exploração de impacto reduzido (EIR) também é considerada um distúrbio para a floresta, ocasionando mudanças da dinâmica e sucessão florestal, embora seja uma atividade que causa danos em menor escala que as demais ações antrópicas e é realizada de forma previamente planejada (DIONOSIO, 2020). É uma atividade que explora árvores de grande porte (dap ≥ 50

cm) trazendo efeitos para a dinâmica da floresta e com perda de estoque de volume (DE AVILLA *et al.*, 2017). Por isso a importância do monitoramento da vegetação após a EIR para avaliar os efeitos a longo prazo das alterações antrópicas na floresta.

As avaliações do cenário pós-exploração são necessárias para compreender as mudanças ocorridas em termos de mortalidade, ingresso, crescimento e isso é realizado através de informações estruturais a longo prazo com parcelas permanentes (CASTRO e CARVALHO, 2014; SOUZA *et al.*, 2017). A partir desses dados, é possível obter as análises detalhadas e tomar as decisões necessárias para o manejo futuro da área explorada, restauração de um ecossistema ou mesmo de uma população degradada (WATZLAWICK *et al.*, 2010; DIONISIO *et al.*, 2018). Informações sobre a dinâmica da floresta fornecem ao manejador um cenário mais claro da capacidade de recuperação de área submetidas ao corte seletivo de espécies (DE AVILA *et al.*, 2013). Entretanto, em função da alta heterogeneidade de florestas tropicais (topografia, solo, biodiversidade, variações climáticas entre outros), a dinâmica após o manejo florestal é difícil de ser prevista (TOLEDO *et al.*, 2011). Dessa forma, torna-se imprescindível conhecer o comportamento das taxas de crescimento bem como os fatores que o influenciam, pois as características de espécies, ambientais, fitossanitárias são uma delas.

A luminosidade da copa é um dos fatores que influenciam no crescimento das variáveis diâmetro, área basal e volume. Diversos autores, como Silva *et al.* (1995), Taffarel *et al.* (2014), Vatrax *et al.* (2016) correlacionam diferentes tipos de iluminação nas copas de árvores com o crescimento em diâmetro. As alterações de luminosidade sobre as árvores se comportam conforme as mudanças na estrutura da florestal ocorridas pela exploração de impacto reduzido.

Dessa forma, o objetivo deste capítulo foi avaliar a dinâmica florestal de três Unidades de Produção Anual (UPA) por meio da taxa e densidade de ingresso, mortalidade e incremento periódico anual. Analisando também a influência da intensidade de luminosidade sobre o crescimento das árvores. Esse capítulo tem as seguintes hipóteses: (i) a mortalidade e o ingresso são maiores na medição seguinte após a exploração e no decorrer dos anos ocorre diminuição dessas variáveis; (ii) nas classes acontece os maiores registros de ingresso e mortalidade de árvores.

6.2. MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Tapajós (Flona Tapajós), município de Belterra, estado do Pará. São áreas de concessão para o manejo florestal sustentável pela Cooperativa Mista Flona Tapajós (COOMFLONA) localizada nas margens BR-163 entre os

paralelos de 2° 45' e 4° 10' de latitude sul e entre os meridianos de 54° 45' e 55° 30' de longitude oeste (SANTO *et al.*, 2019). A figura da área de estudo (Figura 1) se encontra no capítulo I.

O clima da região é quente úmido do tipo Am, com temperatura média anual de 25,5 °C e umidade relativa média de 90% de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013). A precipitação média anual está em torno de 1.820 mm, apresentando grande variação no regime de chuvas durante o ano, com as maiores precipitações ocorrendo nos meses de janeiro a maio (ANDRADE *et al.*, 2015). Na região, há predominância de Latossolo Amarelo Distrófico, caracterizados por textura muito argilosa, perfil profundo e baixa fertilidade (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2015).

A vegetação da área de estudo é classificada como Floresta Ombrófila Densa, que representa maior parte da Flona. Essa tipologia caracteriza-se por indivíduos arbóreos de grande porte e pela presença de lianas lenhosas, palmeiras e epífitas emergentes e cobertura arbórea uniforme (IBGE 2012).

6.2.2. Coleta e análise de dados

Os dados são provenientes do inventário florestal contínuo em três Unidades de Produção Anual (UPA) N° 2, 3 e 5. Ao todo foram amostradas 26 parcelas permanentes (PP) de 0,25 ha cada, totalizando uma área amostral total de 6,5 ha, distribuídas nas UPAs. Foi realizada a medição de todas as árvores com diâmetro altura do peito à 1,30 m do nível do solo ($d_{ap} \geq 10$ cm). As instalações e medições das PP seguiram as diretrizes de Silva *et al.* (2005) para monitoramento de floresta tropical. As parcelas permanentes foram medidas em quatro ocasiões, sendo a primeira antes e as demais logo após a exploração. As medições das parcelas permanentes da UPA 2 ocorreram nos anos de 2006, 2009, 2012, 2016, enquanto da UPA 3 em 2007, 2010, 2013 e 2016. E por fim a UPA 5 inventariada em 2010, 2011, 2015 e 2016, já descritas no capítulo I (Tabela 1).

Para os crescimentos em diâmetro, área basal e volume, foram calculados a partir da diferença entre as medidas nas duas ocasiões e o incremento periódico anual (IPA) pela divisão do crescimento pelos anos correspondentes a cada período considerado:

$$IP = \frac{X_f - X_i}{N} \quad (4)$$

$$IPA = \frac{IP}{t} \quad (5)$$

Em que: IPA=incremento periódico anual; IP=incremento periódico; X_i e X_f = variável inicial e final (d_{ap} , área basal ou volume) considerada no período avaliado; t =número total de anos monitorados.

O incremento das variáveis densidade, área basal e volume calculado por meio daquelas que permaneceram vivas nos diferentes períodos de inventário.

Com base nos levantamentos, considerando esse período, foi determinado a densidade anual de árvores mortas e ingressas e suas correspondentes taxas, a partir das seguintes fórmulas conforme Sheil(1995):

- Taxa de mortalidade

$$M = \left(1 - \left(\frac{N_t}{N_0} \right)^{1/t} \right) * 100 \quad (6)$$

Em que: M=taxa de mortalidade; N0= número de indivíduos encontrados vivos no primeiro levantamento; Nt= número de indivíduos da população inicial, encontrados vivos no último levantamento; t=tempo em anos.

- Taxa de ingresso

$$I = \left(1 - \left[1 - \frac{i}{N_t} \right]^{1/t} \right) * 100 \quad (7)$$

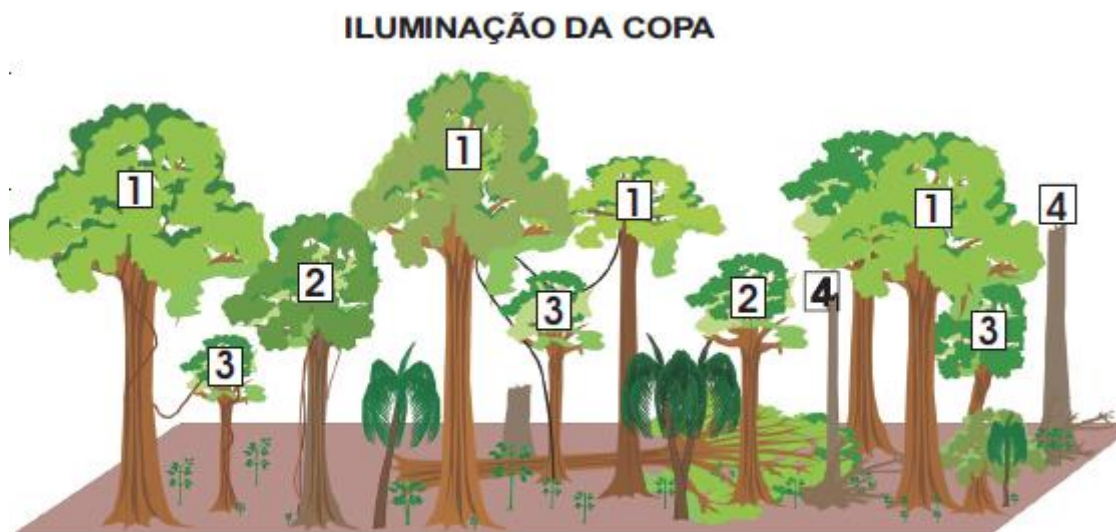
I= Taxa de ingresso; t=tempo decorrido entre duas medições; N_t= contagem final de árvores sobreviventes depois de t; i= número de árvores ingressantes.

O ingresso foi considerado árvores que atingiram o dap mínimo de 10 cm, em cada medição, a partir da segunda, e esse valor dividido pelo número de anos do intervalo entre as medições a fim de obter o Ingresso/ha/ano. O número de árvores contabilizadas como mortas em cada medição foi dividida pelo número de anos do intervalo entre os períodos para obter o número de mortas/ha/ano. Foram consideradas árvores mortas por causa natural e aquelas que morreram em decorrência das operações da exploração.

Para o cálculo de mortalidade e ingresso por classe diamétrica, considerou-se uma amplitude de 10 cm. Na avaliação do crescimento por iluminação de copa foram adotadas as seguintes classificações conforme ilustra a Figura 10:

- a) copa emergente ou completamente exposta à luz;
- b) copa parcialmente iluminada;
- c) copa sombreada ou luz difusa;
- d) árvore sem copa.

Figura 10 - Tipos de iluminação nas copas das árvores



Fonte: Embrapa 2005

6.2.3. Análise Estatística

Realizou-se a Análise de Variância (ANOVA) a 95% de probabilidade para verificar se há diferença do incremento periódico anual (IPA) em diâmetro, área basal e volume em diferentes períodos, em cada UPA. Quando rejeitada a hipótese H_0 (sem diferença significativa entre os itens avaliados) aplicou-se o teste Tukey ao nível de 95% de probabilidade. A normalidade dos dados para atender as premissas da ANOVA foi efetuada através do teste *Shapiro-Wilk* com 95% de probabilidade (RAZALI & WAH, 2011). Nesta análise considerou-se como tratamento e repetição as medições e as parcelas respectivamente.

Os dados foram analisados no ambiente R (*R Development Core Team*, 2019) juntamente com o auxílio do pacote de dados ExpDes.pt versão 1.2 (FERREIRA *et al.*, 2018).

6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1. Mortalidade e ingresso

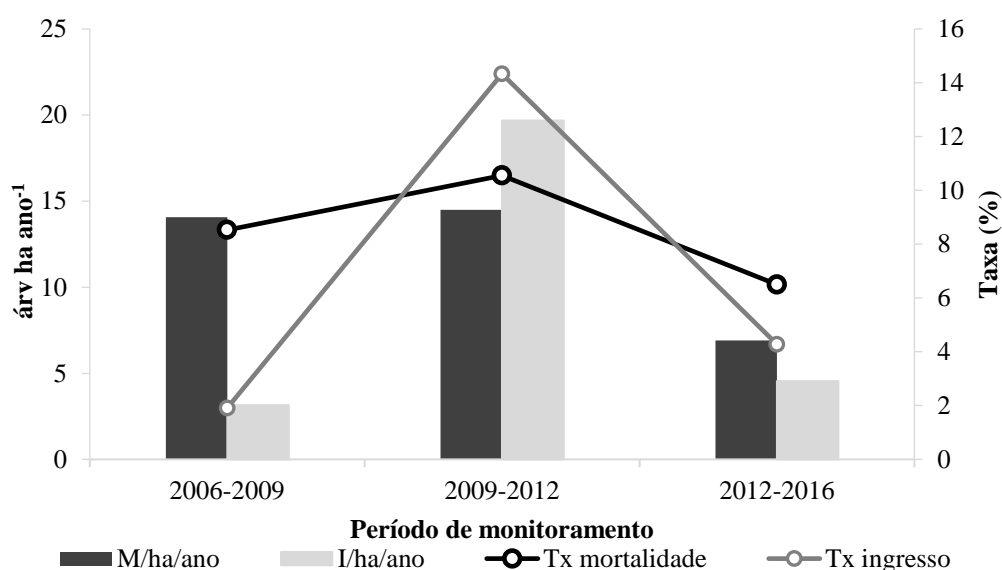
Na UPA 2 o percentual médio de mortalidade de árvores foi de 8,5% no período de 2006 a 2016. A Figura 11 mostra que ao longo desses 10 anos as taxas de mortalidade sofreram flutuações com maior valor de 10,5% no período 2009-2012, e caindo para 6,5% no período seguinte (2012-2016). A densidade de árvores mortas seguiu a mesma tendência das taxas, no intervalo dos anos 2006-2009 esse valor representou 14 árv ha ano⁻¹, e nos anos seguintes com 15 árv ha ano⁻¹ e 7 árv ha ano⁻¹.

Simultaneamente a mortalidade, o ingresso avaliado ao longo dos anos também apresentou oscilações. Como verificado na Figura 11, a taxa e a densidade de árvores ingressas apresentaram em 2006-2009 os menores valores com respectivamente 1,91% e 3 I ha ano⁻¹.

Nas duas avaliações subsequentes houve aumento na taxa e densidade obtendo 14,33 % - 19 I ha ano⁻¹ e 4,28% - 4 I ha ano⁻¹.

A figura mostra que no primeiro período (2006-2009) a taxa de mortalidade foi maior que a o ingresso, mas no período seguinte (2009-2012) esse cenário muda, a taxa de ingresso foi superior compensando a mortalidade. E por fim no período 2012-2016 nota-se a mortalidade novamente em vantagem. As densidades de árvores mortas e ingressas seguem também o mesmo comportamento das taxas anuais.

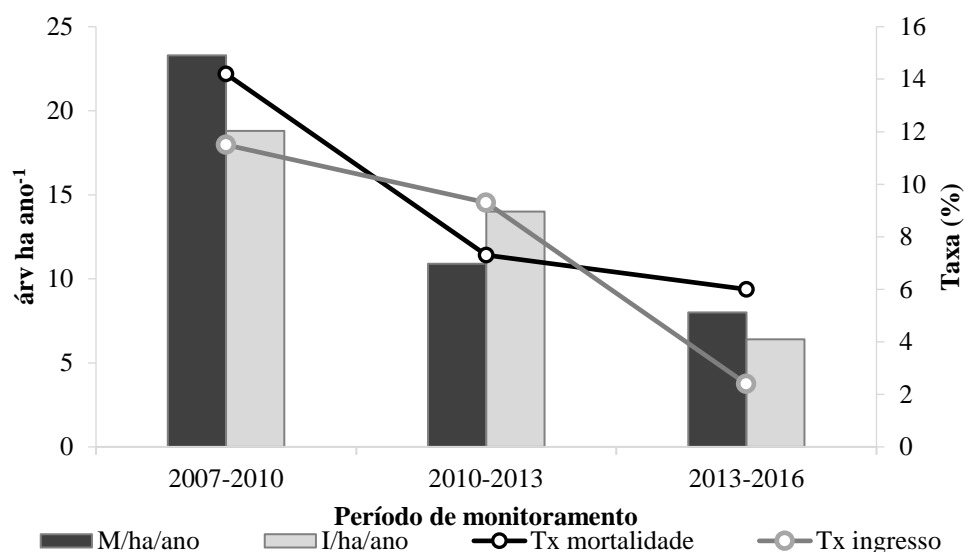
Figura 11 - Mortalidade de ingresso da UPA 2 em três períodos, Floresta Nacional do Tapajós, Pará



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

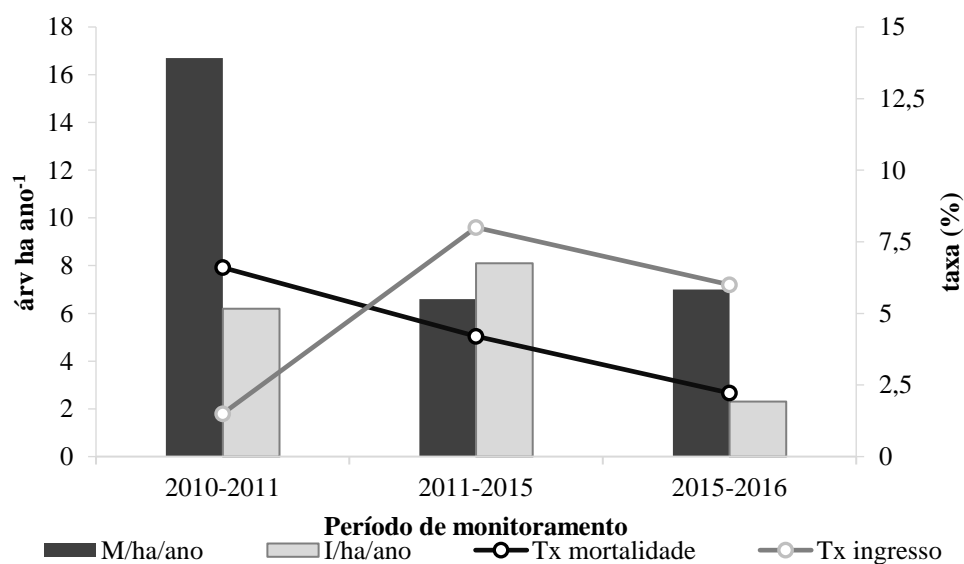
Em relação a UPA 3 os valores de mortalidade e ingresso foram altos no primeiro período (2007-2010), e nos anos seguintes a tendência foi de queda com as taxas seguindo o mesmo comportamento. Nos 3 primeiros anos registraram-se uma mortalidade de 23 M ha ano⁻¹ e ingresso 18 I ha ano⁻¹ e em 20013-2016 esses parâmetros atingiram 6,4 M ha ano⁻¹ e 6,4 8 I ha ano⁻¹ (Figura 12). Na UPA 5 percebe-se o alto valor de mortalidade com 16 M ha ano⁻¹ e uma taxa de 6,6%, no período 2010-2011, e no decorrer dos anos teve o mesmo comportamento das UPAs anteriores. (Figura 13).

Figura 12 - Mortalidade de ingresso da UPA 3 em três períodos, Floresta Nacional do Tapajós, Pará



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 13 - Mortalidade de ingresso da UPA 5 em três períodos, Floresta Nacional do Tapajós, Pará



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Já era esperado os resultados demonstrarem que a mortalidade seria maior que o ingresso no primeiro período. É uma resposta imediata aos impactos da exploração, incluindo arraste de toras, vegetação atingida pela queda de árvores, além da morte por causa natural. Azevedo *et al.* (2008) estudando efeito e a dinâmica da EIR sobre a vegetação remanescente

verificou a mortalidade elevada após a intervenção florestal com estabilização 5 anos depois a extração madeireira.

A densidade e a taxa de ingresso na UPA 2 cresceram até os anos de 2009-2012, no período seguinte (2012-2016) esses parâmetros têm queda, assim como avaliado na UPA 3 e 5. O que explica o aumento de ingresso nos primeiros anos após a exploração é provavelmente o fato de que os efeitos da floresta ao ser explorada e consequentemente abertura de clareiras influenciam no aparecimento de novas árvores, mas ao longo dos anos a floresta inicia seu processo gradual de fechamento do dossel e ocupação máxima, por conseguinte, diminuindo o recrutamento de novas árvores e de condições propícias para espécies demandantes de luz. Dionísio *et al.* (2018) afirmam que as aberturas de copas em florestas primárias causadas pela exploração madeireira são normalmente fechadas em 10 anos. O que também é corroborado por Schwartz *et al.* (2012) e Silva *et al.* (1995), ao mostrarem que os efeitos da exploração de madeira no aumento de ingresso e crescimento não duram mais que uma década, sendo assim a importância de tratamento silvicultural pós-exploração para melhorar e manter a taxas de ingresso e crescimento ao longo do tempo.

Como abordado por Swaine *et al.* (1988) e Whitmore *et al.* (1989) espécies que necessitam de intensa luminosidade em ambientes manejados têm rápido crescimento e ocupação por curto período e isso pode estar relacionado também nos resultados encontrados neste trabalho. A mortalidade esteve dentro dos padrões esperados conforme Amaral *et al.* (2019) e Sist & Nguyen-Thé (2002), aproximadamente aos 10 anos de medição os valores tanto da taxa quando as densidades de árvores mortas tiveram reduções entre as medições. Estudo mais como o de Schwartz *et al.* (2012) em florestas ombrófila densa exploradas na Amazônia, mostram picos de mortalidade até 7 anos após a EIR. E o esperado para os próximos anos, com o auxílio de mais inventários contínuos é a continuação da diminuição desses parâmetros e subsequente estabilização.

Apesar da queda na mortalidade após a exploração, alguns pesquisadores ressaltam que ela pode voltar a crescer em função das variações climáticas que tem causado distúrbios na distribuição de chuvas e intensificação da estação de seca (MALHI *et al.*, 2004; PHILLIPS *et al.*, 2009; PHILLIPS *et al.*, 2010). Essa combinação de poucas chuvas e aumento de temperatura faz aumentar a competição entre as árvores por luz, nutrientes, espaços físicos que implicariam no aumento da mortalidade. O estudo de D'Oliveira *et al* (2017) que monitorou a dinâmica de uma floresta manejada por 20 anos verificou que fenômenos climáticos atípicos como *El niño* e *La niña* contribuíram para o aumento da mortalidade de árvores. Os autores relataram que houve picos de mortalidade num período de tempo superior dez anos após a

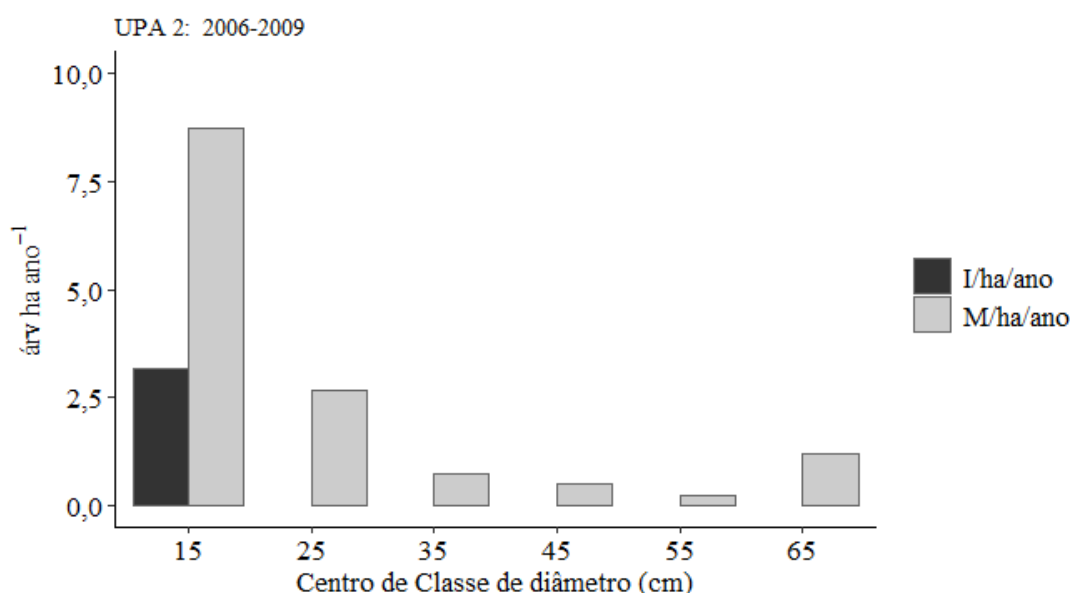
exploração madeireira. A mortalidade, portanto, já não era mais um efeito da exploração florestal, e sim consequência do longo período de seca provocado por esses fenômenos.

Outro fato importante, é que as árvores de grande porte são mais afetadas pela mortalidade devido aos eventos climáticos extremos (*El niño e La niña*) na região amazônica (D'OLIVEIRA *et al.*, 2013, D'OLIVEIRA *et al.*, 2017). Os estudos dos autores anteriormente mencionados mostram que há alterações nos mecanismos hidráulicos das árvores submetidas a estresse hídrico, pois no interior do tronco a pressão que possibilita o transporte da seiva que vão das raízes para as folhas diminui. Este efeito é ainda maior em árvores de maior diâmetro, uma vez que pode ocorrer a formação de bolhas, causando a falência hidráulica.

6.3.2. Mortalidade e ingresso por classe de diâmetro

Em relação a mortalidade e o ingresso por centro de classe diamétrica em cada UPA percebe-se que os maiores valores ocorreram nas menores classes de dap. Na UPA 2 isso ocorreu principalmente na classe de 15 cm (8 M ha ano^{-1}), seguida da classe 25 cm ($2,70 \text{ M ha ano}^{-1}$) (Figura 14). Enquanto isso ao analisar o ingresso neste período de 2006-2007 ocorreu registro apenas na classe de 15 cm com $3,15 \text{ I ha ano}^{-1}$.

Figura 14 - Mortalidade e ingresso por centro de classe diamétrica, considerando o período 2006-2009, na UPA 2. Floresta Nacional do Tapajós, Pará



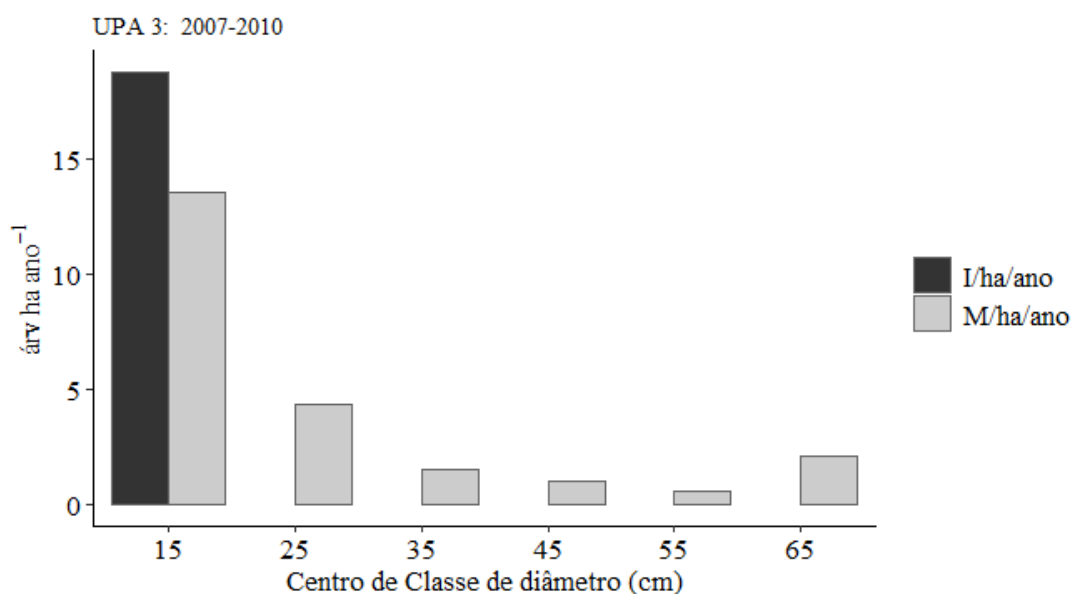
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Na UPA 3 no intervalo de tempo 2007 a 2010 que compreende o período de exploração a maior densidade de mortalidade e ingresso ao ano foram respectivamente $13,55 \text{ M/ ha ano}^{-1}$ e $18,80 \text{ I ha ano}^{-1}$ na classe de dap 15 cm (Figura 15). Fato também visto na UPA 5 com mortalidade de $9,09 \text{ M ha ano}^{-1}$ e ingresso $6,20 \text{ I ha ano}^{-1}$ (Figura 16). As figuras anteriormente

citadas mostram que as maiores perdas anuais em densidade de mortalidade e ingresso por classe de diâmetro ocorreram nas menores classes. Oliveira (2019) avaliando a dinâmica de uma floresta explorada no município de Paragominas-Pará, chegou a valores aproximados dos encontrados neste estudo, e verificou um comportamento similar de ingresso e mortalidade por centro de classe. Isso corrobora a o fato das árvores de pequeno porte serem mais propensas ao impacto da exploração, geralmente são árvores mais facilmente atingidas pelas atividades de colheita (derruba, araste de toras, trilha de arraste etc.), pelo tráfego de máquinas como *Skidder* e tratores de abertura das trilhas, além da mortalidade natural. Dessa forma os danos tendem a atingir esse grupo com mais facilidade.

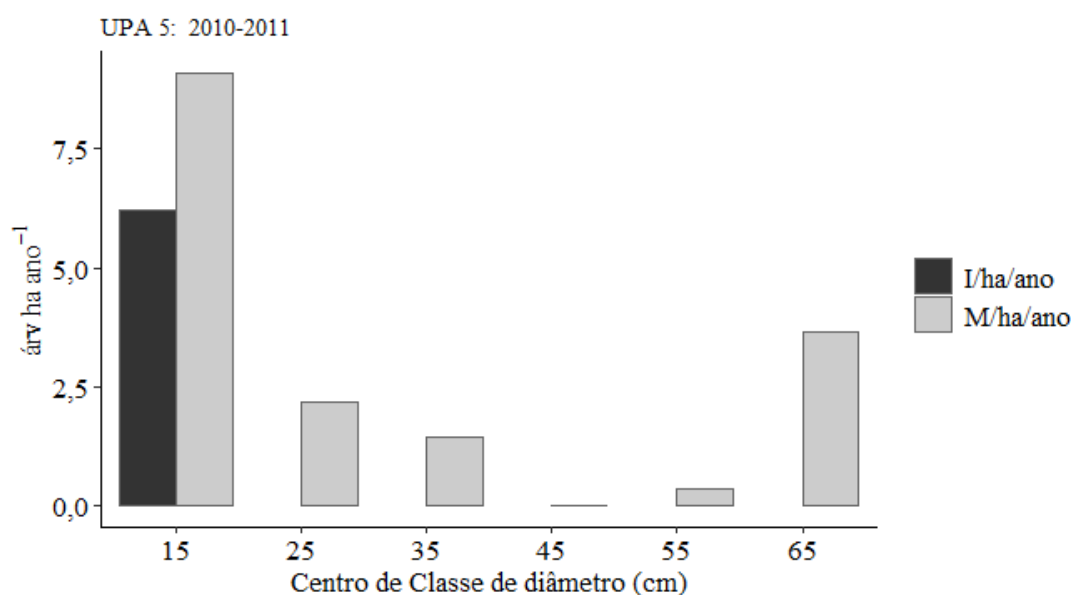
Outro ponto está relacionado a classe 15 cm apresentar a maior taxa de ingresso. Isso se deve ao fato de que ao abrir clareiras na floresta propicia maior incidência de luz no sub-bosque estimulando o crescimento de árvores e dessa forma alcançando o dap mínimo (10 cm).

Figura 15 - Mortalidade e ingresso por centro de classe diamétrica, considerando o período 2007-2010, na UPA 3. Floresta Nacional do Tapajós, Pará



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 16 - Mortalidade e ingresso por centro de classe diamétrica, considerando o período 2010-2011, na UPA5. Floresta Nacional do Tapajós, Pará



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

6.3.3. Incremento periódico anual

Os Incrementos Periódicos Anuais em diâmetro (IPA_{dap}) podem ser observados Tabela 5. Considerando todos os períodos, o incremento periódico em diâmetro ficou em média $0,32 \text{ cm ano}^{-1}$. Este resultado é o mais comum encontrado para florestas tropicais amazônicas, pois a média para esta tipologia varia em torno de $0,30$ a $0,5 \text{ cm ano}^{-1}$ (BEZERRA *et al.*, 2018; COSTA *et.al.* 2008; OLIVEIRA, 2016).

A UPA 2 apresentou no primeiro período (2006-2009) um incremento em diâmetro de $0,32 \text{ cm ano}^{-1}$ chegando em 2016 com $0,30 \text{ cm ano}^{-1}$ e os períodos analisados não diferiram estatisticamente ($p\text{-valor} = 0,9078$). Enquanto na UPA 3 os anos de 2007-2010, 2010-2013 e 2013-2016 apresentaram respectivamente $0,28$, $0,31$ e $0,32 \text{ cm ano}^{-1}$, havendo diferença estatística de acordo com a ANOVA ($p\text{-valor} = 0,0399$), onde a média do último período foi superior ao primeiro e igual ao segundo pelo teste Tukey ($\alpha = 0,05$). Os resultados da UPA 2 revelam que a exploração causou efeito no crescimento mais notório nos três primeiros anos, a partir de então o incremento diminuiu ao longo dos anos. Diferentemente na UPA 3 onde o incremento desde os primeiros (2007-2010) continuou a crescer até 2016. Na UPA 5 o valor de incremento no primeiro período (2010-2011) foi maior em relação aos demais anos (Tabela 5). O curto espaço de tempo transcorrido entre 2010 e 2011 foi causa desse alto incremento. O Anova evidenciou que houve variação entre os períodos ($p\text{-valor} = 0,0067304$), sendo o primeiro período estatisticamente superior aos demais pelo teste Tukey ($\alpha = 0,05$).

Em florestas tropicais o incremento diamétrico raramente supera $1,0 \text{ cm ano}^{-1}$, variando entre $0,2$ e $0,5 \text{ cm ano}^{-1}$ (COLPINI *et al.*, 2010; MENDEZ, 2018; SCHMIDT, 1987) e como verificado neste trabalho este valor não foi ultrapassado. Em se tratando de uma floresta bastante heterogênea são muitos os fatores que contribuem para as taxas de incremento não serem similares entre áreas, por exemplo, condições ambientais, intensidade da exploração, intervalo de tempo entre medições, grupo ecológico da espécie (SILVA, 1989). Para florestas não exploradas a taxa do incremento diamétrico é menor em relação àquelas com EIR, com variação normalmente entre $0,1 \text{ cm ano}^{-1}$ a $0,2 \text{ cm ano}^{-1}$ (SILVA *et al.*, 2002). Dessa forma infere-se que logo após a EIR houve efeito positivo na aceleração do crescimento nas UPAs aqui estudadas, por causa da abertura no dossel da floresta que propiciou condições favoráveis de crescimento e menor concorrências entre as árvores. Entretanto ressalta-se que a tendência é de diminuição do IPA em diâmetro ao longo dos anos, chegando a valores até menores que encontrados nos primeiros períodos, ou semelhantes a florestas não exploradas (ANDRADE *et al.*, 2020).

Tabela 5 - Incremento Periódico Anual em diâmetro (cm ano^{-1}) em 3 Unidades de Produção Anual, Floresta Nacional do Tapajós, Pará

UPA	Período	IPA (cm ano^{-1})
2	2006-2009	0,32 a
	2009-2012	0,31 a
	2012-2016	0,30 a
3	2007-2010	0,28 b
	2010-2013	0,31 ab
	2013-2016	0,32 a
5	2010-2011	0,43 a
	2011-2015	0,30 b
	2015-2016	0,29 b

Letras iguais na vertical, em cada UPA, não diferem estatisticamente entre os períodos avaliados pelo teste Tukey ($\alpha = 0,05$). Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

6.3.4. Incremento periódico anual em dap por classe diamétrica

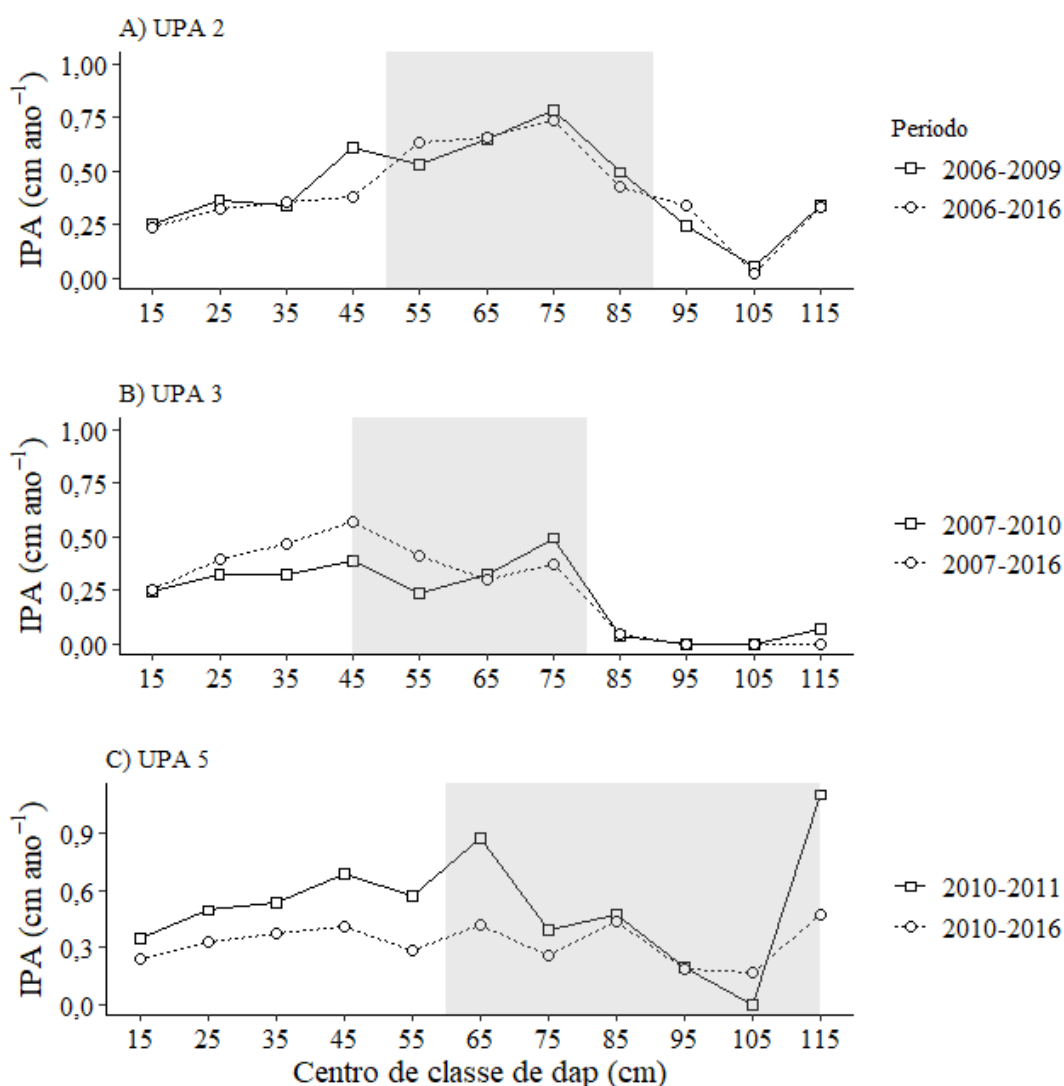
O incremento periódico anual por classe diamétrica considerando o primeiro período 2006-2009 que abrange a medição imediata pós-manejo e 2006-2016 (período total) da UPA 2 são na Figura 17A. Ambos os períodos apresentaram bastante semelhanças no IPA ao longo

das classes. Nota-se que entre as classes 55 a 85 houve os maiores incrementos. No período 2006-2009 o IPA foi de $0,79 \text{ cm ano}^{-1}$ e na avaliação que compreende os 10 anos (2006-2016) esse alto valor foi $0,73 \text{ cm ano}^{-1}$, todos na classe de dap 75 cm. Na UPA 3 os maiores IPAs foram registrados nas classes 45 cm ($0,57 \text{ cm ano}^{-1}$) e 75 cm ($0,49 \text{ cm ano}^{-1}$) respectivamente nos períodos 2007-2010 e 2007-20016 (Figura 17B). Em relação a UPA 5 os maiores incrementos foram registrados na classe de dap 65 cm com $0,86 \text{ cm ano}^{-1}$ (2010-2011) e no diâmetro acima de 115 com $0,46$ (2010-2016) como mostrado na Figura 17C.

O fato dos maiores IPAs terem ocorrido em classes maiores isso mostra que as árvores de grande porte conseguem maior resposta as alterações de densidade, visto que geralmente árvores dominantes estão em posição de vantagem na obtenção de mais luz, umidade, fatores esses que influenciam em seu crescimento. No cenário de exploração madeireira da área de estudo esta atividade pode acelerar ainda mais esses processos de maior incremento nas classes acima de 50 cm.

Avaliando o incremento em diâmetro por classe de dap numa área explorada na Flona Tapajós a 31 km de distância das UPAs deste trabalho, Carvalho *et al.* (2004) obtiveram um comportamento nas classes diamétricas acima de 45 cm de alto incremento, que se assemelha aos incrementos aqui registrados. E como houve exploração de espécies comerciais com DMC de 50 cm, e a Instrução Normativa nº7 obriga a manter pelo menos 10% do número de árvores por espécies na área de efetiva exploração, esses indivíduos não explorados nessas altas classes também podem ter sido beneficiados com maior incremento periódico, devido ao espaço aberto pela exploração.

Figura 17 - Incremento Periódico Anual em diâmetro, por centro de classe de dap, na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. A: UPA 2; B: UPA 3; C: UPA 5



Área cinza em destaque no gráfico refere-se aos maiores IPAs em dap. Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

6.3.5. Incremento periódico anual em Área basal e Volume

O incremento periódico em área basal e volume em todas as Unidades de produção teve decréscimo no último período avaliado comparado ao primeiro como mostra a Tabela 6. Na UPA 2 o primeiro período (2006-2009) registrou $0,57 \text{ m}^2 \text{ ha ano}^{-1}$ que foi estatisticamente igual ao segundo período e superior à terceira avaliação pelo teste Tukey ($\alpha = 0,05$).

Na UPA 3 o maior incremento em área basal foi registrado no segundo período (2010-2013) com $0,51 \text{ m}^2 \text{ ha ano}^{-1}$, este diferindo dos demais períodos (Tukey $\alpha = 0,05$). Avaliando a Unidade de produção N° 5 a média da primeira avaliação (2010-2011) correspondeu a $0,61 \text{ m}^2 \text{ ha ano}^{-1}$ que foi estatisticamente superior aos outros dois períodos.

Tabela 6 - Incremento Periódico Anual em Área Basal ($\text{m}^2 \text{ ha ano}^{-1}$) e Volume ($\text{m}^3 \text{ ha ano}^{-1}$) em 3 Unidades de Produção Anual, Floresta Nacional do Tapajós, Pará

		Períodos			
UPA		2006-2009	2009-2012	2012-2016	Média
2	IPA _G	0,57 a	0,47 ab	0,36 b	0,47
	IPA _v	6,77 a	6,04 a	4,22 a	5,67
		2007-2010	2010-2013	2013-2016	
3	IPA _G	0,38 a	0,51 b	0,37 a	0,42
	IPA _v	4,44 a	6,23 b	4,40 a	5,02
		2010-2011	2011-2015	2015-2016	
5	IPA _G	0,61 a	0,41 b	0,31 b	0,44
	IPA _v	7,18 a	4,95 ab	3,73 b	5,28

Letras iguais na horizontal não diferem estatisticamente entre os períodos avaliados pelo teste Tukey ($\alpha = 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O incremento em volume apresentou comportamento semelhante a área basal. O maior valor registrado na UPA 5 de $7,18 \text{ m}^3 \text{ ha ano}^{-1}$ foi no período 2010-2011, mas deve ser levado em consideração o curto período de tempo entre as medições, que captou rapidamente o efeito da colheita. Diferentemente dos períodos das demais UPAs que têm intervalos de 3 anos entre os anos. Apenas na UPA 3 e 5 houve diferença entre as medições pelo Teste Tukey ($\alpha = 0,05$).

Através destes resultados infere-se que a exploração promoveu maior crescimento em área basal e volume, que fica evidente nos altos valores do primeiro período em cada unidade, com exceção da UPA 3 onde os maiores valores dessas variáveis concentraram no segundo período. A partir do segundo período, entretanto, os valores caem, mostrando que caso não haja uma intervenção posterior que fomente o crescimento de área basal e volume, esses valores se estabilizarão. Outras experiências de manejo florestal sustentável na Amazônia encontraram incrementos em volume e área basal semelhantes com os deste trabalho. Com por exemplo Souza *et al.* (2017) que para uma área manejada no Amazonas a média de IPA em área basal correspondeu a $0,31 \text{ m}^2 \text{ ha ano}^{-1}$ e volume $4,63 \text{ m}^3 \text{ ha ano}^{-1}$, Teixeira *et al.* (2007) observaram $5,60 \text{ m}^3 \text{ ha ano}^{-1}$ em incremento volumétrico.

Como observado nas tabelas anteriores no último período em cada UPA houve os menores valores de crescimento em área basal e volume. Uma das formas do aumento dessas variáveis seria a aplicação de tratamentos silviculturais, que impulsiona o crescimento das

espécies comerciais e ciclo de corte das florestas reduzido (DAVID *et al.*, 2019; PEÑA-CLAROS *et al.*, 2008). As práticas adotadas em florestas tropicais são neste caso o desbaste de árvores concorrentes, corte de cipós, liberação de copas para maior captação de luz, condução da regeneração entre outras, e desta forma maior incremento (GOMES *et al.*, 2010). Experimentos com esses tratamentos silviculturais pós-exploração são poucos na região amazônica, entretanto, pesquisas de Taffarel *et al.* (2014) e Oliveira (2005) na região norte demonstram o efeito positivo.

Essas pesquisas apontam que a remoção de até 50% da área basal apresentaram bons indicadores que favoreceram no aumento das taxas de área basal e volume de espécies comerciais. Esses resultados permitem afirmar o benefício em aplicar tratamentos silviculturais e que devem ser considerados pelo manejador no planejamento da próxima exploração madeireira.

Apesar da importância de tratamentos silviculturais pós-colheita para o crescimento e produção de espécies desejáveis o que se nota na Amazônia é a escassez de estudos e aplicação em florestais tropicais, as práticas que visam aumentar a produtividade pós-exploração ainda são pouco incorporadas pelos manejadores em suas florestas (SABOGAL *et al.*, 2006; SOUZA *et al.*, 2015).

6.3.6. Incremento periódico anual por tipo de iluminação de copa

As taxas de incremento em dap de acordo com a quantidade de luz recebida pela copa sofreram variações em todos os níveis, demonstrando a influência da luminosidade no incremento. A Figura 18 mostra o incremento anual periódico em diâmetro de acordo com a classificação de iluminação da copa.

Em relação a exposição de luz dentro de cada nível de classificação o crescimento diamétrico não diferiu estatisticamente pelo teste Tukey ($\alpha = 0,05$) nas UPAS 2, 3 e 5 (Figura 18A, C, E) e mostraram a mesma tendência de influência de crescimento em relação a disponibilidade de luz, com exceção do nível 3 (copa totalmente sombreada) na UPA 5 onde foi detectada diferença média desse nível em diferentes anos (Figura 18E). As Figuras 18B, D, F representam os diferentes níveis (1,2,3) por período, e neste caso houve diferenças pelo teste Tukey ($\alpha = 0,05$), na qual a classificação copa totalmente iluminada foi superior as demais em praticamente todos os períodos.

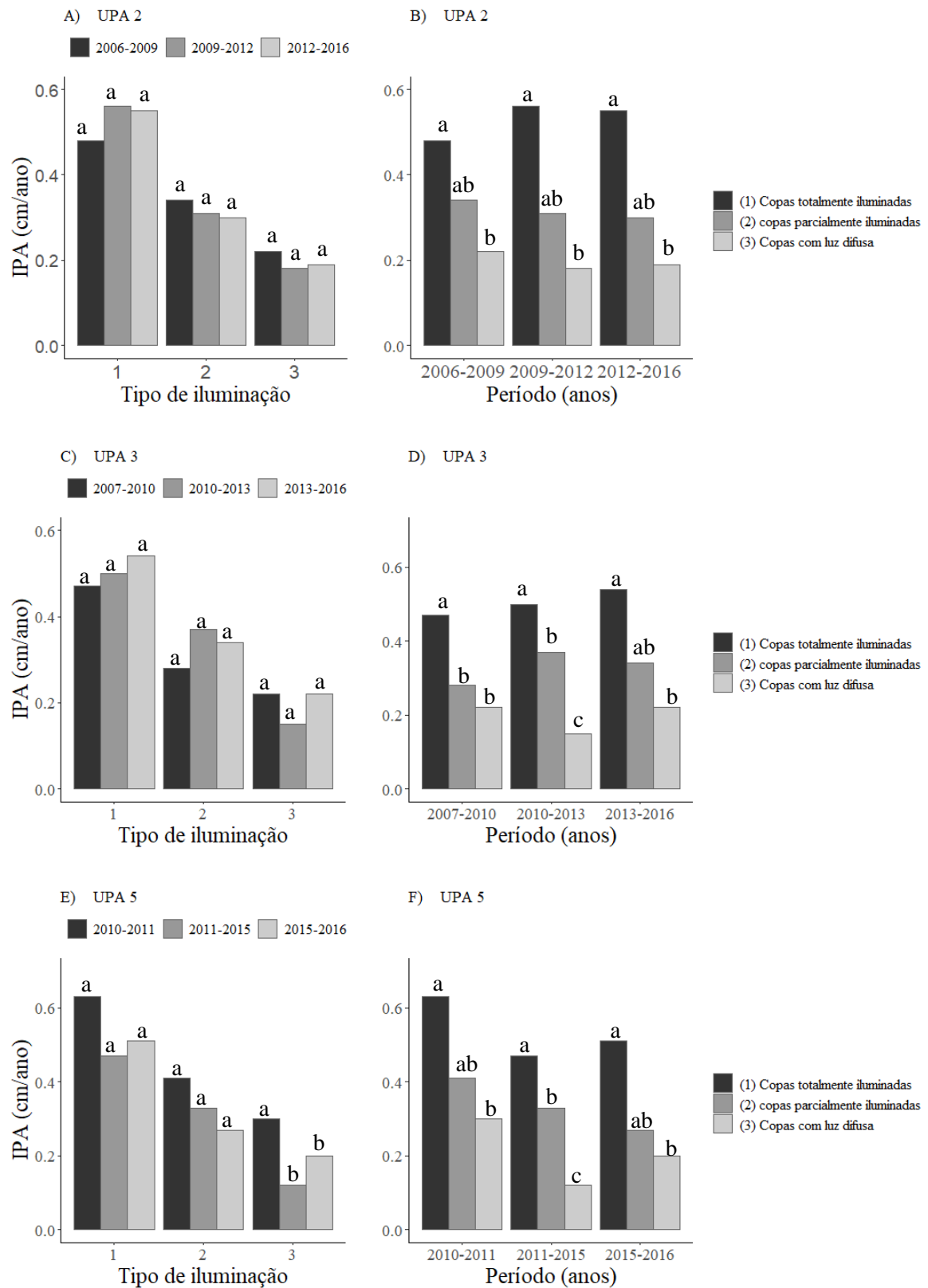
Os maiores incrementos foram obtidos nas árvores com copa totalmente exposta à luz em todos os períodos analisados nas 3 UPAs, seguida de árvores com copa parcialmente exposta à luz e copa totalmente coberta. Estes resultados estão em consonância com Moraes *et al.* (2017) que estudando uma área submetida ao manejo na Flona Tapajós verificaram que árvores com

copas totalmente expostas à luz tiveram maior incremento em relação as demais classificações. A mesma situação também encontrada por Oliveira (2005) e Neves d'Oliveira *et al.* (2006) com resultados indicando que à medida que uma árvore era mais exposta a luz maior o seu IPA_{dap} . Em média, neste trabalho, árvores com copas totalmente iluminadas cresceram 37% mais do que árvores parcialmente sombreadas e 60% a mais que totalmente sombreadas.

Esse padrão de comportamento mostra que diferentes níveis de exposição de luz influenciam no incremento, consequentemente a maior exposição de copa à luz propicia que a árvore obtenha mais capacidade fotossintética devido à grande absorção de raios solares. Dessa forma a árvore intensifica seu crescimento em diâmetro tendo maiores incrementos do que árvores com intensidade menor de luz.

Outro importante destaque é o fato que a maioria das árvores serem classificadas como copa sombreada ou não recebendo nenhuma luminosidade e nestes grupos podem estar árvores que são exploradas na região. E como forma de aumentar ainda mais produtividade dessas árvores para o próximo ciclo de corte sugere-se a aplicação de algum tratamento silvicultural de abertura de copa visando liberá-las de competição e ter aumento em dap. Em um projeto de manejo florestal comunitário no Acre d'Oliveira (2006) também verificou grande quantidade de árvores, entre elas as que são passíveis de exploração, classificadas em níveis com pouca luminosidade. A autora sugeriu tratamento silvicultural para maior incremento em diâmetro para árvores potencialmente exploráveis. Comparando a UPA 2 e 3 seus valores são bastantes semelhantes, provavelmente devido o intervalo de tempo de que foi de 3 anos entre as medições.

Figura 18 - IPA em diâmetro em diferentes tipos de iluminação de copa e em diferentes períodos em Unidades de Produção Anual, na Flona Tapajós, Pará



Tipo de iluminação agregado por período (Figura A, C, E). Períodos com os diferentes tipos de iluminação.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Conforme Vatrás *et al.* (2016), a intensidade de iluminação está relacionada ao nível de perturbação da floresta, especificamente ao dossel, inferindo que as clareiras abertas após a exploração podem ter influenciado nos resultados posteriores a EIR. Apesar de não ser o escopo desse trabalho avaliar a dinâmica de clareiras, mas a literatura conforme Francez *et al.* (2013), Vidal *et al.* (1998) mostram que a abertura de área na vegetação em decorrência das atividades de manejo intensifica o crescimento das espécies pioneiras. E esse é um fator que deve ser considerado principalmente num possível tratamento silvicultural, pois sua má aplicação contribuiu para maior ocorrência destas espécies demandantes de luz aumentando a competição em detrimento de árvores não pioneiras, que em geral são as mais aptas para exploração e com maior valor econômico.

Estudos comprovaram que o desbaste de espécies concorrentes em floresta nativa impulsiona em até 50% no crescimento em diâmetro de árvores restantes (DAVID *et al.*, 2019; TAFFAREL *et al.*, 2014). Esse crescimento implicaria em redução até mesmo do tempo do ciclo de corte para espécies exploráveis, isso reforça a necessidade de mais discussões sobre o manejo de espécies específicas na Amazônia. Hoje o atual sistema de manejo para Amazônia é um modelo generalista para todas as espécies, salvo algumas exceções, que em determinados pontos sofrem contestações. Entretanto, não se pode deixar de considerar que este mesmo manejo florestal sustentável, com seus requisitos para ciclo de corte, intensidade de exploração na atual legislação é o mais indicado para uso da floresta do que outras práticas predatórias.

Atualmente, a cooperativa que realiza a exploração nas áreas de manejo da Flona Tapajós, não aplica tratamento silvicultural ou intervenção após a EIR, o que é comum em outras empresas de manejo na Amazônia. Esta ausência de intervenção na floresta remanescente pode ser explicada pelo custo e pelo desconhecimento de que abertura de dossel e a redução de competitividade pode impulsionar o crescimento de espécies exploráveis. Para isso, estudos dedicados à viabilidade econômica da aplicação de tratamentos silviculturais podem ser feitos em área experimental para responder se tais atividades aumentariam os custos da extração madeireira.

Os resultados indicam que a iluminação de copa deve ser considerada no monitoramento e na condução da floresta até próxima exploração. Sua avaliação pode contribuir para maior produtividade da floresta, com altas de taxa de crescimento nas variáveis desejadas. De acordo com a legislação para o manejo florestal, mais especificamente a IN-5 de 2015 (SEMAS, 2015) no estado do Pará, os gestores florestais podem adotar medidas de regulação da produção florestal. Dessa forma, os gestores com base em relatórios técnicos e científicos poderiam

sugerir mudanças no atual ciclo de corte de acordo com o potencial de crescimento das espécies, para manter em equilíbrio entre a produção e o tempo necessário de recuperação.

Uma das preocupações do manejo é garantir o estoque de madeiras comerciais para o próximo ciclo de corte, haja vista que a exploração de impacto reduzido provoca o aumento da mortalidade pós-manejo. Fatores como a escassez da regeneração das espécies comerciais e volume retirado da exploração juntamente com o volume perdido pela mortalidade, podem implicar num baixo rendimento no futuro do próximo extração seletiva, somado a isso há o baixo crescimento natural das árvores comerciais em florestas tropicais manejadas (DIONISIO, 2020).

Neste caso, os tratamentos silviculturais pós-exploração aumentam o crescimento das árvores de interesse econômico e o rendimento madeireiro, mitigando os problemas em relação a recuperação de volume e área basal (REIS *et al.*, 2010; SCHWARTZ *et al.*, 2017). E podem ser incorporadas pelos manejadores em seus planejamentos devido seu potencial e assim garantir um manejo mais adequado e sustentável, pois, manter as florestas pós-exploradas sem nenhum tratamento, acarreta incremento em dap menor (TAFFAREL *et al.*, 2014). Esses autores comparando uma série de tratamentos aplicados em uma floresta ombrófila densa verificaram que espécies comerciais que foram submetidas a tratamento logo após a exploração obtiveram ganhos no crescimento em relação a tratamento que apenas realizou a extração madeireira.

6.4. CONCLUSÃO

As áreas de manejo estão em equilíbrio dinâmico, ou seja, as árvores que saem do sistema (mortalidade) são continuamente substituídas por novos exemplares (ingresso).

A exploração madeireira afetou a dinâmica de floresta, aumentando as taxas de mortalidade, ingresso e crescimento das árvores remanescentes logo após o manejo. Tanto a densidade anual quanto as taxas de mortalidade e ingresso tiveram duração variável, em que, ao longo dos anos, houve queda dessas variáveis. Avaliação da mortalidade indicou também que as menores classes de diâmetro são mais suscetíveis às atividades de exploração, porém, nesse mesmo grupo, registrou-se alto ingresso.

A intensidade de exploração aplicada no manejo comprova que o maior valor de incremento periódico em dap, área basal e volume ocorreu no primeiro período em cada UPA. Outro efeito da EIR verificado foram os altos incrementos em dap nas classes intermediárias.

A iluminação de copa foi um fator que estimulou o incremento em dap das árvores, variando de acordo com o nível de exposição das copas a luz. A maior intensidade de

iluminação nas copas estimulou de forma significativa o crescimento das árvores após a EIR. Dessa forma, é forte o argumento da aplicação de algum tipo de tratamento silvicultural para promover o crescimento das árvores, aumentando sua produtividade. Assim, o manejo na Amazônia deve levar em consideração essa abordagem como um fator de tomada decisão.

A avaliação dinâmica de mortalidade e ingresso envolveu um período de monitoramento de no máximo 10 anos, por isso, conclusões mais apuradas que necessitem de períodos maiores podem ser restringidas por esse tempo. Por isso, os inventários das unidades de produção devem ser mantidos para acompanhamento da trajetória do processo de recuperação a longo prazo.

7 CAPÍTULO 3 – PROGNOSE DA ESTRUTURA DIAMETRICA DE UMA FLORESTA OMBROFILA Densa PELO MÉTODO DA MATRIZ DE TRANSIÇÃO

RESUMO

A modelagem da distribuição diamétrica através matriz de transição possibilita estimar a estrutura futura de uma floresta submetida a exploração de impacto reduzido (EIR). O objetivo deste estudo foi realizar a prognose da estrutura diamétrica para uma floresta tropical com histórico de EIR na Flona Tapajós, Pará. Os dados foram coletados na Unidade de Produção Anual (UPA) n° 3 por meio do inventário de 10 parcelas permanentes de 50 m x 50 m. Foram realizadas 4 medições, a primeira medição ocorreu antes da exploração (2007) e as demais após (2010, 2013, 2016). A exploração ocorreu no ano de 2008 com intensidade de corte de 15,7 m³ ha⁻¹. Para a projeção foram usadas duas matrizes de transição que foram dos anos 2007-2010 e 2010-2013, e posteriormente comparadas com a distribuição diamétrica real de 2013 e 2016. Avaliação estatística das distribuições reais e projetadas foi analisada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 1 % de significância. As distribuições projetadas pelas duas matrizes apresentaram padrão J-invertido. Houve maior probabilidade das árvores permanecerem na mesma classes de diâmetro e também verificado a ocorrência do estado absorvente. O método matriz de transição apresentou valores estimados próximos aos reais, na qual em todos os anos houve subestimativa no número total de árv ha⁻¹. A projeção da matriz probabilística 2007-2010 foi aderente até 2013 (5 anos após a exploração), enquanto da matriz 2010-2013 até o ano de 2016 (8 anos após a exploração), recomendando esta última para a prognose da estrutura florestal. O método de matriz de transição pode ser usado pelo manejo florestal para a projeção da densidade por classe diamétrica após a exploração, mas devendo ter cautela ao realizar para períodos grandes.

Palavras-chave: Cadeia de markov; Floresta tropical; distribuição diamétrica; exploração de impacto reduzido.

ABSTRACT

The modeling of the diametric distribution through the transition matrix prognosis can be a fundamental tool to understand a future structure of a forest subjected to reduced impact exploration (EIR). The objective of the study is to make a prognosis of the diametric structure for a tropical forest with a history of EIR in the Tapajos National Forest, Pará. Data were collected at the Annual Production Unit (APU) n ° 3 through an inventory of 10 permanent plots of 50 m x 50 m. Were realized four measurements, the first occurred before the logging (2007) and the rest after (2010, 2013, 2016). An logging took place in 2008 with a cutting

intensity of $15.68 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. For the projection, two transition matrix from the years 2007-2010 and 2010-2013 were used, which were compared with the actual diametric distribution of 2013 and 2016. Statistical evaluation of the real and projected distributions was analyzed by the Kolmogorov-Smirnov (KS) test at 1% significance. The distributions designed by the two standard J-inverted matrix. The projection of the probabilistic matrix 2007-2010 was adherent until 2013 (5 years after logging), while of the 2010-2013 matrix until 2016 (8 years after logging), recommending the latter for a prognosis of the forest structure. The transition matrix method can be used for sustainable forest management to project the density by diameter class after logging but should be cautious when carrying out for long periods.

Keywords: Chain markov; Tropical forest; Diametric diameter; Amazon.

7.1. INTRODUÇÃO

O uso da floresta tropical em benefício da sociedade requer decisões acertadas com relação ao nível de imputação a ser usado na exploração florestal. As decisões ideais requerem previsões precisas de crescimento e produção em diferentes cenários produtivos que capazes de fornecer várias possibilidades para a exploração (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Avaliar como o número de árvores evolui ao longo dos anos por classe de diâmetro resulta em importante informação para o manejo florestal, podendo calcular o volume, área basal e ciclo de corte (LANA *et al.*, 2015; SCOLFORO, 1998). Para isso são usados modelos de produção florestal com o objetivo garantir a sustentabilidade dos recursos em florestas tropicais (VASCONCELOS *et al.*, 2009).

O uso de modelos de prognose facilitam a análise da estrutura diamétrica da floresta, fornecendo subsídios para tomada de decisões em relação a exploração dos recursos florestais (MACHADO *et al.*, 2017). Para o manejo florestal sustentável a ferramenta da modelagem de crescimento é importante pois tem a capacidade de responder o momento em que a floresta recupera seu estoque após a exploração e projeção da produção em o futuro com base nas condições atuais (CHASSOT *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2020). Um dos métodos para gerar projeções é a matriz de transição, que segundo Austregésilo *et al.* (2004), é uma técnica que se baseia em probabilidade de ocorrência dos eventos que propiciam a dinâmica florestal, tais como: ingresso ou a regeneração natural, mortalidade ou a perturbação do dossel e o crescimento em classes de tamanho.

A matriz de transição por utilizar informações de distribuição de diâmetros é um dos mais difundidos para realizar a prognose, por causa da sua facilidade em obter dados. É um processo estocástico, portanto presume-se que uma árvore localizada em uma determinada

classe de diâmetro no tempo t tem uma certa probabilidade de permanecer nesta classe ou de migrar para outra em tempo $t + \theta$ em função do seu estado atual (VILLANOVA *et al.*, 2018).

A grande complexidade da floresta tropical por ser uma tipologia com grande diversidade, dificulta avaliação do crescimento e produção e, por conseguinte, a definição de um ciclo de corte adequado para as espécies (SOUZA *et al.*, 2004). Além da heterogeneidade das florestas nativas, são poucas as informações de como as plantas crescem seja em áreas intactas ou em área manejadas (SCOLFORO *et al.*, 1996; SOUZA *et al.*, 2014). E é nesse contexto que a prognose por meio da matriz de transição pode ser uma ferramenta importante para o manejo em projetar sua floresta ao longo do tempo.

A eficiência da matriz de transição tem resultados satisfatórios para períodos de 3 anos e vantagem de realizar simulações a partir de dados de apenas duas medições (TERESCZUCH *et al.*, 2007). E para avaliar o crescimento de floretas naturais este modelo é uma alternativa de uso, uma vez que não coleta variáveis de difícil obtenção neste tipo de tipologia como idade e índice de sítio. (SANQUETTA *et al.*, 1996).

Diante disso, o objetivo deste estudo foi empregar o método matriz de transição para projeção da distribuição diamétrica de uma floresta tropical amazônica, submetida a EIR, na Floresta Nacional do Tapajós, no oeste do Pará.

7.2. MATERIAL E MÉTODOS

7.2.1. Área de estudo

O estudo foi realizado na Floresta Nacional do Tapajós (Flona Tapajós), município de Belterra, estado do Pará. São áreas de concessão para o manejo florestal sustentável pela Cooperativa Mista Flona Tapajós (COOMFLONA) localizada nas margens BR-163 entre os paralelos de 2° 45' e 4° 10' de latitude sul e entre os meridianos de 54° 45' e 55° 30' de longitude oeste (SANTOS *et al.*, 2019).

O clima da região é quente úmido do tipo Am, com temperatura média anual de 25,5 °C e umidade relativa média de 90% de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013). A precipitação média anual está em torno de 1.820 mm, apresentando grande variação no regime de chuvas durante o ano, com as maiores precipitações ocorrendo nos meses de janeiro a maio (ANDRADE *et al.* 2015). Na região, há predominância de Latossolo Amarelo Distrófico, caracterizados por textura muito argilosa, perfil profundo e baixa fertilidade (OLIVEIRA JUNIOR *et al.*, 2015).

A vegetação da área de estudo é classificada como Floresta Ombrófila Densa, que representa maior parte da Flona. Caracteriza-se por indivíduos arbóreos de grande porte e pela

presença de lianas lenhosas, palmeiras e epífitas emergentes e cobertura arbórea uniforme (IBGE 2012).

7.2.2. Coleta e análise de dados

Os dados foram coletados através do inventário florestal contínuo de 10 parcelas permanentes (0,25 ha cada) da UPA 3, que foram medidas em 2007 (antes da exploração que ocorreu em 2008) e remedidas nos anos de 2010, 2013 e 2016, após a exploração. No inventário foram mensuradas todas as árvores com diâmetro à 1,30 m do solo (dap) ≥ 10 cm. Na UPA 3 a exploração aplicada teve uma intensidade de corte $15,68 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, que pode ser considerada uma média intensidade.

7.2.3. Prognose de distribuição diamétrica

O método de matriz de transição foi utilizado para realizar a prognose considerando uma classe de diâmetro com amplitude de 10 cm, e para períodos equivalentes, ou seja, 3 anos.

A matriz de transição é um método de simulação que considera as frequências diamétricas no ano de início da simulação (t) na forma de vetor, que multiplicado por uma matriz de probabilidades de transição entre classes diamétricas (G) permite obter as frequências diamétricas do ano final ($t + \Delta t$). O recrutamento é considerado também como um vetor (lit), que é adicionado ao produto vetor-matriz descrito. A mortalidade pode ser considerada de duas maneiras, como um vetor subtração, ou incluída na matriz na última linha ou coluna (ARCE *et al.*, 2001).

A probabilidade de transição de cada período de projeção foi obtida por meio da matriz de probabilidade “G” (PULZ *et al.*, 1999) representada abaixo:

$$G = \begin{matrix} & \begin{matrix} i_1 & i_2 & i_3 & i_4 & i_5 & \vdots & i_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \\ \vdots \\ i_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & c_5 & b_5 & a_5 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \end{bmatrix} \end{matrix}$$

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 ainda mudar duas classes (c_i); m_i = probabilidade das árvores morrerem no período estudado.

As probabilidades de transição para cada intervalo de medição foram obtidas dividindo-se o número de árvores que permaneceram na mesma classe, morreram ou mudaram de classe pelo número de árvores naquela classe no início do período de crescimento.

Para o cálculo da estrutura diamétrica da floresta no tempo futuro multiplicou-se transição (G) pelo número de árvores do período atual e somando-se ao número de árvores ingressas (BUONGIORNO e MICHIE, 1980) como mostrado pela fórmula (8):

$$Y_{t+\Delta t} = G \cdot Y_{it} + I_{it} \quad (8)$$

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 atual período; I_{it} = número de árvores ingressas.

A expressão (8) tem sua forma matricial representada a seguir:

$$\begin{bmatrix} Y_{1t+\Delta t} \\ Y_{2t+\Delta t} \\ Y_{3t+\Delta t} \\ \vdots \\ Y_{nt+\Delta t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ b_2 & a_2 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ c_3 & b_3 & a_3 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & c_4 & b_4 & a_4 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & c_5 & b_5 & a_5 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_n & b_n & a_n \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_4 & m_5 & \dots & m_n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} Y_{1t} \\ Y_{2t} \\ Y_{3t} \\ \vdots \\ Y_{nt} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} I_{1t} \\ I_{2t} \\ I_{3t} \\ \vdots \\ I_{nt} \end{bmatrix}$$

Foram construídas duas matrizes de transição (3 anos), a primeiro partindo-se do período 2007-2010, e o segundo que engloba os anos de 2010-2013. Após a obtenção das matrizes probabilísticas desses períodos foi realizada a projeção para os anos 2013 e 2016 e comparado com as suas distribuições diamétricas reais. Considerou-se esses dois cenários para avaliar se os dados que englobam a medição pré-exploração (2007) é capaz de projetar dados aderentes ou se apenas a matriz de probabilidade pós-manejo (2010-2013).

7.2.4. Avaliação estatística da prognose

Para a significância estatística entre as distribuições diamétricas projetada e observada foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) a 1% de significância. Esse teste avalia a aderência entre as distribuições e foca na maior diferença entre as distribuições (STEPKA *et al.*, 2010). A seguir é mostrada a fórmula (9) para medir as possíveis discrepâncias entre proporções observadas e projetadas:

$$D = \sup * |F_{o(x)} - F_{e(x)}| \quad (9)$$

Em que: D = ponto de maior divergência é valor D de K-S; $F_{o(x)}$ = frequência observada acumulada para cada classe; $F_{e(x)}$ = frequência estimada acumulada para cada classe; sup = maior divergência.

O menor valor de D entre as distribuições testadas indicará o melhor ajuste. A conclusão de significância do teste é dada pela formula a seguir (10):

$$D_{calc} = D/N \quad (10)$$

Em que: D = valor de maior divergência da distribuição; N =número total de árvores;
Posteriormente o D_{calc} será comparado com o D_n obtido na tabela K-S para N indivíduos a um nível de $\alpha=0,01$ de significância.

Se $D_{calc} \geq D_n$: rejeita-se H_0 (distribuições não aderentes).

Se $D_{calc} \leq D_n$: aceita-se H_0 (distribuições aderentes).

7.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As matrizes de probabilidade de transição construídas com os dados de 2007-2010 e 2010-2013 podem ser observadas nas Tabelas 8 e 9 respectivamente onde são apresentadas as transições de árvores que permaneceram ou mudaram de classe. A partir da matriz probabilística construída com base nos anos 2007-2010 foi possível observar que em 10 das 13 classes ocorreu pequeno avanço de árvores para a classe seguinte, enquanto na matriz 2010-2013 das 13 classes em 8 houve transição de árvores. Nota-se que na classe 25 cm uma pequena porcentagem das árvores dessa classe avançaram duas classes diamétricas no período de três anos (Tabela 8), comportamento semelhante na classe 35 cm (Tabela 9).

Embora observado a pequena proporção das árvores que se moveram para o estado seguinte, houve maior probabilidade das árvores permanecerem nas mesmas classes, uma vez que não apresentaram um expressivo crescimento em dap para transitar para classes seguintes, e vale destacar que isso ocorreu principalmente nas classes de maior dap. Mesma tendência observada por Cruz (2014) na Amazônia, que na construção de matriz de probabilidade com amplitude diamétrica de 5 e 10 cm observou o comportamento das árvores permanecerem em suas classes diamétricas. Essa característica também é influenciada pela amplitude temporal, já que em períodos de 2 a 3 anos as árvores têm grande probabilidade de permanecerem na mesma classe de dap em relação aos períodos de maior tempo, por exemplo 4 e 5 anos, devido o menor tempo para incremento (LANA *et al.*, 2015). Ressalta-se também que fatores como mortalidade e recrutamento atingem principalmente classes diamétricas inferiores influenciando para que haja maior probabilidade de permanência de árvores em classes superiores (EBLING *et al.*, 2012).

Nas diagonais principais das matrizes de probabilidade ocorreu o efeito de estado absorvente, isto é, há apenas a probabilidade de árvores permanecerem sempre na mesma classe de dap e não avançarem para as seguintes, com exemplo, as classes: 95, 135 e 165 cm (Tabela 8); 85, 95, 105, 135 e 145 cm (Tabela 9). Este estado também foi observado por outros autores como Austrégesilo *et al.* (2004), Cruz (2010) e Pulz *et al.* (1999). Nesse estado absorvente o processo não é alterado ao longo da projeção e isso pode ser um fator limitante para realizar a

prognose de períodos maiores (BOYCHUK *et al.*, 2009). Nota-se que esse fenômeno ocorreu principalmente em classes de maior dap, isso pode ser ocasionado pelo fato das árvores de grande porte estarem em estágio de maturação, diminuído naturalmente seu crescimento (LANA *et al.*, 2015; REIS *et al.*, 2018).

Tabela 7 - Matriz de probabilidade com dados das medições 2007 e 2010. UPA 3, Floresta

Nacional do Tapajós, Pará

Classe diamétrica (2007)													
Classe diamétrica (2010)	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	125	135	145
15	0,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0,04	0,81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0,05	0,82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0,005	0,07	0,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0,10	0,72	0	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0,13	0,73	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0,07	0,57	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0,07	0,33	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0,60	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,60	0	0
135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
165	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Morte natural	0,06	0,07	0,04	0,02	0	0,20	0,07	0,22	0,20	0	0	0	0
Morte por exploração	0,08	0,07	0,06	0,04	0,16	0	0,00	0,22	0,20	0	0,20	0	0
Toco exploração	0	0	0	0	0	0	0,29	0,22	0	0	0,20	0	0
Total geral	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Probabilidade de árvores que permaneceram na mesma classe de dap												
	Probabilidade de árvores que avançaram para classe de dap seguinte												
	Probabilidade de árvores que avançaram duas classes de dap												

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 8 - Matriz de probabilidade com dados das medições 2010 e 2013. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará

Classe diamétrica (2013)	Classe diamétrica (2010)												
	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	125	135	145
15	0,87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0,05	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0,07	0,85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0,08	0,83	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0,01	0,13	0,86	0	0	0	0	0	0	0	0
65	0	0	0	0	0,11	0,93	0	0	0	0	0	0	0
75	0	0	0	0	0	0,07	0,78	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0,11	1	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,67	0	0
135	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
145	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Morte natural	0,05	0,06	0,06	0,02	0	0	0,11					0	0
Morte por exploração	0,025	0,0155	0,06	0,0208	0,036	0	0,00	0		0		0	0
Total geral	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Probabilidade de árvores que permaneceram na mesma classe de dap												
	Probabilidade de árvores que avançaram para classe de dap seguinte												
	Probabilidade de árvores que avançaram duas classes de dap												

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Este modelo usado para a projeção mostra uma vantagem que é a obtenção da matriz tendo como base somente dados de duas medições em que foi construída pode gerar resultados satisfatórios. Mas ressalta-se que as limitações do modelo podem não ser tão precisas para períodos longos, principalmente em cenário de manejo florestal.

Os valores projetados pelas matrizes de transição para os anos de 2013 e 2016 com base nas duas matrizes probabilísticas constam nas Tabelas 10 e 11. Observa-se que os valores projetados para os anos indicados foram próximos à estrutura real da floresta. Em algumas classes de diâmetro os valores projetados foram inferiores aos observados, principalmente nas primeiras classes de dap. Em todos os cenários, nas classes de 105 a 145 as distribuições foram iguais. Segundo Stepka *et al.* (2010), que avaliando uma floresta ombrófila mista, o fato da mortalidade ocorrer principalmente nas primeiras classes de dap isso pode influenciar para que os valores projetados sejam diferentes do observado. Os autores obtiveram uma ligeira subestimativa no número total de árvores por hectare utilizando a matriz de transição, da mesma forma observado também neste trabalho como pode ser verificado nas projeções de 2013 e 2016 das matrizes 2007-2010 e 2010-2013.

Como se percebe na tabela 10 e 11 as matrizes de transição apresentaram valores projetados abaixo do observado em relação ao total de árv ha^{-1} , sendo que projeção realizado para o ano de 2013 variou 4,3% enquanto para o ano de 2016 essa variação entre os valores projetados e observados foi de 7,9% (Tabela 10). Considerando a matriz de probabilidade 2010-2013 a variação entre os reais e projetados foram de 0,6% e 0,5% respectivamente para 2013 e 2016 (Tabela 11).

Tabela 9 - Distribuição diamétrica observada e projetada pelo método matriz de transição para os anos 2013 e 2016, utilizando matriz probabilística 2007-2010. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará

Classe de DAP (cm)	árv ha^{-1} (2013)		árv ha^{-1} (2016)	
	Observado	Projetado	Observado	Projetado
15	292	292,3	299,2	295,9
25	80,8	72,2	82,0	69,5
35	35,2	32,9	39,2	30,9
45	20,4	18,9	19,6	18,6
55	12,4	10,1	12,8	9,20
65	6,8	5,8	8,0	5,5
75	4	2,5	2,8	1,8
85	3,2	0,8	4,0	0,4
95	1,6	0,7	2,0	0,4
105	1,2	1,2	1,2	1,2
125	0,8	0,7	0,8	0,4
135	0,4	0,4	0,4	0,4
145	0,4	0,4	0,4	0,4
Total	459	439	472	435

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

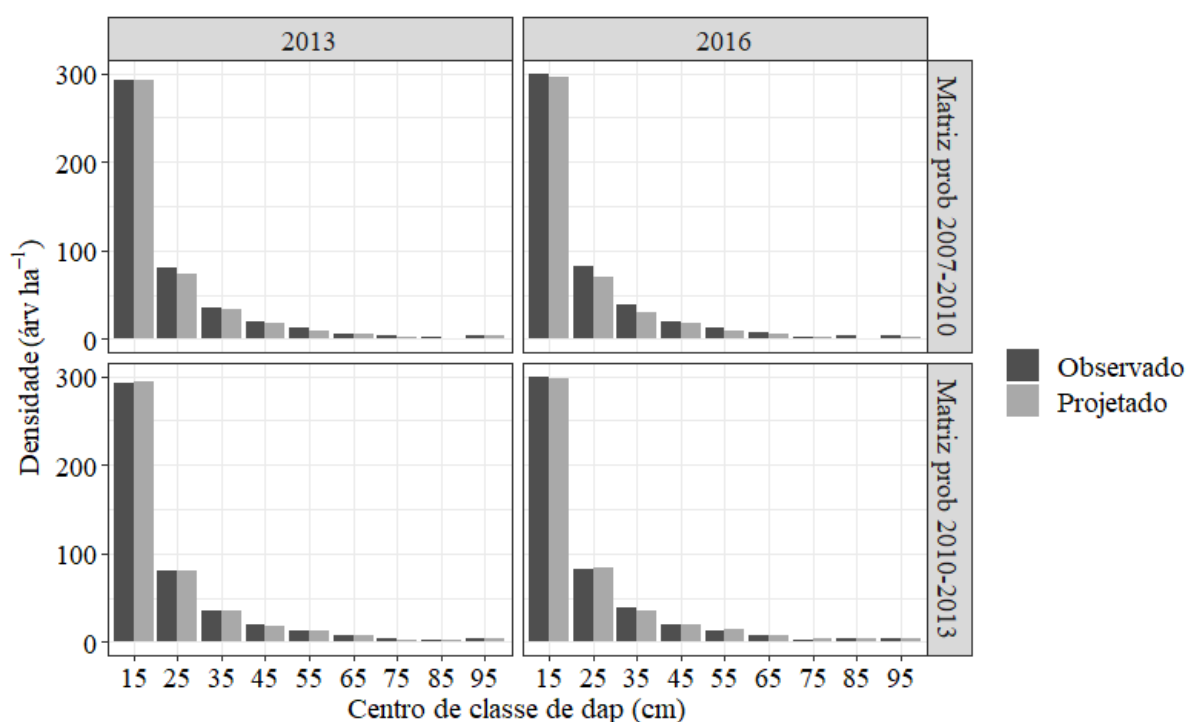
Tabela 10 - Distribuição diamétrica observada e projetada pelo método matriz de transição para os anos 2013 e 2016, utilizando matriz probabilística 2010-2013. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará

Classe de DAP (cm)	árv ha^{-1} (2013)		árv ha^{-1} (2016)	
	Observado	Projetado	Observado	Projetado
15	292	293,6	299,2	297,1
25	80,8	80,8	82,0	84,1
35	35,2	35,2	39,2	35,4
45	20,4	18,8	19,6	19,8
55	12,8	12,4	12,8	13,9
65	6,8	6,8	8,0	7,7
75	4	3,2	2,8	3,6
85	3,2	2	4,0	3,6
95	1,6	1,2	2,0	1,6
105	1,2	1,2	1,2	1,2
125	0,8	0,8	0,8	0,5
135	0,4	0,4	0,4	0,4
145	0,4	0,4	0,4	0,4
Total	459	457	472	469

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na Figura 19 o gráfico mostra distribuição real e projetada para os diferentes cenários e pode ser observado a tendência de J-invertido. Segundo Machado *et al.* (2017) isso sugere uma boa regeneração natural em fluxo contínuo, que caracteriza a perpetuidade das populações florestais conforme os avanços sucessionais. Corroborando o que foi mostrado anteriormente nas Tabelas 10 e 11, a figura apresenta que as estrutura dos dados reais e projetados pela matriz de transição foram bastante similares.

Figura 19 - Distribuição diamétrica observada e projetada pelo método matriz de transição considerando duas matrizes de probabilidade (2007-2010) e (2010-2013) para os anos de 2013 e 2016. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para avaliar a qualidade das projeções realizadas para os anos de 2013 e 2016 e afirmar o uso da matriz de transição como ferramenta para prognose da estrutura futura, foram comparadas as distribuições diamétrica observada e projetada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) ao nível de 1% de significância e os resultados são mostrados nas tabelas 12 e 13.

Considerando os dados em relação à matriz de probabilidade 2007-2010 o teste de K-S indicou apenas que a projeção diamétrica de 2013 é aderente à estrutura observada e adequada para prognose. Porém a projeção de 2016 diferenciou-se da observada obtendo um $D_{calculado}$ de 0,0797 maior que o D_n com valor de 0,0750. Isso mostra que a matriz gerada pelo ano de 2007-2010 consegue produzir resultados satisfatórios até o ano de 2013. O que demonstra uma

limitação da matriz construída em simular a floresta após a exploração de média intensidade, já que no primeiro momento há um aumento da dinâmica na primeiras classes e diminuição ao longo do tempo com o fechamento do dossel. Agrega-se isso também ao fato da matriz de probabilidade (2007-2010) abranger o período pré-exploração madeireira, podendo ter contribuído para a projeção ser aderente até 2013, pois o cenário da vegetação em termos de dinâmica florestal antes e após a exploração são diferentes.

Agora ao analisar os dados baseados na matriz de probabilidade 2010-2013, nota-se que a distribuição projetada foi aderente à observada e adequada para as prognoses, conforme indica o teste Kolmogorov-Smirnov. Porque tanto em 2013 e 2016 o $Dn_{\alpha=0,01}$ tabelado ($Dn_{2013}=0,0760$, $Dn_{2016}= 0,0750$) foi maior que o $D_{calculado}$ ($D_{calc2013}=0,0061$; $D_{calc2016}= 0,0080$). Dessa forma aceita-se a hipótese de que os valores projetados são iguais estatisticamente aos reais a 99% de probabilidade.

Tabela 11 - Teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para a diferença entre os valores observados e os estimados pela matriz de transição nos anos de 2013 e 2016, considerando a matriz probabilística 2007-2010. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará

Classe de dap	2013	2016
	MT	MT
15	-0,32	3,30
25	7,61	15,76
35	9,87	24,10
45	11,28	25,07
55	14,03	28,67
65	15,03	31,16
75	16,57	32,17
85	18,98	35,73
95	19,86	37,30
105	19,86	37,30
125	19,94	37,67
135	19,94	37,67
145	19,94	37,67
Dcalc	0,0434	0,0797
Dn ($\alpha=0,01$)	0,0760	0,0750

Dcalc= significância estatística entre as distribuições projetada e observada; Dn = valor crítico a um nível de 1% de significância. Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 12 - Teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) para a diferença entre os valores observados e os estimados pela matriz de transição nos anos de 2013 e 2016, considerando a matriz probabilística 2010-2013. UPA 3, Floresta Nacional do Tapajós, Pará

Classe de dap	2013	2016
	MT	MT
15	-1,60	2,11
25	-1,60	0,02
35	-1,60	3,78
45	0	3,58
55	0,40	2,46
65	0,40	2,74
75	1,20	1,98
85	2,40	2,33
95	2,80	2,73
105	2,80	2,73
125	2,80	3,0
135	2,80	3,0
145	2,80	3,0
Dcalc	0,0061	0,0080
Dn ($\alpha=0,01$)	0,0760	0,0750
Dn ($\alpha=0,05$)	0,063	

Dcalc= significância estatística entre as distribuições projetada e observada; Dn = valor crítico a um nível de 1% de significância. Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O teste de K-S indicou também que nas duas matrizes probabilísticas as maiores diferenças entre a estrutura diamétrica real e projetada ocorreram principalmente nas maiores classes de dap, mostrando a maior divergência.

A matriz de probabilidade de 2010-2013 gerou resultados mais precisos para os anos de 2013 e 2016. Isto é um indicativo ao manejador de que utilizar a matriz com a medição pré-exploração (2007) para projetar a estrutura futura não será tão precisa, vindo a utilizar a matriz de probabilidade 2010-2013, que é o período seguinte a exploração florestal, se quiser melhores projeções da sua área manejada nos seguintes anos. Portanto recomenda-se está última que obteve a melhor avaliação pela teste K-S, além do que as projeções foram aceitáveis até 2016, ou seja, 8 anos após a exploração, enquanto matriz de probabilidade (2007-2010) obteve uma estrutura estatisticamente igual a real até 2013 (6 anos após a exploração).

Em trabalhos correlatos na Amazônia com projeção da estrutura diamétrica também obtiveram boas precisões utilizando dados pós-manejo, como por exemplo Colpini (2008), Reis *et al.* (2018), Vasconcellos *et al.* (2009). Nos resultados desses autores as projeções da distribuição diamétrica foram aderentes para períodos curtos, em torno de 9 anos.

Apesar da praticidade do uso do modelo matricial, que não envolve variáveis de difícil obtenção em florestas nativas como índice de sítio e idade, além de projeção com apenas duas

medições sucessivas, este método possui algumas desvantagens (STEPKA *et al.*, 2010). Um deles é que estatisticamente a floresta futura pode ser não aderente para tempos muito longos, devido a matriz de transição não considerar as mudanças da mortalidade ao longo do tempo, a matriz fica limitada a pequenos períodos de projeção e Pulz *et al.* (1999) recomendam que os dados sejam projetados para períodos inferiores a 20 anos. Por isso ao realizar a prognose para períodos grandes deve-se ter cautela, principalmente para uma área onde houve exploração de impacto reduzido, já que essa atividade provoca mudanças na composição florística e na dinâmica de crescimento.

Nos capítulos anteriores ressaltou-se a possibilidade de aplicar tratamentos silviculturais para melhor produtividade da floresta. E o modelo matricial apresentado aqui pode ser uma boa ferramenta para tomada de decisão nesses tratamentos silviculturais em tempos curtos, e segundo Hanson *et al.* (2012) isso serviria de guia de apoio, por exemplo utilizar a distribuição diamétrica para reduzir a área basal por classe de diâmetro entre outras atividades.

Reis *et al.* (2018) destacaram que utilizando os dados das parcelas permanentes a cada período, o manejador pode atualizar a matriz de transição e projetar para pequeno/médio período, diminuindo dessa forma a incerteza sobre a estrutura florestal futura, e reordenar a sequência das UPAs para o segundo ciclo de corte.

7.4. CONCLUSÃO

A distribuição diamétrica projetada de todos os cenários seguiu o padrão estrutural de florestas tropicais utilizando a matriz de transição.

O Modelo que utiliza a matriz de probabilística dos anos 2010-2013 pode ser considerado o melhor para elaborar simulações da floresta após o manejo florestal. Dessa forma, é uma ferramenta útil para o planejamento da exploração de impacto reduzido da área de estudo.

A matriz de transição com dados pré corte faz-se necessário cautela no seu uso, pois sua estrutura foi aderente até 5 anos após a exploração. Enquanto a matriz pós exploração a projeção foi testada e assegurada até os 8 anos após a EIR. Portanto, pode ser usada para a prognose da estrutura diamétrica para períodos curtos após a atividade de manejo.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do manejo florestal aplicado, as três UPAs tiveram alterações na florística e na estrutura, fato que contribuiu para redução principalmente do número de espécies, das variáveis área basal, densidade e volume após a exploração. Conforme esperado essas alterações não foram significativas estatisticamente na maioria das variáveis dendrométricas. As florestas mostraram capacidade de recuperação das variáveis ao longo dos anos, isso pode ser explicada pela intensidade de corte aplicado, que nas áreas variou de 12,17 a 15,68 m³ ha⁻¹, e a utilização de técnicas que causam baixo impacto a vegetação, por exemplo, corte direcionado, infraestrutura de estradas, pátios etc. Esses resultados são indicadores de que a EIR não compromete o crescimento da floresta remanescente e que seu uso como forma de evitar danos é indispensável para a sustentabilidade do manejo florestal uma vez que os impactos afetam diretamente o desenvolvimento da vegetação.

Outro efeito da EIR foi nas taxas de ingresso e mortalidade, que aumentaram após o corte e mantiveram-se altos em média por 6 anos. Esses efeitos por classe de diâmetro ocorreram principalmente nas menores classe, mostrando que as árvores de pequeno porte são mais suscetíveis aos danos causados pela atividade de exploração.

A retirada de árvores e consequente abertura do dossel influenciou no aumento do crescimento em diâmetro, área basal e volume, mas no decorrer dos anos houve diminuição. Isso mostra que para um aumento de produtividade da floresta e manter elevada as taxas de crescimento e ingresso, é importante aplicar tratamento silvicultural nas áreas. Mesmo previsto na legislação são raras as adoções de tratamentos silviculturais em área de manejo florestal na Amazônia, sendo aplicado principalmente a nível experimental (ÁVILA *et al.*, 2017).

Os resultados da matriz de transição mostraram que ao usar dados de inventários pós-exploração a prognose da floresta tem mais acurácia, ou seja, estatisticamente igual a estrutura diamétrica real. Isso pode ser um recurso importante ao manejador visando prognosticar a distribuição diamétrica e planejar as próximas explorações e definir a ordem de manejo da UPAs para o próximo ciclo de corte. Cabe salientar que a projeção utilizando este método, de modo geral, possui aderência para períodos de curto a médio prazo, por isso é necessário atualizar a matriz de transição a cada inventário florestal.

A continuidade dos inventários é importante para gerar informações da floresta sobre o tempo necessário da recuperação total dos danos, e avaliar o crescimento das variáveis dendrométricas das árvores remanescentes principalmente das espécies comerciais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. S. de; GAMA, J. R. V.; OLIVEIRA, F. de A.; CARVALHO, J. O. P. de; GONÇALVES, D. C. M; ARAÚJO, G. C. Fitossociologia e uso múltiplo de espécies arbóreas em floresta manejada, Comunidade Santo Antônio, município de Santarém, Estado do Pará. **Acta Amazonica**, v. 42, n. 2, p. 185-194, 2012.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. V. 22, n. 6, p. 711-728. 2013.
- AMARAL, M. R.; LIMA, A. J.; HIGUCHI, F. G.; DOS SANTOS, J.; & HIGUCHI, N. Dynamics of Tropical Forest Twenty-Five Years after Experimental Logging in Central Amazon Mature Forest. **Forests**, v. 10, n. 2, p. 89, 2019.
- AMARO, M. A.; MARTINS, F. B.; FERNANDES, T. J. G. Volume, biomassa e carbono nas florestas às margens da rodovia BR 364 no Acre (AC). In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 4, 2008, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: UFSM, 2008. p. 165-171.
- ANDRADE, D. F.; GAMA, J. R. V.; MELO, L. O.; RUSCHEL, A. R. Inventário florestal de grandes áreas na Floresta Nacional do Tapajós, Pará, Amazônia, Brasil. **Biota Amazônia**, Macapá, v. 5, n. 1, p. 109-115, 2015.
- ANDRADE, D.F.C.; RUSCHEL, A.R.; SCHWARTZ, G.; CARVALHO, J.O.P.; HUMPHRIES, S.; GAMA, J. R. V. Forest resilience to fire in eastern Amazon depends on the intensity of pre-fire disturbance, **Forest Ecology and Management**, v. 472, p. 118258, 2020.
- ANDRADE, D. F. **Efeito do fogo na dinâmica da vegetação arbórea de floresta manejada e não manejada na Flona do tapajós, Pará, brasil**. 2020. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, PA, 2020.
- ARCE, J. E.; PIZATTO, W.; SANQUETTA, C. R.; WENDLING, J. L. G.; MAESTRI, R. Utilização das matrizes de transição na avaliação e simulação precoces do crescimento de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 27, n.1/2, p. 83-98, 2001.
- AUSTREGÉSILO, S. L.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. D.; SOUZA, A. D.; MEUNIER, I. M. J.; & SANTOS, E. D. S. Comparação de métodos de prognose da estrutura diamétrica de uma floresta estacional semidecidual secundária. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 227-232, 2004.
- AZEVEDO C. P. **Dinâmica de florestas submetidas a manejo na Amazônia Oriental: experimentação e simulação**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR. 2006.
- AZEVEDO, C. P. **Predição da distribuição diamétrica de povoamentos florestais inequidêncas pelo emprego de matriz de transição**. 1993. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1993.
- AZEVEDO, C.P.; SANQUETTA, C.R.; SILVA, J.N.M.; DO MACHADO, S.A. Efeitos De Diferentes Níveis De Exploração E De Tratamentos Silviculturais Sobre A Dinâmica Da Floresta Remanescente. **Floresta**, v. 38, n. 2, p. 277–293, 2008.

BEZERRA, T. G.; DE SOUSA LIMA, A. O.; DE ARAÚJO, J. T. R.; DOS SANTOS, M. G. S.; NEVES, R. L. P.; MORAES, G. C.; DE OLIVEIRA MELO, L. Estrutura e dinâmica de uma área manejada na Floresta Nacional do Tapajós. **Revista Agroecossistemas**, v. 10, n. 2, p. 94-112, 2018.

BOTEZELLI, L.; MACEDO, R.L.G.; YOSHITANI JUNIOR, M.; GOMES, J.E. Relações entre estudos da dinâmica florestal, conservação da biodiversidade e ecoturismo. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, ano III, n. 6, Ago. 2005.

BOURGOIN, C.; BLANC, L.; BAILLY, J.; CORNU, G.; BERENGUER, E.; OSZWALD, J.; TRITSCH, I.; LAURENT, F.; HASAN, A.; SIST, P.; GOND, VALÉRY. The Potential of Multisource Remote Sensing for Mapping the Biomass of a Degraded Amazonian Forest. **Forest**, v. 9, n.6, p. 303, 2018.

BOYCHUK, D. *et al.* A stochastic forest fire growth model. **Environmental and Ecological Statistics**, University Park, v. 16, n. 2, p. 133-151, 2009. 10.1007/s10651-007-0079-z

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 5, DE 11 DE DEZEMBRO DE 2006. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFSs nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 5 mar. 2006.

BRUNER, H. D.; MOSER JR, J. W. (1973). A Markov chain approach to the prediction of diameter distributions in uneven-aged forest stands. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 3, n. 3, p. 409-417, 1973. doi:10.1139/x73-059

BUCHMANN, Hugo Macedo. **Exploração florestal e seus impactos em áreas de primeiro e segundo ciclo de corte do manejo florestal na Amazônia oriental, Brasil**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.

BULFE, N. M. L.; GALVÃO, F.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MAC DONAGH, P. Efeitos da exploração convencional e de impacto reduzido em uma floresta estacional semidecidual na província de Misiones, nordeste da Argentina. **Floresta**, v. 39, n. 2, 2009.

BUONGIORNO, J.; MICHIE, B. R. A matrix model of uneven-aged forest management. **Forest science**, v. 26, n. 4, p. 609-625, 1980.

CAMPOS, João Carlos Chagas; LEITE, Hélio Garcia. **Mensuração Florestal: Perguntas e respostas**. 3. Ed. Viçosa: UFV, 2009.

CARDOSO, D.; SÄRKINEN, T.; ALEXANDER, S.; AMORIM, A.M.; Bittrich, V.; CELIS, M.; Daly, D.C.; FIASCHI, P.; FUNK, V.A.; GIACOMIN, L.L.; *et al.* Amazon Plant Diversity Revealed by A Taxonomically Verified Species List. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 40, p. 10695-10700, 2017.

CARVALHO, J. O. P. **Subsídios para o manejo de florestas naturais na Amazônia Brasileira: resultados de pesquisa da EMBRAPA/IBDF-PNPF**. Belém, EMBRAPA-CPATU, 1987. 35p. (EMBRAPA-CPATU. Documentos, 43).

CARVALHO, J. O. P.; SILVA, J. N. M.; & LOPES, J. D. C. A. Growth rate of a terra firme rain forest in Brazilian Amazonia over an eight-year period in response to logging. **Acta Amazonica**, v.34, n.2, p.209-217, 2004.

CARVALHO, J.O.P. **Structure and dynamics of a logged over Brazilian Amazonian rain forest**.1992. 215f. Thesis (Ph.D.) - University of Oxford. 1992.

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. **Ciênc. Florest.**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 161-169, Mar. 2014.

CHASSOT, T.; FLEIG, F.D.; FINGER, C.A.G.; LONGHI, S.J. Modelos de crescimento em diâmetro de árvores individuais de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Florestal**. 2011;21(2):303-13.

COLPINI, C.; SILVA, V.S.M.; SOARES, T.S.; HIGUCHI, N.; TRAVAGIN, D.P.; ASSUMPTÇÃO, J.V.L. Incremento, ingresso e mortalidade em uma floresta de contato ombrófila aberta/estacional em Marcelândia, Estado do Mato Grosso. **Acta Amazônica**, v. 40, n.3. p.549-556, 2010.

COLPINI, C. **Dinâmica e prognose da produção de uma floresta de contato ombrófila aberta/estacional semidecidual**. 2008. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Mato Grosso, MT. 2008

CONDÉ, T. M.; TONINI, H. Fitossociologia de uma Floresta Ombrófila Densa na Amazônia Setentrional, Roraima, Brasil. **Acta Amazônica**, v. 43, p. 247-259, 2013.

CORREIA, R. A.; MALHADO, A.C.; LINS, L.; GAMARRA, N.C.; BONFIM, W.A.; VALENCIA-AGUILAR, A.; ... & LADLE, R. J. The scientific value of Amazonian protected areas. **Biodiversity and conservation**, v. 25, n. 8, p. 1503-1513, 2016.

COSTA FILHO, P. P.; COSTA, H. B.; AGUIAR, O. R. **Exploração mecanizada da floresta úmida sem babaçu**. Belém, PA: EMBRAPA – CPATU, 1980. (EMBRAPA – CPATU. Circular Técnica, 9).

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

COSTA, D.H.M.; CARVALHO, J.O.P. de.; SILVA, J.N.M.; Dinâmica da composição florística após a colheita de madeira em uma área de terra firme na Floresta Nacional do Tapajós. **Revista de Ciências Agrárias**, n.38, p.67-90, 2002.

CRUZ, L. L. **Prognose da distribuição diamétrica de uma floresta tropical amazônica pós manejo florestal**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia florestal) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2014.

CUBAS, R.; WATZLAWICK, L.F.; FIGUEIREDO FILHO, A. Incremento, ingresso, mortalidade em um remanescente de floresta ombrófila mista em três barras-sc. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 3, p. 889-900, 2016.

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.

DA SILVA RIBEIRO, R.B.; GAMA, J.R.V.; MARTINS, S.V.; MORAES, A.; SANTOS, C.A.A.; & CARVALHO, A.N. Estrutura florestal em projeto de assentamento, comunidade São Mateus, município de Placas, Pará, Brasil. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 610-620, 2013.

DAVID, H. C.; CARVALHO, J. O.; PIRES, I. P.; SANTOS, L. S.; BARBOSA, E. S.; & BRAGA, N. S. 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. 117584, 2019.

DE AVILA, A. L.; SCHWARTZ, G.; RUSCHEL, A. R.; LOPES, J. C.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; & BAUHUS, J. 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.

DE AVILA, A. L.; RUSCHEL, A.R.; de CARVALHO, J.O.P.; MAZZEI, L.; SILVA, J.N.M.; LOPES, J. do C.; ... BAUHUS, J. (2015). Medium-term dynamics of tree species composition in response to silvicultural intervention intensities in a tropical rain forest. **Biological Conservation**, v. 191, p. 577-586, 2015.

DE AVILA, A.L.; ARAUJO, M. M.; GASPARIN, E.; & LONGHI, S. J. Mecanismos de regeneração natural em remanescente de Floresta Ombrófila Mista, RS, Brasil. **Cerne**, v. 19, n. 4, p. 621-628, 2013.

DE SOUZA, A. L.; GAMA, J. R. G. PROGNOSE DA PRODUÇÃO DE FLORESTAS MULTIÂNEAS. UFV. 2004.

DE SOUZA, M. A. S.; DE AZEVEDO, C. P.; DE SOUZA, C. R.; FRANÇA, M.; VASCONCELOS NETO, E. L. Dinâmica e produção de uma floresta sob regime de manejo sustentável na Amazônia central. **Floresta**, v. 47, n. 1, p.55-63, 2017.

DEMARCHI, L. O.; SCUDELLER, V. V.; MOURA, L. C.; DIAS-TERCEIRO, R. G.; LOPES, A.; WITTMANN, F. K.; & PIEDADE, M. T. F. Floristic composition, structure and soil-vegetation relations in three white-sand soil patches in central Amazonia. **Acta Amazonica**, v. 48, n. 1, p. 46-56, 2018.

DIONISIO, L. F. S.; SCHWARTZ, G.; LOPES, J. C.; & OLIVEIRA, F. A. Growth, mortality, and recruitment of tree species in an Amazonian rainforest over 13 years of reduced impact logging. *Forest Ecology and Management*, v. 430, p. 150-156, 2018.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2018.08.024>.

DIONISIO, Luiz Fernandes Silva. Efeitos a médio prazo da exploração seletiva no crescimento, mortalidade e recrutamento de *Manilkara huberi* (Ducke) A. Chev. em uma floresta amazônica. **Scientia Forestalis**, v.48, n. 125, 2020.

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.

EBLING, A. A.; WATZLAWICK, L. F.; RODRIGUES, A. L.; LONGHI, S. J.; LONGHI, R. V.; & ABRÃO, S. F. Acuracidade da distribuição diamétrica entre métodos de projeção em Floresta Ombrófila Mista. **Ciência Rural**, v. 42, n. 6, p. 1020-1026, 2012.

ESPADA, A. L. V.; PIRES, I. P.; LENTINI, M. A. W.; BITTENCOURT, P. R. G. Manejo Florestal e Exploração de Impacto Reduzido em Florestas Naturais de Produção da Amazônia. Belém: IFT, 2014.

ESPADA, ALV *et al.* Manejo florestal e exploração de impacto reduzido em florestas naturais de produção da Amazônia. **Informativo Técnico I IFT**. Belém, IFT, 2015.

ESPÍRITO-SANTO, F.D.B.; SHIMABUKURO, Y.D.; ARAGAO, L.E.O.C.; MACHADO, E. L. M. Análise da composição florística e fitossociológica da floresta nacional do Tapajós com o apoio geográfico de imagens de satélites. **Acta Amaz.**, Manaus, v. 35, n. 2, p. 155-173, 2005.

FERREIRA, C. A.; SILVA, J. N. M.; DE CARVALHO, J. O. P.; DOS SANTOS, A. F.; DE AZEVEDO, C. P.; DE LIMA, R. M. B.; NEVES, E. J. M.; SCHWENGBER, D. R.; DE ARAUJO, H. J. B. **Manejo Florestal na Amazônia Brasileira (Situação atual e perspectivas)**. Colombo: Embrapa Florestas. Documentos, n. 37, 1999, 20 p.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. (2018). ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portuguese). R package version 1.2.0. <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>

FIGUEIREDO FILHO, A.; DIAS, A. N.; STEPKA, T. F.; SAWCZUK, A. R. Crescimento, mortalidade, ingresso e distribuição diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta**, v. 40, n. 4, 2010.

FIGUEIREDO, E. O.; BRAZ, E. M.; D'OLIVEIRA, M. V. N. **Manejo de precisão em florestas tropicais: modelo digital de exploração florestal**. Embrapa Acre, 2008.

FLORIANO, E. P. **Fitossociologia Florestal**, 1.ed. São Gabriel: Unipampa, 2014. 136 p.
Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2011. State of the World's Forests. FAO, Rome.

FREITAS, W. K. de.; MAGALHÃES, L. M. S. Métodos e parâmetros para estudo da vegetação com ênfase no estrato arbóreo. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 520–540, 2012.
FURTADO, C. S. **Dinâmica de uma floresta sob regime de manejo Sustentável em escala empresarial na Amazônia ocidental**. Tese de Doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA/UFAM), Manaus, Amazonas, 2009.

GAMA, J. R. V.; LIMA, C. A. T.; GUERRA, F. G. P. Q.; NAGAISHI, T.Y.R. **Definição de preço de madeira em pé para contrato de transição**. Belém: IDEFLOR, 2007. 21p.

GARCIA, F. M.; MANFIO, D. R.; SANSIGOLO, C. A.; MAGALHAES, P. A. D. Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Couratari guianensis*) segundo a classificação da qualidade da tora. **Floresta Ambient.**, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 468-474, 2012.

GERWING, J. J.; JOHNS, J. S.; & VIDAL, E. Reducing waste during logging and log processing: forest conservation in eastern Amazonia. **Unasyuva**, 1996.

GOMES, J. M.; CARVALHO, J. O. P.; SILVA, M. G.; NOBRE, D. N. V.; TAFFAREL, M.; FERREIRA, J. E. R.; SANTOS, R. N. J. Sobrevivência de espécies arbóreas plantadas em clareiras causadas pela colheita de madeira em uma floresta de terra firme no município de Paragominas na Amazônia brasileira. *Acta Amazonica*, v.40, p.171-178, 2010.

GONÇALVES, F. G.; SANTOS, J. R. Composição florística e estrutura de uma unidade de manejo florestal sustentável na Floresta Nacional do Tapajós, Pará. **Acta Amazônica**, v. 38, n. 2, p. 229-244, 2008.

GOURLET-FLEURY, S.; GUEHL, J. M.; LARO USSINIE, O.; GOURLET-FLEURY, S.; FAVRICHON, V.; SCHMITT, L.; PETRONELLI, P. 2004. **Consequences of silvicultural treatments on stand dynamics at Paracou**. In: Ecology and management of a neotropical rainforest: lessons drawn from Paracou, a long-term experimental research site in French Guiana Gourlet-Fleury Sylvie (ed.), Guehl Jean-Marc (ed.), Laroussinie Olivier (ed.). ECOFOR. Paris: Elsevier, pp. 254-280.

GOUVEIA, D. M. **Dinâmica e estrutura de espécies arbóreas após a exploração madeireira na Floresta Nacional do Tapajós**. 2015. Dissertação (Mestrado) INPA, Manaus, AM. 2015.

GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M.; FOX, G. A. **Ecologia vegetal**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed. 2009. 592p.

HANSON, J. J. LORIMER, C G.; HALPIN, C. R.; PALIK, B. J. Ecological forestry in an uneven-aged, late-successional forest: simulated effects of contrasting treatments on structure and yield. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 270, p. 94-107, 2012. 10.1016/j.foreco.2012.01.017

HIGUCHI, N. **Short-term growth of an undisturbed tropical moist forest in the Brazilian Amazon**. 1987. 129p. Tese (Doutorado) - Michigan State University, Michigan, EUA.

HIGUCHI, N.; CHAMBERS, J.; DOS SANTOS, J.; RIBEIRO, R. J.; PINTO, A. C. M.; DA SILVA, R. P.; TRIBUZY, E. S. Dinâmica E Balanço Do Carbono Da Vegetação Primária Da Amazônia Central. **Floresta**, v. 34, n. 3, p.295-304, 2004.

HIGUCHI, N.; FERRAZ, J.B.S.; ANTONY, L.; LUIZÃO, F.; LUIZÃO, R.; BIOT, Y.; HUNTER, I.; PROCTOR, J.; ROSS, S. Biomassa E Nutrients Florestais: Projeto Bionte Relatório Final; **Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia: Manaus, Brasil**, 1997.

HIRAI, E. H.; CARVALHO, J. O. P. de; PINHEIRO, K. A. O. Comportamento populacional de cupiúba (*Goupia glabra* Aublet) em floresta de terra firme na fazenda Rio Capim, Paragominas, PA. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 47, p. 89 - 102, 2007.

HIRAI, E. H.; de CARVALHO, C. J. R.; SILVA, J. N. M.; DE CARVALHO, J. O. P.; & DE QUEIROZ, W. T. Efeito da exploração florestal de impacto reduzido sobre a regeneração natural em uma floresta densa de terra firme no município de Paragominas na Amazônia brasileira. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 306-315, set. 2012.

HOLMES, T. P.; BLATE, G. M.; ZWEEDE, J. C.; JUNIOR, R. P.; BARRETO, P.; BOLTZ, F. **Custos e benefícios financeiros da exploração florestal de impacto reduzido em comparação à exploração florestal convencional na Amazônia Oriental**. FFT, Belém – PA. 2004.

HUSCH B.; MILLER C. I.; BEERS T.W. **Forest mensuration**. 2. ed. New York: The Ronald Press Com.; 1972.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. IBGE, 2 ed. ver. amp. Rio de Janeiro – RJ, 2012.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) –**Floresta Nacional do Tapajós** – 2018. Acesso em: < <http://www.icmbio.gov.br/Flonatapajos/>>. Acesso: 28 julho 2019.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE ICMBio. **Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade – SISBIO: 100 Estatísticas**. 2016. Disponível em <http://www.icmbio.gov.br/sisbio/estatisticas.html> (Acesso em 28/07/2019).

INSTITUTO FLORESTA TROPICAL, IFT. As Concessões de Florestas Públicas na Amazônia Brasileira A lei de gestão de florestas públicas e o panorama das concessões florestais na Amazônia brasileira. Informativo Técnico 2. 2014.

JARDIM, F.C. Natural regeneration in tropical forests. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 58, n. 1, p. 105-113, 2015 105.

JARDIM, F.C.S.; QUADROS, L.C.L. Estrutura de uma floresta tropical dez anos após exploração de madeira em Moju, Pará. **Revista Ceres**, v. 63, n.4, p.427-435, 2016.
JOHNS, J.S.; BARRETO, P.; U.H.L.; **Os danos da exploração de madeira com e sem planejamento na Amazônia Oriental**. Belém: IMAZON, 1998. 48p. (Série Amazônia)

KNIGHT D.H. A phytosociological analysis of species-rich tropical forest on Barro Colorado Island, Panamá. **Ecological Monographs**, v. 45, n. 3, p. 259-284, 1975.

LANA, M. D.; PÉLLICO NETTO, S.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. Prognose da estrutura diamétrica em Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 1, p. 71-78, 2015.

LESLIE, P. H. On the of matrices in certain mathematics. **Biometrika**. V. 33, n. 3, p. 183-212, 1945.

- LIMA FILHO, D. DE A.; REVILLA, J.; AMARAL, I. L.; MATOS, F. D. A.; COELHO, L. S.; RAMOS, J. F.; SILVA, G. B.; GUEDES, J. O. Aspectos florísticos de 13 hectares da área de Cachoeira Porteira-PA. **Acta Amazônica**. v. 34, n.3, p.415-423, 2004.
- LIMA, B. A.; DE ALMEIDA, B. R. S.; DE SOUSA, E. A. B.; DA SILVA CRUZ, G.; MELO, M. B.; DE OLIVEIRA MELO, L.; DOS SANTOS, M. F. Estrutura e dinâmica florestal sob efeito do manejo madeireiro na Flona Tapajós. **Adv. For. Sci.**, Cuiabá, v.5, n.4, p.437-443, 2018.
- MACHADO, S.; CYSNEIROS, V.; NASCIMENTO, R. G.; MARTINS, A.; & SCHMIDT, L. Projeção da Estrutura Diamétrica de Grupos Ecológicos em uma Floresta Ombrófila Mista. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 0-0, 2017.
- MAGURRAN, A.E (1988) Ecological diversity and its measurement. New Jersey: Princeton University Press. 179p.
- MALHI, Y.; WRIGHT, J. Spatial Patterns and Recent Trends in The Climate of Tropical Rainforest Regions. **Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.** 2004, 359, 311–329.
- MAZZEI, L.; RUSCHEL, A. **Estoque comercial para o segundo ciclo de corte na Floresta Nacional do Tapajós - Área Experimental km 67 - Embrapa**. Seminário de Pesquisa Científica da Floresta Nacional do Tapajós. Anais do II Seminário de Pesquisa Científica da Floresta Nacional do Tapajós. Santarém-PA: Floresta Nacional do Tapajós/ICMBio, 2014. 304 p.
- MELLO, A. A. de. **Estudo silvicultural e da viabilidade econômica do manejo da vegetação do cerrado**. 1999. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Lavras/UFLA, Lavras, MG, 1999.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Projeto Piloto de Manejo Florestal Madeireiro Comunitário na Flonada Tapajós: Projeto Ambé – manejando a floresta e colhendo CONHECIMENTOS**. BRASÍLIA, 2008. 85 P.
- MORAES, G. C.; SCHORR, L.P.B.; MELO, L.O.M.; AGUIAR, J.T.; CUCHI, T.; SILVEIRA, A.C.; RODRIGUES, B.L.; BEZERRA, T.G.; NASCIMENTO, E.M.; VENDRUSCOLO, E.; PEREIRA, H.M.L. Increment, Ingrowth And Mortality In The Amazon Rainforest. **Australian journal of basic and applied sciences**, v. 11, n. 12, p. 25-31, 2017.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. 1974. **Aims and Methods of Vegetation Ecology**. New York: Wiley and Sons, 547 p.
- NASCIMENTO, R. G. M.; DO AMARAL MACHADO, S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; & HIGUCHI, N. A growth and yield projection system for a tropical rainforest in the Central Amazon, Brazil. **Forest ecology and management**, v. 327, p. 201-208, 2014.
- NEPSTAD, D.; IRAWAN, S.; BEZERA, T.; BOYD, W.; STICKLER, C.; SHIMADA, J.; AZEVEDO, A. More food, more forests, fewer emissions, better livelihoods: linking REDD+,

sustainable supply chains and domestic policy in Brazil, Indonesia and Colombia. **Carbon Management**, v. 4, n. 6, p. 639-658, 2013.

NOGUEIRA, D.S.; CALVÃO, L.B.; DE ASSIS MONTAG, L.F. *et al.* Little effects of reduced-impact logging on insect communities in eastern Amazonia. **Environmental monitoring and assessment**, v. 188, n. 7, p. 441, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5431-z>

OLIVEIRA JUNIOR, R. C.; KELLER, M.M.; RAMOS, J. F. da F.; BELDINI, T. P.; CRILL, P. M.; De CAMARGO, P. B.; VAN HAREN, J. Chemical analysis of rainfall and throughfall in the Tapajos National Forest, Belterra, Pará, Brazil. **An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 10, n. 2, p. 263-285, 2015.

OLIVEIRA, E. K. B.; VALÉRIA REZENDE, A.; MAZZEI DE FREITAS, L. J.; MURTA JÚNIOR, L. S.; SOUZA BARROS, Q.; SOARES DA COSTA, L. Monitoramento da estrutura e caracterização ecológica em floresta tropical manejada na Amazônia Brasileira. **Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 4, 2019.

OLIVEIRA, L. C. **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**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências florestais) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, Piracicaba, São Paulo, 2005.

OLIVEIRA, L. C. L. Q.; DA SILVA JARDIM, F. C.; GOMES, J. M. Predição do ciclo de corte de espécies arbóreas comerciais por grupos ecológicos em uma floresta na Amazônia brasileira. **Revista brasileira de biometria**, v. 38, n. 1, p. 18-34, 2020.

OLIVEIRA, L.C.; DO COUTO, H. T. Z.; SILVA, J. N. M.; & DE CARVALHO, J. O. P.. Efeito da exploração de madeira e tratamentos silviculturais na composição florística e diversidade de espécies em uma área de 136 ha na Floresta Nacional do Tapajós, Belterra, Pará. **Scientia Forestalis**, v. 69, p. 62-76, 2005.

OTANI, T.; LIMA, A.J.N.; SUWA, R.; AMARAL, M.R.M.; OHASHI, S.; PINTO, A.C.M.; DOS SANTOS, J.; KAJIMOTO, T.; HIGUCHI, N.; ISHIZUKA, M. Recovery of above-ground tree biomass after moderate selective logging in a central Amazonian forest. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, v. 11, n. 3, p. 352-359, 2018.

PEÑA-CLAROS, M.; FREDERICKSEN, T.S.; ALARCÓN, A.; BLATE, G.M.; CHOQUE, U.; LEAÑO, C.; LICONA, J.C.; MOSTACEDO, B.; PARIONA, W.; VILLEGAS, Z.; PUTZ, F.E. Beyond reduced-impact logging: Silvicultural treatments to increase growth rates of tropical trees. **For. Ecol. Manage.** 256, 1458–1467. 2008.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARAES, J.; VERISSIMO, A. 2010. *Fatos florestais da Amazônia*. 1st ed. Imazon, Belém, 124p.

PEREIRA, L. D. P.; SOBRINHO, M. V.; FLORES, M. D. S. A. A política de concessão em florestas públicas no estado do Pará: o caso da unidade de manejo florestal (umf) iii da gleba estadual mamuru arapiuns. **Revista Agroecossistemas**, v. 11, n. 1, p. 43-74, 2019.

PEREIRA-SILVA, E. F. L. **Alterações temporais na distribuição dos diâmetros de espécies arbóreas**. Campinas: UNICAMP, 2004.

PHILLIPS, O. L.; HALL, P.; GENTRY, A. H.; SAWYER, S. A.; & VASQUEZ, R. Dynamics and species richness of tropical rain forests. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 91, n. 7, p. 2805-2809, 1994.

PIELOU, E.C (1975) *Ecological diversity*. New York: John Wiley & Sons. 165p.

PINHEIRO, J. C. **Fitossociologia e expectativa de renda com produto florestal em projeto de assentamento na região do baixo tapajós, estado do Pará**. 2011, Dissertação (Mestrado) - Universidade Rural da Amazônia UFRA, Belém, PA, 2011.

PROCÓPIO, L. C.; SECCO, R. S. A importância da identificação botânica nos inventários florestais: o exemplo do “tauari” (*Couratari spp.* e *Cariniana spp.* - Lecythidaceae) em duas áreas manejadas no Estado do Pará. **Acta Amazônica**. v. 38, n.1, p.31-44, 2008.

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.

PUTZ, F. E.; SIST, P.; Reduced-impact logging: challenges and opportunities. **Forest ecology and management**, v. 256, n. 7, p. 1427-1433, 2008.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. 2019. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

RAMÍREZ MÉNDEZ, Carolina. Influência do El Niño 2015-2016 no incremento diamétrico das árvores da Amazônia Central. 2018.

RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. **Journal of statistical modeling and analytics**, v. 2, n. 1, p. 21-33, 2011.

REES, M.; CONDIT, R.; CRAWLEY, M.; PACALA, S.; & TILMAN, D. Long-Term Studies of Vegetation Dynamics. *Science*, v. 293, n. 5530, p. 650-655, 2001.

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

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

REIS, L. P.; DE SOUZA, A. L.; DOS REIS, P. C. M.; MAZZEI, L.; BINOTI, D. H. B.; LEITE, H. G. Prognose da distribuição diamétrica na Amazônia utilizando redes neurais artificiais e autômatos celulares. **Floresta**, v. 48, n. 1, p. 93-102, 2018.

REIS, L. P.; SILVA, J. N. M.; DOS REIS, P. C. M.; DE CARVALHO, J. O. P.; DE QUEIROZ, W. T.; & RUSCHEL, A. R. Efeito da exploração de impacto reduzido em algumas espécies de Sapotaceae no leste da Amazônia. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 395-406, 2013.

REIS, L. P.; TORRES, C. M. M. E.; SOUZA, A. L. D.; FREITAS, L. J. M. D.; REIS, P. C. M. D. R.; SILVA, L. F. D.; & LEITE, R. V. Prognose da distribuição diamétrica por matriz de transição em floresta após colheita no leste da Amazônia. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 715-724, 2018.

RIBEIRO, R. B. D. S.; GAMA, J. R. V.; MARTINS, S. V.; MORAES, A.; SANTOS, C. A. A. D.; & CARVALHO, A. N. D. Estrutura florestal em projeto de assentamento, comunidade São Mateus, município de Placas, Pará, Brasil. **Revista Ceres**, v. 60, n. 5, p. 610-620, 2013.

RIBEIRO, R. B. S. **Quantificação e valoração de resíduos da colheita florestal na Floresta Nacional do Tapajós, Pará**. 2013. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa. 2013.

ROSSI, L. M. B.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. Modelagem de mortalidade em florestas naturais. **Floresta**, v. 37, n. 2, 2007.

RUTISHAUSER, E.; HÉRAULT, B.; PETRONELLI, P.; & SIST, P. Tree height reduction after selective logging in a tropical forest. **Biotropica**, v. 48, n. 3, p. 285-289, 2016.

SABOGAL, C.; ALMEIDA, E.; MARMILLOD, D.; CARVALHO, J. O. P. **Silvicultura na Amazônia brasileira: avaliação de experiências e recomendações para implementação e melhoria dos sistemas**. 1. ed. Belém: Embrapa - CIFOR, 2006. 190 p.

SABOGAL, C.; LENTINI, M.; POKORNY, B.; SILVA, J.N.M.; ZWEEDE, J.; VERISSIMO, A.; BOSCOLO, M. **Manejo florestal empresarial na Amazônia brasileira: restrições e oportunidades para a adoção de boas práticas de manejo**. Belém, PA. CIFOR. 2005, 99 p.

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

SANQUETTA, C. R.; BRENA, D. A.; ANGELO, H.; MENDES, J. B. Matriz de transição para simulação da dinâmica de florestas naturais sob diferentes intensidades de corte. **Ciência Florestal**, v.6, n.1, 65-78. 1996.

SANQUETTA, Carlos. Roberto. **Fundamentos biométricos dos modelos de simulação florestal**. FUPEF. Curitiba. 1996.

SANTOS, J. M. F. dos.; ANDRADE, J. R. de; LIMA, E. N. de.; SILVA, K. A.; ARAÚJO, E. de L. Dinâmica populacional de uma espécie herbácea em uma área de floresta tropical seca no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5, supl. 1, p. 855-857, 2007.

SANTOS, M. F. D.; GAMA, J. R. V.; FIGUEIREDO FILHO, A.; COSTA, D. L. D.; RETSLAFF, F. A. D. S.; SILVA-RIBEIRO, R. B. D.; & RODE, R. Conicity and yield for lumber from commercial species from the Amazon. **Cerne**, v. 25, n. 4, p. 439-450, 2019.

SCHIMIDT, R.C. Tropical rain forest management: a status report. **Unasyuva**. v.39, n.2, p.2-17, 1987.

SCHNEIDER, P.R; FINGER, C.A.G. **Manejo sustentado de florestas inequidneas heterogêneas**. Santa Maria: UFSM, 2000. 195p.

SCHWARTZ, G.; PEREIRA, P. C.; SIVIERO, M. A.; PEREIRA, J. F.; RUSCHEL, A. R.; & YARED, J. A. Enrichment planting in logging gaps with *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby: a financially profitable alternative for degraded tropical forests in the Amazon. *Forest Ecology and Management*, 274, 116-125. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2012.02.028>.

SCHWARTZ, G.; PEÑA-CLAROS, M.; LOPES, J.C.A.; MOHREN, G.M.J.; KANASHIRO, M. Midterm effects of reduced-impact logging on the regeneration of seven tree commercial species in the Eastern Amazon. **For. Ecol. Manage.** 274, 116–125. 2012.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A.; MELLO, J. M. de. **Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural**. In: Manejo Florestal (J.R.S. SCOLFORO, org). UFLA/FAEPE, 1998, Lavras, p. 189-246.

SCOLFORO, J.R.; PULZ, F.A.; MELLO, J.M.; OLIVEIRA FILHO, A.T. Modelo de produção para floresta nativa como base para o manejo sustentado. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p.112-137, 1996.

SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE (SEMAS-PARÁ). **Instrução Normativa No: 7/2006**. Diz respeito ao Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS). Diário Oficial do Estado do Pará, Belém, PA. 27 set. 2006.

SEITZ, R. A. A análise do povoamento: o primeiro passo. **Floresta**, v.18, n.1/2, p.4-11, jun./dez. 1988.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO - SFB. **Manejo Florestal na Amazônia Brasileira**. 2010. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/documentos/acesso-informacao/institucional/area-de-imprensa/eventos/simposio-de-manejo-florestal-na-amazonia-brasileira/1389-manejo-florestal-na-amazonia-brasileira/file> (Acesso em 29/03/2020).

SHEIL, D.; BURSLEM, D. F. R. P.; ALDER, D. The interpretation and misinterpretation of mortality rate measures. **Journal of Ecology**, v. 83, p.331-333, 1995.

SHENKIN, A.; BOLKER, B.; PEÑA-CLAROS, M.; LICONA, J.C.; PUTZ, F.E. Fates of Trees Damaged by Logging in Amazonian Bolivia. *For. Ecol. Manag.* **2015**, 357, 50–59.

SILVA, E.J.V. **Dinâmicas de florestas manejadas e sob exploração convencional na Amazônia oriental**. 2004. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

SILVA, J. N. M. **The behaviour of the tropical forest of the Brazilian Amazonian after logging**. 1989. 302 p. Thesis - University of Oxford, Inglaterra, 1989.

SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J. do C. A. Inventário florestal de uma área experimental na Floresta Nacional de Tapajós. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 10-11, p. 38-110, jun./dez.1985.

SILVA, J. N. M.; DE CARVALHO, J. O. P.; LOPES, J.; DE ALMEIDA, B. F.; COSTA, D. H. M.; & DE OLIVEIRA, L. C. Growth and yield of a tropical rain forest of the Brazilian Amazon 13 years after logging. **Forest ecology and management**. V.71, p. 267-274, 1995.

SILVA, J.N.M.; LOPES, J.C.A.; OLIVEIRA, L.C.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P. de; LOPES, J. do C. A.; ALMEIDA, B. F. de; COSTA, D. H. M.; OLIVEIRA, L. C. de; VANCLAY, J. K.; SKOVSGAARD, J. P. 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.

SILVA, K. E. da; SOUZA, C. R. de; AZEVEDO, C. P. de; ROSSI, L. M. B. Dinâmica florestal, estoque de carbono e fitossociologia de uma floresta densa de terra-firme na Amazônia Central. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 193-201, 2015.

SILVA, K.E.; MARTINS, S.V; RIBEIRO, C.A.S.; SANTOS, N.T.; AZEVEDO, C.P., MATOS, F.D.A. & AMARAL IL (2011) Floristic composition and similarity of 15 hectares in Central Amazon, Brazil. *Revista de Biología Tropical*, 59:1927-1938.

SILVA, R. P.; SANTOS, J.; TRIBUZY, E. S.; CHAMBERS, J. Q.; NAKAMURA, S.; HIGUCHI, N. Diameter increment and growth patterns for individual tree growing in Central Amazon, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v.166, p.295-301, 2002.

SILVA, S.M.A.; CARVALHO, J.O.P.; COSTA, D.H.M.; MELO, M.S.; TAVARES, M.J.M. **Diretrizes para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia Brasileira**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental. 2005.

SILVA, W. F. M. Florística, dinâmica e estrutura da regeneração natural em floresta explorada na flona do Tapajós-Pa. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) – INPA, Manaus, AM, 2015.

SIST, P.; NGUYEN-THÉ. Logging damage and the subsequent dynamics of a dipterocarp forest in Kalimantan. **Forest ecology and management**. v.165, p. 85-103, 2002.

SIST, P.; FERREIRA, F. N. **Sustentabilidade da exploração de impacto reduzido na Amazônia Oriental**. Canal Ciência, 2011. Disponível em <<http://www.canalciencia.ibict.br/pesquisa/0246-Sustentabilidade-exploracao-madeira-impacto-reduzido-na-Amazonia.html>>. Acesso em Abril de 2020.

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

SOUZA, C. R.; AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. M. B.; SANTOS, J.; HIGUCHI, N. Projection of diametric distribution and carbon stock of a managed forest in Manaus/AM. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 3, p. 525-534, 2014.

SOUZA, C. R.; DE AZEVEDO, C. P.; ROSSI, L. M. B.; DOS SANTOS, J.; & HIGUCHI, N. PROJECTION OF DIAMETRIC DISTRIBUTION AND CARBON STOCK OF A MANAGED FOREST IN MANAUS/AM. **FLORESTA**, [S.l.], v. 44, n. 3, p. 525-534, jan. 2014. ISSN 1982-4688. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/32854>>. Acesso em: 19 dec. 2020. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v44i3.32854>.

SOUZA, D. R.; SOUZA, A. L.; LEITE, H. G.; YARED, J. A. G. Análise estrutural em floresta ombrófila densa de terra firme não explorada, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, v.30, n.1, p.75-87. 2006.

SOUZA, D. R.; SOUZA, A. L.; SILVA, M. L.; RODRIGUES, F. L. Ciclo de Corte econômico ótimo em floresta ombrófila densa de terra firme sob manejo florestal sustentável, Amazônia Oriental. **Revista Árvore**, v.28, n.5, p. 681-689, 2004.

SOUZA, D. V.; CARVALHO, J. O. P. D.; MENDES, F. D. S.; MELO, L. D. O.; SILVA, J. N. M.; JARDIM, F. C. D. S. Crescimento De Espécies Arbóreas Em Uma Floresta Natural De Terra Firme Após A Colheita De Madeira E Tratamentos Silviculturais, No Município De Paragominas, Pará, BRASIL. **Ciênc. Florest.**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 873-883, Dec. 2015.

SOUZA, L. A. G. 2012. **Guia da biodiversidade de Fabaceae do Alto Rio Negro**- Manaus: [s.n.], 118p.: il. color. Elaboração Projeto Fronteiras: Alto Rio Negro; apoio FINEP, Financiadora de Estudos e Projetos. ISBN: 1. Fabaceae Alto Rio Negro (Região, AM). I. Título. CDD 19. ed. 583.322.

SOUZA, M. A. S.; DE AZEVEDO, C. P.; DE SOUZA, C. R.; FRANÇA, M.; & VASCONCELOS NETO, E. L. Dinâmica e produção de uma floresta sob regime de manejo sustentável na Amazônia central. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 47, n. 1, p. 55 - 63, jan. / mar. 2017.

STEPKA, T.; DIAS, A.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S.; & SAWCZUK, A. 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, 2010.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA - SUDAM. **Estudos básicos para uma política de desenvolvimento dos recursos florestais na Amazônia**. Belém: SUDAM, 1974a. 86 p.

SWAINE, M.D.; LIEBERMAN, D.; PUTZ, F.E. the Dynamics of Tree Populations in Tropical Forest: A Review. *J. Trop. Ecol.* **1987**, 3, 359–366.

TAFFAREL, M.; CARVALHO, J. O. P. D.; MELO, L. D. O.; SILVA, M. G. D.; GOMES, J. M.; & FERREIRA, J. E. R. Efeito da silvicultura pós-colheita na população de *Lecythis lurida* (Miers) Mori em uma floresta de terra firme na Amazônia Brasileira. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 4, p. 889-898, 2014.

TEIXEIRA, L. M.; CHAMBERS, J. Q.; SILVA, A. R.; LIMA, A. J. N.; CARNEIRO, V. M. C.; SANTOS, J. D.; & HIGUCHI, N. 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.

TERESCZCZUCH, S.M.; MAC DONAGH, P.M.; OLIVEIRA, A.J. de.; RIVERO, L.E.; BULFE, N.M.L. Predicción de la estructura diamétrica de espécies comerciales de um bosque subtropical por meio de matrizes de transición. **Floresta**, Curitiba, v.37, n.1, p. 71-80. 2007.

TOLEDO, J. J.; MAGNUSSON, W. E.; CASTILHO, C. V.; NASCIMENTO, H. E. M. **How much variation in tree mortality is predicted by soil and topography in Central Amazonia?** *Forest Ecology and Management*, 262: 331-338. 2011.

UHL, C.; VIEIRA, C.G. Ecological Impacts of Selective Logging in the Brazilian Amazon: A Case Study from the Paragominas Region of the State of Para. **Biotropica**, v. 21, n. 2, p. 98-106, 1989.

USHER, M. B. A matrix approach to the management of renewable resources, with special reference to selection forest. **Journal of Applied Ecology**, v. 3, n. 2, p.355-367, 1966.

VANCLAY, J. K. Modelling forest growth and yield – applications to mixed tropical forests. Wallingford: CAB International. 1994. 312p.

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.

VATRAZ, S.; DE CARVALHO, J. O. P.; SILVA, J. N. M.; & DA CUNHA CASTRO, T. Efeito da exploração de impacto reduzido na dinâmica do crescimento de uma floresta natural. **Scientia Forestalis, Piracicaba**,tv. 44, n. 109, p. 261-271, 2016.

VIDAL, E.; JOHNS, J.; GERWING, J. J.; BARRETO, P.; & Uhl, C. Vine management for reduced-impact logging in eastern Amazonia. **Forest ecology and management**, v. 98, n. 2, p. 105-114, 1997.

VIEIRA, D. S.; GAMA, J. R. V.; RIBEIRO, R. B. S.; XIMENES, L. C.; CORRÊA, V. V.; ALVES, A. F. Comparação estrutural entre floresta manejada e não manejada na Comunidade Santo Antônio, Estado do Pará. **Ciência Florestal**, v.24, n.4, p. 1067-1074. 2014.

VILLANOVA, P. H.; TORRES, C. M. M. E.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; SILVA, L. F. D.; SCHETTINI, B. L. S.; & ROCHA, S. J. S. S. D. Prognosis of the diameter distribution and carbon stock in a secondary atlantic forest by markov chain. **Revista Árvore**, v. 42, n. 2, 2018.

VILLEGAS, Z.; PEÑA-CLAROS, M.; MOSTACEDO, B.; ALARCÓN, A.; LEAÑO, C.; PARIONA, W.; CHOQUE, U. 2009. Silvicultural treatments enhance growth rates of future crop trees in a tropical dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 6, p. 971-977, 2009.

WHITMORE, T.C. Canopy Gaps and the Two Major Groups of Forest Trees. *Ecology* **1989**, 70, 536–538.

XAUD, H. A. M.; MARTINS, F. D. S. R. V.; DOS SANTOS, J. R. Tropical forest degradation by mega-fires in the northern Brazilian Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 294, p. 97-106, 2013.

ZHANG, J.; HUANG, S.; HE, F. Half-century evidence from western Canada shows forest dynamics are primarily driven by competition followed by climate. **PNAS**, v. 112, n. 13, p. 4009-4014, 2015.

ANEXOS

Anexo A - Tabela de Análise de Variância (ANOVA) para Shannon-Wiener (H'), de 3 Unidades de Produção Anual (UPA), na Floresta Nacional do Tapajós, Pará

	Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
UPA 2	Tratamento	3	0,05496	0,018320	0,80903	0,50371 ^{ns}
	Resíduo	20	0,45288	0,022644		
	Total	23	0,50784			
UPA 3	Tratamento	3	0,25221	0,084069	1,9489	0,13917 ^{ns}
	Resíduo	36	1,55294	0,043137		
	Total	39	1,80515			
UPA 5	Tratamento	3	0,19134	0,063779	7,7318	0,00041171*
	Resíduo	36	0,29696	0,008249		
	Total	39	0,48830			

GL: grau de liberdade; SQ: Soma dos Quadrados; QM: Quadrado Médio; *: significativo ao nível de 5%; ns: não significativo ao nível 5%.

Anexo B - Tabela de Análise de Variância (ANOVA), para Equabilidade de Pielou (J) de 3 Unidades de Produção Anual (UPA), na Floresta Nacional do Tapajós, Pará

	Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
UPA 2	Tratamento	3	0,0020711	0,00069038	1,3176	0,29644 ^{ns}
	Resíduo	20	0,0104790	0,00052395		
	Total	23	0,0125501			
UPA 3	Tratamento	3	0,002125	0,0007083	0,5074	0,67966 ^{ns}
	Resíduo	36	0,050254	0,0013959		
	Total	39	0,052379			
UPA 5	Tratamento	3	0,0000988	3,2924e-05	0,1159	0,95021 ^{ns}
	Resíduo	36	0,0102266	2,8407e-04		
	Total	39	0,0103254			

GL: grau de liberdade; SQ: Soma dos Quadrados; QM: Quadrado Médio; %; ns: não significativo ao nível 5%.

Anexo C - Tabela de Análise de Variância (ANOVA) para Densidade (árvores ha⁻¹), de 3 Unidades de Produção Anual (UPA), na Floresta Nacional do Tapajós, Pará

	Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
UPA 2	Tratamento	3	187,11	62,37	3,16	0,047172*
	Resíduo	20	394,68	19,73		
	Total	23	581,78			
UPA 3	Tratamento	3	23,84	7,947	0,21473	0,88553 ^{ns}
	Resíduo	36	1332,26	37,007		
	Total	39	1356,10			
UPA 5	Tratamento	3	142,38	47,459	10,846	3,2067e-05*
	Resíduo	36	157,53	4,376		
	Total	39	299,91			

GL: grau de liberdade; SQ: Soma dos Quadrados; QM: Quadrado Médio; *: significativo ao nível de 5%; ns: não significativo ao nível 5%.

Anexo D - Tabela de Análise de Variância (ANOVA) para Área Basal ($\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$), de 3 Unidades de Produção Anual (UPA), na Floresta Nacional do Tapajós, Pará

	Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
UPA 2	Tratamento	3	0,2982	0,099414	0,52061	0,67297 ^{ns}
	Resíduo	20	3,8191	0,190957		
	Total	23	4,1174			
UPA 3	Tratamento	3	1,3933	0,46442	0,89408	0,45359 ^{ns}
	Resíduo	36	18,6997	0,51944		
	Total	39	20,0930			
UPA 5	Tratamento	3	0,6325	0,21085	0,88291	0,45912 ^{ns}
	Resíduo	36	8,5971	0,23881		
	Total	39	9,2296			

GL: grau de liberdade, SQ: Soma dos Quadrados, QM: Quadrado Médio; ns: não significativo ao nível 5%.

Anexo E - Tabela de Análise de Variância (ANOVA) para Volume ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), de 3 Unidades de Produção Anual (UPA), na Floresta Nacional do Tapajós, Pará

	Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
UPA 2	Tratamento	3	87,28	29,093	0,72017	0,55163 ^{ns}
	Resíduo	20	807,94	40,397		
	Total	23	895,22			
UPA 3	Tratamento	3	259,9	86,617	0,91401	0,44386 ^{ns}
	Resíduo	36	3411,6	94,766		
	Total	39	3671,4			
UPA 5	Tratamento	3	144,66	48,219	1,0182	0,39598 ^{ns}
	Resíduo	36	1704,87	47,357		
	Total	39	1849,53			

GL: grau de liberdade, SQ: Soma dos Quadrados, QM: Quadrado Médio; ns: não significativo ao nível 5%.

Anexo F - Tabela de Análise de Variância (ANOVA) para incremento periódico anual em diâmetro), de 3 Unidades de Produção Anual (UPA), na Floresta Nacional do Tapajós, Pará

	Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
UPA 2	Tratamento	2	0,000878	0,0004389	0,097363	0,9078 ^{ns}
	Resíduo	15	0,067617	0,0045078		
	Total	17	0,068494			
UPA 3	Tratamento	2	0,028907	0,0144533	3,6393	0,039866*
	Resíduo	27	0,107230	0,0039715		
	Total	29	0,136137			
UPA 5	Tratamento	2	0,12145	0,060723	6,0533	0,006730*
	Resíduo	27	0,27085	0,010031		
	Total	29	0,39230			

GL: grau de liberdade, SQ: Soma dos Quadrados, QM: Quadrado Médio; ns: não significativo ao nível 5%.

Anexo G - Tabela de Análise de Variância (ANOVA) para incremento periódico anual em área basal, de 3 Unidades de Produção Anual (UPA), na Floresta Nacional do Tapajós, Pará.

	Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
--	-------------------	----	----	----	----	-------

UPA 2	Tratamento	2	0,14340	0,071701	3,7829	0,046754*
	Resíduo	15	0,28431	0,018954		
	Total	17	0,42771			
UPA 3	Tratamento	2	0,10895	0,054476	4,8795	0,015524*
	Resíduo	27	0,30144	0,011164		
	Total	29	0,41039			
UPA 5	Tratamento	2	0,57546	0,287732	9,6055	0,000706*
	Resíduo	27	0,80878	0,029955		
	Total	29	1,38424			

GL: grau de liberdade, SQ: Soma dos Quadrados, QM: Quadrado Médio; ns: não significativo ao nível 5%.

Anexo H - Tabela de Análise de Variância (ANOVA) para incremento periódico anual em volume, de 3 Unidades de Produção Anual (UPA), na Floresta Nacional do Tapajós, Pará

	Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
UPA 2	Tratamento	2	20,616	10,3078	2,4557	0,11951 ^{ns}
	Resíduo	15	62,962	4,1975		
	Total	17	83,577			
UPA 3	Tratamento	2	21,755	10,8774	4,3131	0,023688*
	Resíduo	27	68,093	2,5219		
	Total	29	89,847			
UPA 5	Tratamento	2	74,014	37,007	5,7469	0,0083301*
	Resíduo	27	173,866	6,439		
	Total	29	247,880			

GL: grau de liberdade, SQ: Soma dos Quadrados, QM: Quadrado Médio; ns: não significativo ao nível 5%.